

ВЛИЯНИЕ ШЕРОХОВАТОСТИ СИСТЕМ ЛАКОКРАСОЧНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА САМОЛЕТОВ

Благодаря простой технологии нанесения, сравнительно низкой стоимости и способности образовывать покрытия с высокими физико-механическими, защитными и, особенно, декоративными свойствами, лакокрасочные материалы получили значительно более широкое распространение, чем другие методы отделки и защиты поверхностей.

Распространенное в авиационном материаловедении понятие «шероховатость» поверхности включает в себя различные виды неровностей. Учет влияния каждого вида неровности на рабочие характеристики самолета, выбор эффективных методов контроля и способов улучшения поверхности путем сглаживания неровностей с помощью разных технологических приемов, разработка и внедрение новых ЛКП с улучшенными свойствами и технологии окраски все это является актуальной задачей.

Ключевые слова: лакокрасочные материалы, шероховатость поверхности, дефекты покрытия, профилограф.

AN EFFECT OF ROUGHNESS OF PAINT AND VARNISH COATING SYSTEMS ON SERVICE PROPERTIES OF AIRCRAFT

Paints and varnishes are much widely used than other methods of decorative processing and protection of surfaces because of a simple technology of application, rather low cost and ability to form coating with high physical-mechanical, protective and, especially, decorative properties.

The concept «surface roughness», which is widespread in aviation material science, includes different types of imperfections. Some actual tasks such as definition of influence of each type of roughness on performance capabilities of aircraft, choice of effective test methods and procedures for improvement of surface by smoothing of imperfections by means of different processing methods, development and implementation of new paint and varnish coatings with improved properties and technologies of painting are described.

Keywords: paints and varnishes, surface roughness, coating defects, profilograph.

¹ Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» Государственный научный центр Российской Федерации [Federal state unitary enterprise «All-Russian scientific research institute of aviation materials» State research center of the Russian Federation] E-mail: admin@viam.ru

При изготовлении самолетов, их окраске и в процессе эксплуатации на внешней поверхности образуются неровности (выступы и впадины), влияющие на эксплуатационные характеристики изделия, прежде всего на расход горючего, скорость и дальность полета.

Различают микро- и макронеровности:

- шероховатость, т. е. совокупность неровностей поверхности с относительно малыми шагами на базовой длине;
- загрязнения, т. е. прилипшие к поверхности частицы твердых веществ (пыль, песок, сажа и т. п.), распределение которых нерегулярно;
- микротрещины, образующиеся в процессе эксплуатации под воздействием факторов старения и эрозии, представляющие собой углубления с относительно большими шагами;

- волнистость, т. е. макронеровности на поверхности, имеющей определенную шероховатость, характеризующиеся плавными переходами от выступов к впадинам и величиной отношения высоты выступов к шагу 0,001–0,004;
- выступание или западание головок заклепок, болтов, винтов;
- выступание сварных швов, вмятины контактной сварки, утяжка обшивки по заклепочным швам;
- уступы и зазоры по створкам, люкам и т. п.

Распространенное в авиационном материаловедении понятие «шероховатость» поверхности включает в себя, в большинстве случаев, все указанные виды неровностей. Учет влияния каждого вида неровности на рабочие характеристики самолета, выбор эффективных методов контроля и способов улучшения поверхности путем сглаживания неровностей с помощью разных технологических приемов, разработка и внедрение новых ЛКП с улучшенными свойствами и новые технологии окраски – все это является актуальной задачей.

Существенное влияние шероховатости на скорость, дальность полетов и расход горючего было установлено уже в конце 30-х гг. XX века, когда в самолетостроении достигался предел скорости для самолетов с поршневыми двигателями. При этом в работах, в частности ВИАМ и ЦАГИ, установлено определяющее значение качества ЛКП и технологии окраски [1, 2].

В связи с увеличением доли применения полимерных композиционных материалов в конструкциях самолетов, необходимо совершенствовать системы защиты от факторов внешней среды. Требуется разработка комплексных систем защиты, включая многослойные износостойкие, эрозионно- и коррозионностойкие, упрочняющие и теплозащитные покрытия, а также лакокрасочные, тканепленочные материалы и покрытия на полимерной и неметаллической основах [3].

Поэтому в последнее время вновь возрос интерес к улучшению качества поверхности самолетов, что обусловлено не в последнюю очередь соображениями экономии горючего.

В соответствии с ГОСТ 2789–73 для количественной оценки микронеровностей применяется следующая закономерность:

$$R_a = \frac{1}{l} \int_0^l |y(x)| dx \cong \frac{1}{n} \sum_1^n |y_i|;$$

$$R_z = \frac{1}{5} \left(\sum_1^5 |H_{i_{\max}}| + \sum_1^5 |H_{i_{\min}}| \right) = \frac{1}{5} \left(\sum_1^5 h_{i_{\max}} - \sum_1^5 h_{i_{\min}} \right),$$

где R_a – среднее арифметическое абсолютных значений отклонений профиля в пределах базовой длины l ; y – расстояние между любой точкой профиля и средней линией, измеренное по нормали, проведенной к средней линии через эту точку; R_z – сумма средних арифметических абсолютных отклонений пяти наибольших минимумов и пяти наибольших максимумов профиля в пределах базовой длины (высота неровностей профиля по десяти точкам); R_{\max} – наибольшая высота неровностей профиля.

По мнению авторов, суть величин H_i , h_i , n , а также параметра R_{\max} ясна из рис. 1.

Характеристикой сопротивления поверхности воздушному потоку является комплекс $H/(S_1 \cdot S_2)$, где H – средняя высота неровностей; $S_1 \cdot S_2$ – средние шаги неровностей – расстояние между вершинами (см. рис. 1) вдоль и поперек потока воздуха. Таким образом, необходимо проводить испытания не по длине, а по площади (размером ~30×30 мм), имея в виду многообразие неровностей на поверхности самолета.

В ВИАМ проведены работы [4, 5] по определению влияния различных факторов на шероховатость систем ЛКП на образцах из стали ВНС-2, титанового сплава ОТ4 и алюминиевого сплава 1420. Исследовали различные системы ЛКП (ОСТ1 90055–85):

- система №419 – эмаль КО-856 серого цвета с толщиной покрытия 50 мкм;

- система №384 – эмаль УР-1161 серого цвета с толщиной покрытия 40 мкм;
- система №256 – эмаль АС-1115 белого цвета с толщиной покрытия 60 мкм;
- система №210 – эмаль ЭП-140 белого цвета с толщиной покрытия 70 мкм.

Шероховатость измеряли с помощью профилографов моделей 283, 280, 201 (ММЗ «Калибр») до и после окраски одних и тех же участков образцов.

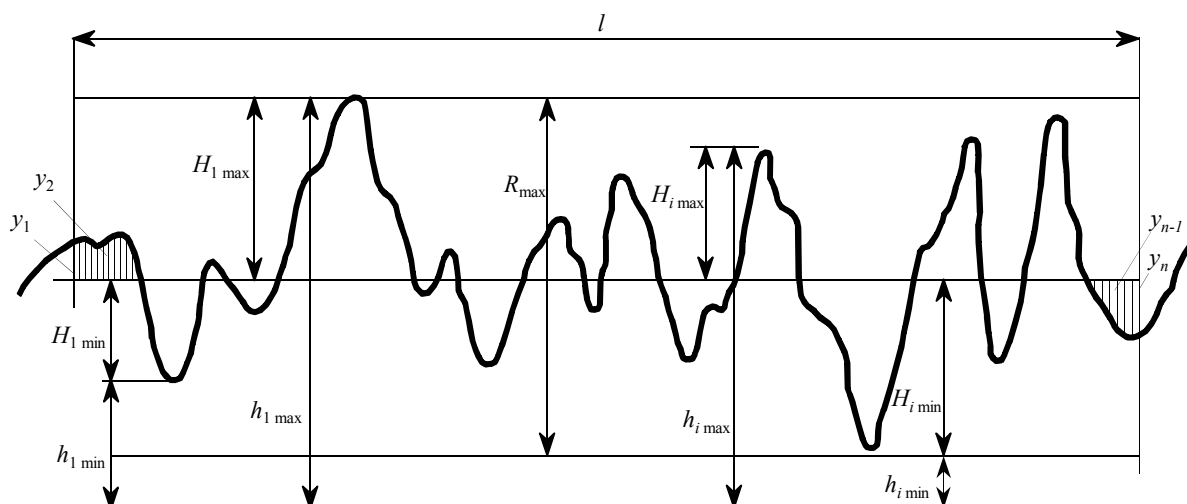


Рис. 1. Профиль поверхности, измеренный профилографом

Оценивали влияние методов подготовки поверхности металлов. Показано (табл. 1), что при нанесении ЛКП с толщиной, превышающей шероховатость окрашиваемой поверхности, микронеровности обследованных подложек заполняются и качество окрашенной поверхности определяется только качеством ЛКП. Приведенные данные по параметрам шероховатости для ЛКП на основе одной эмали в пределах 10%-ного разброса одинаковы для всех образцов. При этом нивелируются как «грубые» поверхности металлов после пескоструйной обработки, так и гладкая поверхность сплава 1420 в состоянии поставки. Отметим, что данные пневматических измерений металлических поверхностей подтверждают соотношение их качества, оцененное профилографами.

Профилографические измерения лабораторных образцов различной толщины (эмаль ЭП-140, $\delta=30-90$ мкм; эмаль АС-1115, $\delta=38-62$ мкм) – за счет нанесения 2-, 3- и 4-х слоев эмали с различными режимами сушки, а также систем покрытий на основе эмали ЭП-140 в сочетании с различными грунтовками (ЭП-0214, ВЛ-02, АК-070, ЭП-076) – показали, что эти технологические приемы практически не влияют на шероховатость ЛКП.

Таблица 1

Параметры шероховатости поверхностей с различной подготовкой поверхности, без покрытия и с ЛКП

| Основной материал | Вид обработки | Параметры шероховатости, мкм | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------|---|------------------------------|-------|-----------|---------------------------|-------|-------|--------------|-------|-------|---------------|-------|-------|---------------|-----|-----|
| | | без покрытия | | | с лакокрасочным покрытием | | | | | | | | | | | |
| | | R_a | R_z | R_{max} | эмаль КО-856 | | | эмаль ЭП-140 | | | эмаль АС-1115 | | | эмаль УР-1161 | | |
| | | | R_a | R_z | R_{max} | R_a | R_z | R_{max} | R_a | R_z | R_{max} | R_a | R_z | R_{max} | | |
| Сталь ВНС-2 | Пескоструйная обработка+химическое пассивирование | 2,3 | 15,6 | 17,1 | 1,4 | 5,2 | 6,8 | 0,9 | 3,6 | 5,1 | 0,4 | 0,9 | 1,6 | 0,1 | 0,3 | 0,4 |
| | Травление+химическое пассивирование | 1 | 4,5 | 6,2 | 1,1 | 4,8 | 5,8 | 1 | 3,3 | 5 | 0,3 | 0,9 | 1,3 | 0,05 | 0,3 | 0,5 |
| Сплав 1420 | Ан.Окс.нхр | 1,2 | 3,8 | 6 | 1,1 | 5,2 | 7 | 1 | 3,5 | 5 | 0,3 | 0,9 | 1,3 | 0,2 | 0,7 | 1 |
| | Хим.окс. | 1,5 | 5,5 | 7,8 | 1,2 | 5,2 | 7,2 | 1 | 3,7 | 5,2 | 0,3 | 1 | 1,4 | 0,1 | 0,3 | 0,8 |
| | Состояние поставки | 0,15 | 0,7 | 0,9 | 1,2 | 4,8 | 5,7 | 1 | 3,7 | 5 | 0,2 | 0,7 | 1,1 | 0,05 | 0,2 | 0,3 |
| Сплав ОТ4 | Пескоструйная обработка+химическое пассивирование | 2,7 | 15 | 18 | 1,1 | 4,6 | 6,4 | 0,9 | 4,3 | 6,2 | 0,4 | 1,2 | 2,3 | 0,1 | 0,5 | 1 |
| | Травление+химическое пассивирование | 1 | 3,5 | 5 | 1 | 4,8 | 5,8 | 0,9 | 4,1 | 5,2 | 0,2 | 0,9 | 1,3 | 0,1 | 0,3 | 0,6 |
| | Термообработка | 1,4 | 4,8 | 7,8 | 1 | 4,5 | 6,1 | 1 | 4 | 5,2 | 0,3 | 1 | 1,2 | 0,05 | 0,4 | 0,7 |

Такие же измерения образцов с ЛКП на основе эмали АК-1206 с дефектами покрытия, специально нанесенными в виде шагрени и запыла (ГОСТ 9.032–77), позволили количественно оценить изменения шероховатости при некачественной окраске, которая может встречаться в практике окраски авиационной техники из-за большого габарита, сложности профиля поверхности, несовершенства оборудования и условий окраски. Установлено, что такие дефекты покрытия – многократно ухудшают параметры шероховатости (табл. 2).

Таблица 2

Зависимость шероховатости поверхности от качества покрытия на основе белой эмали АК-1206 (ОСТ1 90055–85), нанесенного на подложку из алюминиевого сплава Ан. Окс. нхр

| Дефект покрытия (ГОСТ 9.032–77) | Параметры шероховатости*, мкм | | |
|---------------------------------|-------------------------------|-------|-----------|
| | R_a | R_z | R_{max} |
| Шагрень | 0,1 | 0,2 | 0,3 |
| | 0,7 | 2 | 8,2 |
| Запыл | 1,9 | 11,5 | ≥14,3 |

* Измерение на профилографе-профилометре (модель 280).

Исправление дефектов возможно зачисткой шлифовальной шкуркой с использованием средств малой механизации (шлифовальных машинок). Как правило, зачистка ЛКП шлифовальной шкуркой создает матовость и штрихи на поверхности. Получить качественное покрытие с хорошим внешним видом после зачистки можно путем нанесения дополнительного слоя ЛКП, приготовленного при тщательной фильтрации и подборе вязкости эмали [5].

Проведена также оценка величины макронеровностей (рис. 2), возникающих при соединении элементов конструкции самолета путем сварки, клепки или свинчивания и выходящих на внешний контур изделия. Определена возможность устранения таких неровностей с помощью шпатлевок и окраски на образцах (размером 300×45×1,2 мм) из стали ВНС-2. Образцы были получены точечной электросваркой из двух пластин внахлест, аргоно-дуговой электросваркой из двух пластин встык, с помощью винтовых соединений с головками винта под крестообразную отвертку из двух пластин внахлест.

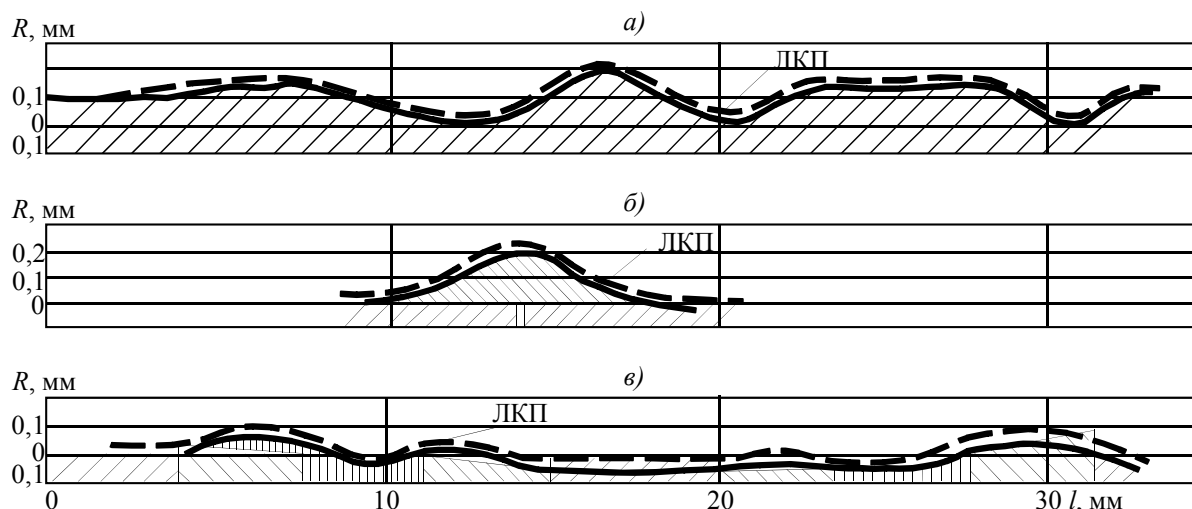


Рис. 2. Профили элементов соединений, полученных с помощью точечной электросварки (а), аргоно-дуговой электросварки (б) и свинчивания (в)

В случае винтовых соединений западающие головки винтов и шлицы заполняли шпатлевкой, затем после выравнивания поверхности путем зачистки шпатлевки шкуркой наносили на поверхность образца грунтовку и эмали АС-1115, УР-1161, КО-856.

Образцы со сварными соединениями красили без шпатлевания.

Измерения неровностей проводили по индикаторной методике. Установлено, что повышение качества поверхности шпатлеванием и нанесением ЛКП существенно зависит от качества установки крепежа, клепки или сварки.

Эффект шпатлевания и окраски хорошо проявляется в случае винтовых соединений. В образцах сварных соединений слой ЛКП по профилю практически повторяет профиль технологической неровности на поверхности металла, не снижая величины неровности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Чеботаревский В.В., Кондрашов Э.К. Технология лакокрасочных покрытий в машиностроении. М.: Машиностроение. 1978. 295 с.
2. Кондрашов Э.К., Кузнецова В.А., Семенова Л.В., Лебедева Т.А., Малова Н.Е. Развитие авиационных лакокрасочных материалов //Все материалы. Энциклопедический справочник. 2012. №5. С. 49–54.
3. Гращенко Д.В., Чурсова Л.В. Стратегия развития композиционных и функциональных материалов //Авиационные материалы и технологии. 2012. №5. С. 231–242.
4. Семенова Л.В., Малова Н.Е., Кузнецова В.А., Пожого А.А. Лакокрасочные материалы и покрытия //Авиационные материалы и технологии. 2012. №5. С. 315–327.
5. Кондрашов Э.К., Кузнецова В.А., Семенова Л.В., Лебедева Т.А. Основные направления повышения эксплуатационных, технологических и экологических характеристик лакокрасочных покрытий для авиационной техники //Российский химический журнал. 2010. Т. LIV. №1. С. 96–102.

REFERENS LIST

1. Chebotarevskij V.V., Kondrashov Je.K. Tehnologija lakokrasochnyh pokrytij v mashinostroenii [Technology of paint and varnish coverings in mechanical engineering]. M.: Mashinostroenie. 1978. 295 s.
2. Kondrashov Je.K., Kuznecova V.A., Semenova L.V., Lebedeva T.A., Malova N.E. Razvitie aviacionnyh lakokrasochnyh materialov [Development of aviation paintwork materials] //Vse materialy. Jenciklopedicheskij spravocnik. 2012. №5. S. 49–54.
3. Grashhenkov D.V., Chursova L.V. Strategija razvitija kompozicionnyh i funkcional'nyh materialov [Strategy of development of composite and functional materials] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2012. №5. S. 231–242.
4. Semenova L.V., Malova N.E., Kuznecova V.A., Pozhoga A.A. Lakokrasochnye materialy i pokrytija [Paintwork materials and coverings] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2012. №5. S. 315–327.
5. Kondrashov Je.K., Kuznecova V.A., Semenova L.V., Lebedeva T.A. Osnovnye napravlenija povyshenija jekspluatacionnyh, tehnologicheskikh i jekologicheskikh harakteristik lakokrasochnyh pokrytij dlja aviacionnoj tehniki [The main directions of increase of operational, technical and ecological characteristics on paint and varnish coverings for the aircraft equipment] //Rossijskij himicheskij zhurnal. 2010. T. LIV. №1. S. 96–102.