

## ВЗАИМОСВЯЗЬ ПАРАМЕТРОВ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ МАШИН С ОПТИЧЕСКИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

**Постановка проблемы.** В технологическом обеспечении эксплуатационных характеристик деталей объектов новой техники задействовано большое количество методов обработки. Однако, добиться стабильности параметров качества обработки по шероховатости и оптическим свойствам поверхности чрезвычайно сложно. Это связано с тем, что рекомендации по контролю параметров в процессе изготовления деталей разные и не обеспечивают стабильность качества поверхностного слоя после обработки. Поэтому проблема управления геометрическими характеристиками и физико-химическим состоянием поверхностей при обработке является актуальной.

**Анализ последних исследований и публикаций.** На финишных операциях обработки окончательно формируется поверхностный слой деталей машин. Известна интегральная оценка шероховатости поверхности по критерию шероховатости поверхности  $F$  [1,2]. В данных работах приведены методики оценки критерия шероховатости поверхности, однако задача технологического обеспечения эксплуатационных характеристик не рассматривалась. Эксперименты показали, что ряд разных методов обработки обеспечивают равные значения критерия шероховатости поверхности  $F$ , при этом светоотражательная способность таких поверхностей может быть разной. Эксплуатационные свойства деталей, работающих в условиях воздействия солнечной радиации, определяются светоотражательной и излучательной способностью поверхностей. Эффективными являются процессы финишной обработки абразивными материалами и нанесение покрытий вакуумным и гальваническим методами.

Агабабов С. Г. [1] установил и аналитически описал влияние шероховатости обработанной поверхности на ее оптические свойства. Однако, на практике это влияние проявляется неоднозначно, что можно объяснить наличием большого количества методов и способов обработки, различных рабочих сред, материалов. Наиболее простым методом получения поверхностей с заданными оптическими свойствами является окисление при нагреве на воздухе или иной газовой среде. С увеличением времени окисления коэффициенты поглощения и излучения будут увеличиваться с различной интенсивностью, а светоотражательная способность уменьшаться.

Существующие методы обработки позволяют управлять процессом формирования отклонений формы и расположения поверхностей, волнистости и их шероховатости. Однако для неровностей на поверхности с размерами менее 1 мкм существует проблема управления процессом их формообразования. Трудности воспроизводства таких неровностей возникают по следующим причинам: окислы, как результат физико-химических явлений на поверхности являются соизмеримыми с неровностями при финишной обработке, загрязнения, неоднородности на поверхности требуют введения дополнительных операций по обработке поверхности. Изменение физико-химического состояния поверхностного слоя можно оценивать работой выхода электрона [3]. Однако и в этой работе не решалась задача технологического обеспечения эксплуатационных свойств поверхностей. Рассматривалась задача оценки изменения параметров поверхности после обработки и разработки рекомендаций по контролю обработанных поверхностей.

**Цель работы** - достижение заданных значений оптических характеристик поверхностей на основе технологического обеспечения высотных параметров шероховатости поверхности и значений работы выхода электрона.

**Изложение основных материалов.** Для определения влияния процесса обработки на изменения критерия шероховатости поверхности  $F$  и работы выхода электронов (значений контактной разности потенциалов - КРП) были проведены эксперименты с образцами алюминиевого сплава АМГ-6. Режимы обработки выбирались из условия обеспечения различных геометрических и физико-химических параметров поверхностей. Полирование осуществлялось войлочными полировальниками с использованием суспензии, состоящей из карбида кремния и электрокорунда зернистостью 1÷3 мкм, дистиллированной воды и добавок сульфаминовых соединений типа ОП-10, а также технологическими составами с алмазными микропорошками.

При термическом окислении применялся нагрев до 873°С и время выдержки от 30 с до 70 мин. Анодирование проводилось в сернокислом электролите ( $H_2SO_4 - 180 \div 230$  г/л) с наполнением в хромпике и в горячей воде. Анодная плотность тока составляла  $0,8 \div 1,5$  А/дм<sup>2</sup> при температуре 286 ÷ 295К. Время выдержки изменялось от 5 до 20 мин.

Оптические характеристики исследовались с применением фотометра ФМ-59 и терморадиометра ТИС. Измерения на терморадиометре проводились на спектральном интервале от 4 до 40 мкм. Эталонном для опытов служило золоченое зеркало с коэффициентом излучения  $\varepsilon = 0,02$  и модель черного тела  $\varepsilon = 0,96$ .

Геометрические характеристики обработанных поверхностей исследовались с помощью профилографа-профилометра мод. 252. Субмикронеровности на профиле шероховатости поверхности определялись с помощью растровой электронной микроскопии. Энергетическое состояние поверхностного

слоя оценивалось измерением работы выхода электрона методом контактной разности потенциалов. В основу методики измерения КРП положен принцип статического конденсатора с использованием компенсационного метода измерения разности потенциалов, возникающей при контакте измерительного электрона с поверхностью исследуемой детали.

Результаты экспериментальных исследований приведены на рис.1. В исходном состоянии отражательная способность поверхностей разная, но отличается незначительно. С увеличением толщины анодной пленки отражательная способность образцов выравнивается, при этом значение КРП отличаются существенно. Это можно объяснить различием исходной перед анодированием шероховатостью поверхности, что приводит к изменению площади излучающей поверхности.

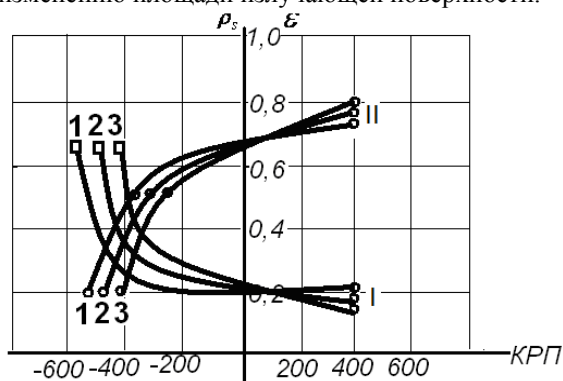


Рис. 1. Контактная разность потенциалов (КРП), светоотражательная  $\rho_s$  (I) и излучательная  $\varepsilon_{ш}$  (II) способность поверхностей из сплава АМГ-6 после анодирования: 1-  $F=0,98$ ; 2 -  $F=0,8$ ; 3 -  $F=0,7$  (перед анодированием поверхности)

В работе [4] теоретически обоснована связь шероховатости с оптическими характеристиками обработанных поверхностей. Формирование шероховатости поверхности представлено в виде аналитической зависимости отношения высотных параметров шероховатости от относительной длины профиля шероховатости и угла при вершине абразивного зерна:

$$\frac{R_a}{R_{max}} = \frac{1 - \frac{l_0}{l_0}}{1 - \sin\gamma} \cdot \left[ 1 - 0,5 \cdot \frac{1 - \frac{l_0}{l_0}}{1 - \sin\gamma} \right], \quad (1)$$

где  $l_0$  - относительная длина профиля шероховатости;  $R_a$  - среднее арифметическое отклонение профиля шероховатости;  $R_{max}$  - максимальное значение высотного параметра шероховатости;  $\gamma$  - половина угла при вершине абразивного зерна.

Также установлена взаимосвязь критерия шероховатости поверхности  $F$  с отношением высотных параметров шероховатости поверхности  $R_a/R_{max}$ :

$$F \approx 1 - \frac{R_a}{R_{max}}. \quad (2)$$

По определению критерий шероховатости поверхности  $F$  равен отношению площади гладкой к площади шероховатой поверхности. Связь критерия шероховатости поверхности  $F$  с оптическими характеристиками (коэффициентами поглощения  $A_r$  и излучения  $\varepsilon_{ш}$ ) можно описать, используя известную формулу [1]:

$$\varepsilon_{ш} = \frac{\varepsilon_r}{1 - (1 - A_r) \cdot (1 - F)}, \quad (3)$$

где  $\varepsilon_{ш}$  - коэффициент излучения шероховатой поверхности;  $\varepsilon_r$  - коэффициент излучения гладкой поверхности;  $A_r$  - коэффициент поглощения гладкой поверхности.

Из приведенных зависимостей следует, что оптические характеристики поверхностей определяются не просто параметрами шероховатости  $R_a$  и  $R_{max}$ , а их отношением  $R_a/R_{max}$ , которое может изменяться в довольно широких пределах: 0...0,29. Это указывает на возможность значительного улучшения оптических характеристик обработанных поверхностей и соответственно эксплуатационных свойств ответственных деталей, рассматривая как критерий оценки шероховатости относительную длину профиля  $l_0$  и отношение среднеарифметического отклонения профиля к максимальному значению высотного параметра шероховатости поверхности ( $R_a/R_{max}$ ). Как показано выше, критерий  $l_0$ ,  $R_a/R_{max}$  и шероховатости поверхности  $F$  аналитически связаны между собой. Так, с уменьшением  $R_a/R_{max}$  критерий шероховатости  $F$  увеличивается, а  $l_0$  уменьшается. Соответственно коэффициенты излучения  $\varepsilon_{ш}$  и поглощения  $A_{ш}$  обработанных поверхностей уменьшаются, а коэффициент отражения света  $\rho_{ш}$

увеличивается. С целью повышения отражательной способности поверхности необходимо уменьшать отношение  $R_a / R_{max}$  и относительную длину профиля  $l_0$ , а критерий шероховатости поверхности  $F$  увеличивать.

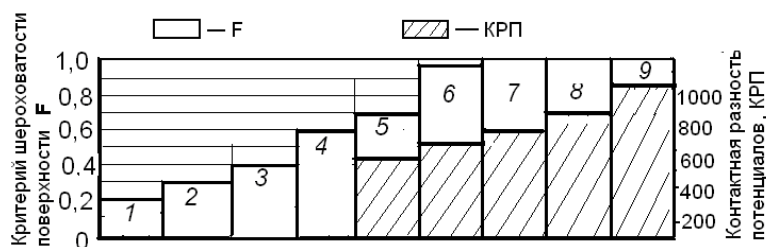


Рис. 2. Характер изменения оптических свойств и параметров поверхности от методов обработки деталей из сплава АМГ-6: 1 – прокат; 2 – гидроабразивная обработка; 3 – обработка металлической дробью; 4 – фрезерование твердосплавной фрезой; 5 – фрезерование фрезой из эльбора; 6 – точение твердосплавным резцом; 7 – алмазное полирование; 8 – выглаживание; 9 – алмазное точение.

На рис. 2 приведены зависимости критерия шероховатости поверхности  $F$  и контактной разности потенциалов (КРП), измеренных на поверхностях деталей из алюминиевого сплава АМГ-6. Анализируя зависимости, можно сделать вывод: на предварительных стадиях обработки с применением фрезерования и точения с использованием традиционных инструментальных материалов (быстрорежущая сталь Р18, твердый сплав и др.), а также гидроабразивной обработки изменение оптических характеристик связано с изменением критерия шероховатости поверхности  $F$ . Применение финишных методов обработки приводит к образованию поверхностей, величина критерия шероховатости которой приближается к 1, и поэтому изменение оптических характеристик связано с изменением КРП. Поверхности деталей машин, имеющие величину  $F$ , равную единице, следует отнести к высокоотражательным поверхностям или поверхностям, имеющим низкую поглощательную способность.

Результаты экспериментальных исследований (рис. 2) показывают, что финишные методы обработки не оказывают существенного влияния на изменение критерия шероховатости поверхности, однако КРП при этом существенно изменяется. Следовательно, контролировать обработку поверхностей деталей машин можно параметром  $F$  и КРП для тех методов обработки, у которых наблюдается изменение контролируемых параметров.

Таким образом, на предварительных стадиях обработки с изменением фрезерования, точения традиционными методами и предварительного шлифования, гидроабразивной обработки и обработки металлической дробью изменение оптических характеристик связано с изменением критерия шероховатости поверхности  $F$ , величина которого изменяется от 0,4 до 0,98. Эти методы обработки необходимо применять перед нанесением покрытий для увеличения излучательной способности поверхности. Уменьшение критерия шероховатости поверхности при гидроабразивной обработке связано с образованием на профиле шероховатости субмикронеровностей, сравнимых по величине с длинами волн падающего излучения. Применение финишных методов обработки (точения резцами из сверхтвердых материалов, абразивного полирования или доводки), а также поверхностного пластического деформирования приводит к образованию поверхностей, критерий шероховатости поверхности  $F$  которых приближается к единице. Поэтому для таких поверхностей изменение оптических характеристик связано с изменением физико-химических параметров и управлять оптическими характеристиками можно посредством величины КРП.

### Выводы

1. При технологическом обеспечении излучательных свойств поверхностей перед анодированием необходимо увеличивать площадь шероховатой поверхности за счет применения обработки дробью и гидроабразивной обработки. Контроль обработанной поверхности необходимо осуществлять путем оценки критерия шероховатости поверхности  $F$ .

2. После финишных методов обработки светоотражательных поверхностей контроль обработанной поверхности необходимо осуществлять путем оценки работы выхода электрона (значений контактной разности потенциалов - КРП).

3. Отношение высотных параметров шероховатости поверхности  $R_a / R_{max}$  может быть использовано для контроля дефектов поверхности после применения финишных методов обработки.

### Список использованных источников

1. Агабабов С.Г. Влияние фактора шероховатости на радиационные свойства твердого тела со случайной шероховатостью / С.Г. Агабабов // Теплофизика высоких температур, 1976. – Т. 13, №2. – С. 314–318.
2. Гнусин Н.П. Шероховатость электроосажденных поверхностей / Н.П. Гнусин, Н.Я. Коварский. – М.: Изд-во “Наука”, 1979. – 328 с.
3. Шкилько В. В. Экзоэмиссионный анализ поверхностного слоя реальных объектов / В.В. Шкилько, В.В. Борисов, Ю.Ф. Назаров // Поверхностный слой, точность, эксплуатационные свойства деталей машин и приборов: Материалы Всесоюзного научно-технического семинара. – М., 1986 – С. 41-43.

4. *Шкурупій В. Г.* Підвищення ефективності технології фінішної обробки світловідбиваючих поверхонь деталей із тонкого листа і стрічок: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.02.08 “Технологія машинобудування” / *В.Г. Шкурупій* . – Одеса, 2006. – 21 с.

*Стаття постуила 12.04.2012г.*