

УДК 621.81.004.17:620.191.355.001.5

**ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ  
НА КОРРОЗИОННУЮ СТОЙКОСТЬ ИЗДЕЛИЙ МАШИНОСТРОЕНИЯ**

А.Ю. Иванов, Д.Б. Леонов

Обосновывается необходимость повышения качества изделий путем оптимизации микрогеометрии их поверхностей. Предлагается решение задачи технологического обеспечения коррозионной стойкости изделий машиностроения на основе применения непараметрического метода оценки и контроля микрогеометрии поверхности. Представлены параметры технологии обработки, гарантирующие получение наилучшей из возможных в конкретных производственных условиях шероховатости поверхности, обеспечивающей минимальное значение глубины проникновения коррозии в поверхность деталей из сплава Д16Т.

**Ключевые слова:** шероховатость поверхности, непараметрический метод, коррозионная стойкость, глубина проникновения коррозии.

**Введение**

Шероховатость поверхности является существенным фактором, влияющим на ряд функциональных свойств деталей машин. Среди этих свойств особое место занимает коррозионная стойкость [1].

Коррозия обусловлена протеканием химических или электрохимических реакций и является следствием термодинамической неустойчивости металлов в свободном состоянии [2]. Термодинамическая стабильность любого материала зависит от ряда факторов, которые описываются комплексом параметров качества поверхностного слоя, включающим геометрические и физико-механические параметры состояния поверхностного слоя, формируемые в процессе изготовления детали. В этой связи целесообразными являются исследования технологического обеспечения коррозионной стойкости изделий машиностроения на основе рационального выбора качества поверхностного слоя, технологического метода и режимов обработки.

Данной проблемой занимался ряд российских и зарубежных ученых, среди которых Ю.Г. Шнейдер, Э.В. Рыжов, В.В. Романов, М. Фонтан [3–6]. В своих исследованиях они рассматривали шероховатость поверхности деталей как набор различных параметров – радиусов заострения вершин и впадин неровностей ( $r$ ,  $r'$ ), коэффициентов заполнения профиля ( $k_{\text{зап}}$ ), среднего шага неровностей по вершинам ( $S$ ) и параметрических критериев оценки шероховатости поверхности ( $Ra$ ,  $Rz$ ).

В дальнейшем исследовании взаимосвязи функциональных свойств изделий с шероховатостью их поверхности проводились на базе предложенного профессором В.А. Валетовым непараметрического метода оценки и контроля микрогеометрии поверхности [7–10]. В настоящей работе приведены результаты исследования влияния шероховатости поверхности на коррозионную стойкость деталей из алюминиевого сплава Д16Т с использованием непараметрических критериев – плотности распределения ординат и плотности распределения тангенсов углов наклона профиля.

**Постановка эксперимента**

Исследования проводились с использованием детали из сплава Д16Т (рис. 1).

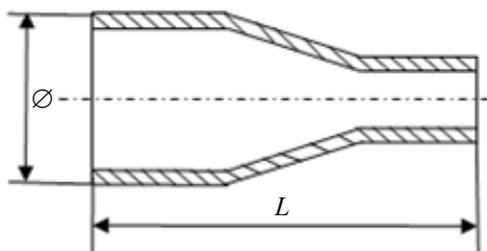


Рис. 1. Чертеж детали:  $\varnothing = 68$  мм,  $L = 130$  мм

Технологический процесс изготовления детали включает холодную штамповку и строгание при разных режимах резания.

Для оценки влияния шероховатости поверхности на коррозионную стойкость детали были изготовлены 4 группы образцов с разной шероховатостью поверхности (табл. 1). Режимы технологической обработки процесса строгания выбраны с учетом возможностей технологического оборудования на конкретном производстве. При этом образцы в 3 группе изготовлены по принятой на конкретном производ-

стве технологии для обработки этой детали. Профиль поверхности каждого образца был снят с использованием профилометра MITUTOYO SJ-201P. В табл. 1 приведено значение только для одного параметра шероховатости поверхности  $R_z$ , (параметрический критерий оценки шероховатости поверхности), поскольку именно этот параметр используется для нормирования шероховатости на рабочем чертеже детали.

Номер группы образцов	Вид обработки	Режимы обработки	$R_z$ , мкм
1	Строгание	$S=0,3$ мм/мин, $t=0,8$ мм, $V=650$ м/мин	3,24
2	Строгание	$S=11$ мм/мин, $t=0,8$ мм, $V=125$ м/мин	5,38
3	Строгание	$S=20$ мм/мин, $t=0,8$ мм, $V=150$ м/мин	15,54
4	Строгание	$S=33$ мм/мин, $t=0,8$ мм, $V=175$ м/мин	34,56

Таблица 1. Значения параметра  $R_z$  (высота неровностей профиля по десяти точкам) при различных режимах обработки детали:  $S$  – подача;  $t$  – глубина резания;  $V$  – скорость резания

Изготовленные образцы исследованы на коррозионную стойкость. Проверка проводилась металлографическим способом согласно ГОСТ 9.021-74 [11], регламентирующему методы ускоренного испытания алюминия и алюминиевых сплавов на межкристаллитную коррозию. Испытание проводилось в растворе, содержащем 3%-ный раствор хлористого натрия и 1%-ный раствор соляной кислоты при температуре раствора 18–25°C. Продолжительность эксперимента составляла 24 ч.

При проведении эксперимента фиксировались характер коррозии и максимальное значение глубины коррозии. Для этого изготавливались шлифы по ГОСТ 1778-70 [12].

Последовательность изготовления шлифа:

- шлифование (абразивная шкурка P400);
- притирка (бумажный круг с пастой, содержащей шлифовальный порошок M28);
- полирование (алмазные пасты зернистостью 28/20, 14/10 и 7/5).

Для выявления микроструктуры сплава проводилось травление образцов в следующем составе:

- кислота азотная (70%) – 2,5 мл;
- кислота соляная (концентрированная) – 1,5 мл;
- кислота фтороводородная (48%) – 1,0 мл;
- вода дистиллированная – 95,0 мл.

### Результаты исследования

Исследования (фиксация и замеры глубин коррозии) проводились на микроскопе МИМ-7 при увеличении 200<sup>x</sup>. Фотографии микроструктур образцов, изготовленных при разных режимах, после обработки приведены на рис. 2.

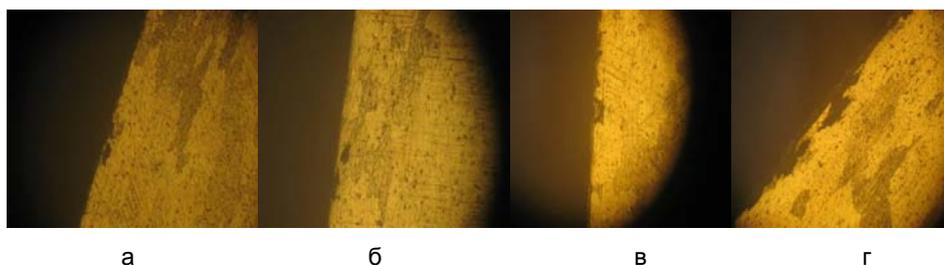


Рис. 2. Фотографии микроструктур образцов групп 1–4 (а)–(г) соответственно (см. табл. 1).

Замеры глубины проникновения коррозии показали:

- для образцов в группе 1 – наличие участков с глубиной до 25 мкм;
- для образцов в группе 2 – наличие участков с глубиной от 22 мкм до 30 мкм;
- для образцов в группе 3 – наличие участков с глубиной от 28 мкм до 41 мкм;
- для образцов в группе 4 – наличие участков с глубиной от 40 мкм до 45 мкм.

Полученные результаты говорят о существенном влиянии шероховатости поверхности на глубину проникновения коррозии в поверхность исследуемых образцов. Однако задача оптимизации шероховатости не может быть достоверно решена с использованием стандартных параметров шероховатости, так как изменение параметров  $Ra$  или  $Rz$  не характеризует фактического изменения структуры микрорельефа [7].

Для обеспечения экспериментально найденного и заданного на чертеже предпочтительного параметра шероховатости может использоваться либо разное оборудование, либо разные инструменты, что приводит к изменению структуры микрорельефа поверхности и, как следствие, к изменению их свойств. С целью более полного и точного описания шероховатости обработанных поверхностей для каждого об-

разца были получены графики непараметрических критериев (графические изображения функций плотностей распределения тангенсов углов наклона профилей, ординат профилей и кривые Аббота).

Учитывая случайную составляющую при формировании микрорельефа поверхности образцов [7, 10], на основе теории случайных функций можно предположить, что предложенные графические изображения этих функций практически однозначно определяют характер микрогеометрии исследуемых поверхностей. На рис. 3 приведены графики непараметрических критериев, где номер графика соответствует номеру образца.

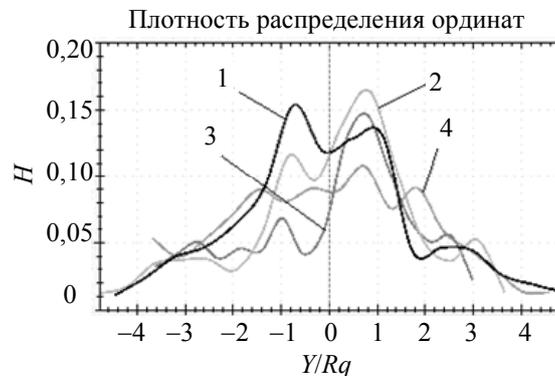


Рис. 3. Графики (номер графика соответствует номеру образца) непараметрического критерия «Плотность распределения ординат профиля» для исследуемых образцов:  $Y/R_q$  – отношение величины  $i$ -ой ординаты профиля к среднеквадратическому отклонению профиля;  $H$  – частота появления ординаты

Полученные графики доказывают иррегулярность и хаотичность микрорельефа поверхностей с неоднородными по форме и размерам неровностями [3], которые формируются при обработке поверхности строганием.

#### Определение наилучшей шероховатости поверхности, обеспечивающей наименьшую глубину проникновения коррозии

Учитывая, что режимы обработки поверхностей образцов непосредственно влияют на шероховатость, можно сделать вывод о том, что полученные результаты свидетельствуют о влиянии микрогеометрии поверхности на глубину проникновения коррозии. Это позволяет продолжить исследование в направлении оптимизации процесса получения оптимальной шероховатости поверхности, позволяющей обеспечить наилучшую коррозионную стойкость детали из сплава Д16Т в конкретных производственных условиях.

На этом этапе была использована теория планирования эксперимента [13]. Оптимизация проводилась путем определения наименьшего возможного значения глубины проникновения коррозии в поверхность детали из сплава Д16Т (параметр оптимизации) при различных режимах обработки поверхности образцов (факторы оптимизации). В табл. 2 приведены основные факторы и диапазоны их варьирования, исходя из технических возможностей использованного оборудования.

Фактор	Кодовое обозначение	Интервалы варьирования	Уровень факторов		
			Нижний (-1)	Основной (0)	Верхний (+1)
Подача $S$ , мм/мин	$X_1$	$\pm 0,2$	0,1	0,3	0,5
Скорость резания $V$ , м/мин	$X_2$	$\pm 20$	670	690	710
Глубина резания $t$ , мм	$X_3$	$\pm 0,1$	0,8	0,9	1

Таблица 2. Основные факторы и диапазоны их варьирования

Поскольку факторы процесса неоднородны и имеют различные единицы измерения, а числа, выражающие величины факторов, имеют различные порядки, они были приведены к единой системе счисления путем перехода от действительных значений факторов к кодированным [13]:

$$\tilde{X}_i = \frac{X_i - X_{\text{юсн}}}{\Delta X_i},$$

где  $\tilde{X}_i$  – кодированное значение фактора;  $X_i$  – действительные значения фактора;  $X_{\text{юсн}}$  – значение фактора на основном уровне;  $\Delta X_i$  – интервал варьирования текущего фактора;  $i$  – номер фактора.

Проведенный статистический расчет позволил получить:

- адекватную (по критерию Фишера) математическую модель процесса, описывающую связь между параметром и факторами оптимизации,  

$$K = 36,5 + 9S - 3,75V + 2t + 1SV .$$
 Модель показывает характер влияния каждого из параметров обработки поверхности образцов на глубину проникновения коррозии;
- технологические режимы обработки, при которых обеспечивается наименьшее значение глубины проникновения коррозии в поверхность деталей из сплава Д16Т на конкретном производстве (табл. 3);
- наилучшую из возможных в конкретных производственных условиях (эталонную) шероховатость поверхности (рис. 4), обеспечивающую минимальное значение глубины проникновения коррозии в поверхность деталей из сплава Д16Т.

Подача $S$ , мм/мин	Скорость резания $V$ , м/мин	Глубина резания $t$ , мм
0,1	700	0,8

Таблица 3. Параметры технологической обработки поверхности строганием для получения «эталонной» микрогеометрии

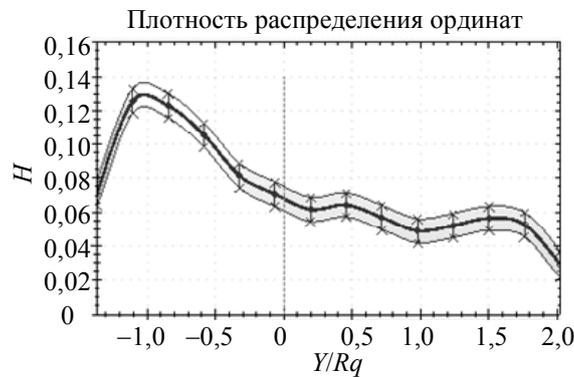


Рис. 4. Эталонный график «Плотность распределения ординат профиля» с допуском на возможные отклонения

Приведенный график (рис. 4) показывает, что оптимальное распределение ординат профиля является асимметричным, с одним ярко выраженным экстремумом. Такое распределение неровностей на поверхности детали из материала Д16Т будет гарантировать наименьшее значение глубины проникновения коррозии.

### Заключение

Применение непараметрического метода оценки и контроля микрогеометрии поверхности позволяет:

- показать влияние шероховатости поверхности исследуемого образца на коррозионную стойкость;
- экспериментально получить наилучшую из возможных в конкретных производственных условиях шероховатость поверхности деталей из сплава Д16Т, позволяющую обеспечить наилучшую коррозионную стойкость;
- получить параметры технологической обработки деталей, позволяющей обеспечить данную шероховатость поверхности;
- осуществить быстрый и качественный контроль шероховатости поверхности деталей для серийного производства путем сравнения ее с эталонной.

Выполнение этих условий позволяет повысить качество производимой продукции для конкретного предприятия.

### Литература

1. Рудзит Я.А. Микрогеометрия и контактное взаимодействие поверхностей. – Рига: Изд-во РПИ, 1975. – 216 с.
2. Рыбальченко В.С. Основы общей химии: Учебное пособие для студентов нехимических специальностей высших учебных заведений. – М.: РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2011. – 408 с.
3. Шнейдер Ю.Г. Эксплуатационные свойства деталей машин с регулярным микрорельефом. – Л.: Машиностроение, 1982. – 248 с.

4. Рыжов Э.В., Суслов А.Г., Федоров В.П. Технологическое обеспечение эксплуатационных свойств деталей машин. – М.: Машиностроение, 1979. – 176 с.
5. Романов В.В. Методы исследования коррозии металлов. – М.: Metallurgia, 1965. – 280 с.
6. Фонтан М.Н., Стейл Р. Достижения науки о коррозии и технологии защиты от нее. Коррозионное растрескивание металлов: Пер. с англ. – М.: Metallurgia, 1985. – 488 с.
7. Мусалимов В.М., Валетов В.А. Динамика фрикционного взаимодействия. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2006. – 191 с.
8. Иванов А.Ю., Леонов Д.Б. Технологические методы обеспечения качества изделия // Научно-технический вестник СПбГУ ИТМО. – 2011. – № 5 (75). – С. 111–113.
9. Ivanov A.Y., Leonov D.B. Methodology for optimization, evaluation and control of products surface roughness // Journal of the Technical University. – Sofia, Plovdiv branch, Bulgaria «Fundamental Sciences and Applications». – 2012. – V. 17. – P. 19–23.
10. Валетов В.А., Третьяков С.Д. Оптимизация микрогеометрии поверхностей деталей: Учебно-методическое пособие. – СПб: СПб ГУИТМО, 2005. – 28 с.
11. ГОСТ 9.021-74. Единая система защиты от коррозии и старения. Алюминий и сплавы алюминиевые. Методы ускоренных испытаний на межкристаллитную коррозию. Введ. 01.01.75. М.: Изд-во стандартов, 1978. 6 с.
12. ГОСТ 1778-70. Металлографические методы определения неметаллических включений. Введ. 01.01.72. М.: Изд-во стандартов, 1970. 35 с.
13. РДМУ 109-77. Методика выбора и оптимизации контролируемых параметров технологических процессов. – М.: Изд-во стандартов, 1978. – 48 с.

**Иванов Андрей Юрьевич**

– Россия, Санкт-Петербург, Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, кандидат технических наук, доцент, [ivaanug72@mail.ru](mailto:ivaanug72@mail.ru)

**Леонов Димитян Божидаров**

– Болгария, Сопот, ВМЗ АО Сопот, заместитель директора; Россия, Санкт-Петербург, Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, аспирант; [dimilqn@mail.ru](mailto:dimilqn@mail.ru)