

Машиностроение и машиноведение

УДК 621.9.004.12

DOI: 10.30987/1999-8775-2020-2020-2-4-10

А.Г. Суслов, О.Н. Федонин, Д.И. Петрешин

**ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ
И ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ИЗДЕЛИЙ МАШИНОСТРОЕНИЯ
И АВИАКОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ**

Изложена методология конструкторско-технологического обеспечения качества изделий машиностроения и авиакосмической техники на стадии проектирования и изготовления. Отмечено, что один из основных показателей качества изделий - надежность определяется эксплуатационными свойствами их деталей и соединений. Установлена взаимосвязь эксплуатационных свойств деталей

машин с качеством их рабочих поверхностей. Приведена функциональная взаимосвязь параметров качества поверхностного слоя деталей с условиями их обработки.

Ключевые слова: качество, надежность, эксплуатационные свойства, поверхностный слой детали, технологическое обеспечение качества.

A.G. Suslov, O.N. Fedonin, D.I. Petreshin

**BASIC FUNDAMENTALS TO ENSURE AND INCREASE QUALITY
OF MECHANICAL ENGINEERING AND AEROSPACE PRODUCTS**

A practice of launching new products of mechanical engineering and aerospace engineering into mass production shows that their quality is ensured to a considerable extent at the expense of their improvement after production and operation tests. It results in the considerable losses of time and material resources from the initial stage of design up to launching new products into series production.

Actually the launchings of new products into series production are delayed for some years. It is explained with that up till now at the design-technological development of new products there are used methods and procedures applied for decades and based on obsolete reference data, although by now there are obtained scientific-technical data allowing the support of engineering product quality completely at the stage of design-technological development and

manufacturing with minimum possible improvements after factory and operation testing.

To ensure machinery quality during manufacturing it is necessary to observe technological discipline (fulfillment of engineering processes developed), to carry out technological system control and a rapid adjustment in case of possible deviations from allowable values.

The methodology presented for the realization of basic fundamentals will allow increasing quality of engineering and aerospace engineering products in practice and reducing time considerably for design-technological improvement after factory and operation testing.

Key words: quality, reliability, operation quality, surface layers of part, quality technological support.

Введение

Практика запуска в серию новых изделий машиностроения и авиакосмической техники показывает, что их качество в значительной мере обеспечивается за счет их доработки после производственных и эксплуатационных испытаний. Это приводит к значительным потерям времени и материальных ресурсов от начальной стадии проектирования до запуска новых изделий в серию.

Практически запуски новых изделий в серию затягиваются на несколько лет. Это объясняется тем, что до настоящего времени при конструкторско-технологическом проектировании новых изделий используются устоявшиеся десятилетиями методы и методики, базирующиеся на устаревших справочных данных, хотя к настоящему времени получены научно-технические данные, позволяющие обеспечивать качество изделий машино-

строения полностью на стадии конструкторско-технологического проектирования и изготовления с минимальными возмож-

ными доработками после производственных и эксплуатационных испытаний.

Методология реализации фундаментальных основ

Далее в краткой форме изложена методология реализации фундаментальных основ обеспечения качества изделий машиностроения и авиакосмической техники, нашедшая отражение в научно-технической литературе за последние десятилетия [1-10]. Качество изделий машиностроения зависит от надежности их деталей и соединений [1]. Многочисленными исследованиями [2-4] доказано, что статическая усталостная прочность, контактная жесткость, герметичность, износостойкость, коррозионная стойкость деталей и соединений значительно влияют на надежность и, соответственно, качество продукции машиностроения. До настоящего времени при проектировании изделий, как правило, осуществляются только проверочные расчеты на статическую усталостную прочность деталей. В то же время установлено, что 60...70 % выхода из строя изделий определяется износом их сопрягаемых поверхностей. Зачастую износ является причиной статических усталостных разрушений [2].

В результате износа увеличивается зазор в соединениях, появляются перекосы и вибрации, в итоге происходит разрушение детали, т.е. разрушение является следствием, а причиной был износ.

Накопленные результаты теоретических и экспериментальных исследований [4-6] показали, что статическая усталостная прочность, контактная жесткость, герметичность, износостойкость, коррозионная стойкость деталей машин и их соединений зависят от формируемых при механической обработке параметров качества

поверхностного слоя, физико-механических свойств материала деталей, получаемой точности размеров и условий эксплуатации.

Формируемые при механической обработке параметры шероховатости, волнистости, макроотклонения, а также физико-механические параметры определяют в конечном счете качество поверхностного слоя и эксплуатационные свойства деталей машин и их соединений.

В связи с необходимостью улучшения качества отечественных изделий в начале 70-х гг. XX в. одна из пятилеток была объявлена «пятилеткой качества». Были разработаны опережающие стандарты, базирующиеся на последних достижениях науки и техники и обеспечивающие техническое повышение качества изделий машиностроения и авиакосмической техники. Вышедший ГОСТ 2789-73 «Шероховатость поверхности. Параметры и характеристики» предусматривал стандартизацию параметров (Ra , Rz , R_{max} , Sm , tp), влияющих на эксплуатационные свойства деталей машин и их соединений. Для оценки остальных параметров качества поверхностного слоя в научно-технической литературе были предложены: для волнистости - средняя высота волн Wz ; для макроотклонения - максимальная величина макроотклонения H_{max} ; для физико-механических свойств поверхностного слоя - поверхностная микротвердость H_{μ} и глубина залегания упрочненного слоя h_{μ} , поверхностные остаточные напряжения $\bar{\sigma}_{ост}$ и глубина их залегания h_{σ} [5].

Результаты исследований

Собственные исследования авторов, а также анализ литературных данных позволили установить взаимосвязи физико-механических свойств материала, точности размеров и параметров качества поверхностного слоя с эксплуатационными свойствами деталей и их соединений, определяющие надежность изделий машиностроения и авиакосмической техники [4; 6].

Так как из параметров качества поверхностного слоя деталей стандартизована только шероховатость, то в [4; 6] введены параметры шероховатости, рекомендуемые для простановки на чертежах деталей на ответственных поверхностях для обеспечения требуемых эксплуатационных свойств и надежности изделия в целом.

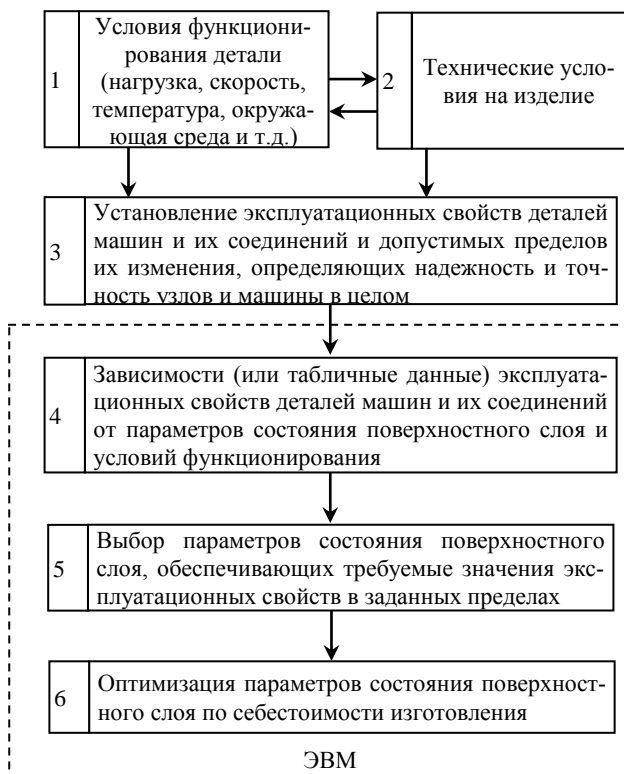


Рис. 1. Алгоритм решения задачи конструктора

Численные значения параметров шероховатости, обеспечивающие требуемые значения эксплуатационных свойств деталей машин и их соединений, определяются расчетно-аналитически, экспериментально или опытно-статистически. Алгоритм решения задачи конструктора по обеспечению качества изделий машиностроения и авиакосмической техники представлен на рис. 1 [4].

На первом этапе (блоки 1 и 2) происходит анализ исходной информации об изделии. В качестве исходной информации выступают условия функционирования деталей изделий и технические условия на изделие в целом. Под условиями функционирования деталей изделий понимаются: действующая нагрузка, диапазоны скоростей, температур, параметры, характеризующие окружающую среду. Результатом анализа исходной информации является определение тех эксплуатационных свойств деталей машин и их соединений, которые накладывают ограничение на достигаемую надежность и точность узлов и машин в целом (блок 3).

Отметим, что переход от блоков 1 и 2 к блоку 3 не поддается алгоритмизации. На данном этапе проектирования важными

являются имеющиеся статистические данные по эксплуатации прототипов проектируемых узлов или машин, а также опыт конструкторов.

Определив для проектируемых соединений требуемые значения эксплуатационных свойств, производят поиск математических моделей или табличных данных, характеризующих количественную взаимосвязь между эксплуатационными свойствами и параметрами состояния поверхностного слоя (блок 4).

В блоке 5 осуществляется выбор параметров качества рабочих поверхностей деталей, обеспечивающих требуемые значения эксплуатационных свойств в допустимых пределах их изменения. В этом блоке решаются задачи: 1) подбор материала, из которого будет изготавливаться деталь, и определение параметров качества поверхностного слоя и точности получаемых размеров при известных геометрических размерах детали; 2) определение размеров и их точности, а также параметров качества поверхностного слоя при заданном материале детали; 3) определение точности получаемых размеров и параметров качества поверхностного слоя при известных размерах и материале детали; 4) определение параметров качества поверхностного слоя при известном материале детали, размерах и требуемой точности размеров детали.

При решении сформулированных задач возникает ряд ограничений. Так, физико-механические свойства материалов определяются наличием соответствующих марок. Точность получаемых размеров и формируемые параметры качества поверхностного слоя определяются технологическими возможностями, т.е. накладываются технические ограничения:

$$\sigma_{T \min} \leq \sigma_T \leq \sigma_{T \max};$$

$$T_{\min} \leq T \leq T_{\max};$$

$$Ra_{\min} \leq Ra \leq Ra_{\max}.$$

Некоторые из этих ограничений взаимосвязаны. Так, физико-химическое состояние поверхностного слоя деталей в значительной мере определяется физико-механическими свойствами материала, а точность получаемых размеров - параметрами качества поверхностного слоя.

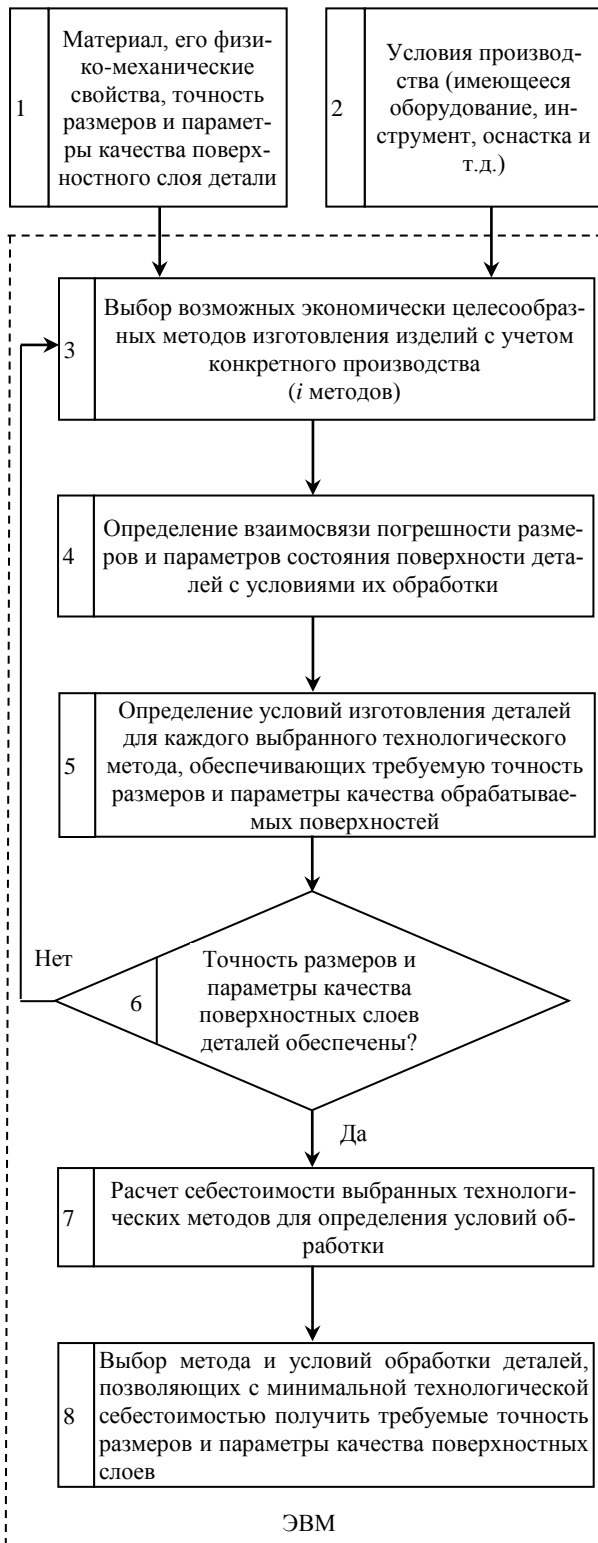


Рис. 2. Алгоритм решения задачи технолога

Решение этих задач многовариантно. Поэтому в блоке 6 осуществляется поиск оптимального варианта. В качестве критерия оптимизации выступает себестоимость изготовления детали. При этом на основе анализа задач блока 5 определяют векторы постоянных параметров и независимых оптимизирующих параметров:

$$K = (\sigma_t, E, d, \dots);$$

$$X = (Ra, tp, Wz, H_{\mu 0}).$$

Итак, решение задачи конструктора по обеспечению качества изделий машиностроения и авиакосмической техники начиная с блока 4 является в достаточной степени формализованным и может быть алгоритмизировано и реализовано на ЭВМ. При этом система уравнений характеристик эксплуатационных свойств, технических ограничений, постоянных и оптимизируемых параметров является исходной для разработки алгоритма в блоках 5 и 6. При реализации этого алгоритма может быть использован метод ЛП-поиска, отличающийся от других большей простотой [6].

Проблема технологического обеспечения заданного эксплуатационного свойства может быть решена: 1) непосредственно путем установления его функциональной взаимосвязи с условиями обработки детали; 2) обеспечением заданных параметров качества поверхностного слоя, гарантирующих требуемое значение эксплуатационного свойства [6; 7]. Алгоритм решения этой проблемы приведен на рис. 2 [4; 6; 7].

Исходной информацией для решения проблемы технологического обеспечения заданного эксплуатационного свойства являются: чертеж на конкретную деталь, для которой разрабатывается технологический процесс, и технические требования к данной детали (блок 1); условия существующего производства (имеющееся оборудование и его загрузка; наличие инструмента, оснастки и т.д.) (блок 2).

В том случае, если технологический процесс разрабатывается для вновь создаваемого производства, блок 2 исключается.

На основе информации, полученной в блоках 1 и 2, выбираются возможные методы обработки детали, позволяющие обеспечить требуемые параметры качества обрабатываемых поверхностей (блок 3) [7; 8].

При назначении предшествующих методов обработки, с учетом технологической наследственности, руководствуются тем, что каждая последующая обработка повышает точность получаемых размеров

на 1-2 квалитета и уменьшает высотные параметры шероховатости в 2-6 раз [9].

Экономически целесообразно применять методы обработки, при которых достигается наименьшая технологическая себестоимость. Поэтому рассчитывается технологическая себестоимость для выбранных методов обработки (блок 7). Выбранные методы обработки должны обеспечивать заданные параметры качества поверхностного слоя и точность размеров детали при определенных условиях обработки. Для этого используются уравнения функциональной взаимосвязи погрешности обработки и параметров качества поверхностного слоя деталей с условиями их обработки (блок 4) [7; 8].

После проведения расчетов для всех возможных методов обработки в блоке 8 осуществляется окончательный выбор метода обработки конкретной поверхности, обеспечивающего получение необходимых параметров ее качества, точности размеров и минимальной себестоимости. Отметим, что алгоритм решения задачи технолога (рис. 2) начиная с блока 3 является форма-

Заключение и выводы

Для обеспечения качества деталей машин при изготовлении необходимо строго соблюдать технологическую дисциплину (исполнение разработанных технологических процессов), оперативно осуществлять контроль и подналадку технологических систем при возможных отклонениях от допустимых значений. В станке эти отклонения обусловлены уменьшением его жесткости и точности из-за износа в узлах трения, процессов схватывания в этих узлах из-за нарушения подачи смазочного материала, ослабления затяжных компенсирующих элементов; в приспособлениях - износом базирующих элементов, уменьшением сил закрепления и т.д.; в инструменте - износом и ослаблением его крепления; в заготовке - отклонением твердости материала и размеров больше допустимых значений.

Строгое соблюдение технологической дисциплины при механической обработке обеспечивается: на автоматических и

лизованным и может быть реализован с помощью ЭВМ.

Описанная выше методология обеспечения эксплуатационных свойств деталей машин и их соединений является двухступенчатой: конструкторской и технологической. В настоящее время создается банк данных по одноступенчатому - непосредственному обеспечению эксплуатационных свойств деталей машин и их соединений [6]. Для этого опытно-статистически устанавливаются возможности различных методов обработки рабочих поверхностей в обеспечении эксплуатационных свойств деталей машин и авиакосмической техники.

Теоретически и экспериментально получают уравнения взаимосвязи эксплуатационных свойств рабочих поверхностей деталей с условиями их обработки. Разрабатываются автоматизированные системы научных исследований (АСНИ) эксплуатационных свойств деталей машин и их соединений, позволяющие в автоматизированном режиме получать эмпирические уравнения их взаимосвязи с режимами обработки [10].

роторных линиях, автоматах и полуавтоматах - наладчиками; на станках с ЧПУ и многоцелевых станках - программистами и наладчиками; на универсальных станках - станочниками. Контроль за соблюдением технологической дисциплины осуществляют технолог, контролер, мастер.

Для повышения надежности обеспечения требуемой точности и параметров качества поверхностного слоя разработаны различные системы адаптивного управления процессом обработки [10].

Для обеспечения качества деталей из новых материалов, для которых нет справочных данных по взаимосвязи точности размеров и качества поверхностного слоя с условиями обработки, в последние годы разрабатываются самообучающиеся технологические системы. Их использование позволяет в автоматизированном режиме при обработке опытного образца получить эмпирические зависимости точности и параметров качества поверхностного слоя от

режимов обработки. С использованием этих зависимостей по программе на станке рассчитываются и устанавливаются режимы, обеспечивающие требуемую точность и параметры качества обрабатываемых поверхностей деталей.

Таким образом, изложенная методология реализации фундаментальных основ

позволит на практике повысить качество новых изделий машиностроения и авиакосмической техники и значительно сократить время на конструкторско-технологическую доработку после производственных и эксплуатационных испытаний.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Проников А.С. Надежность машин. М.: Машиностроение, 1978. 592 с.
2. Качество машин: справочник: в 2 т. / А.Г. Суслов, Э.Д. Браун, Н.А. Виткевич [и др.]. М.: Машиностроение, 1995. Т. 1. 256 с.
3. Качество машин: справочник: в 2 т. / А.Г. Суслов, Ю.В. Гуляев, А.М. Дальский [и др.]. М.: Машиностроение, 1995. Т. 2. 430 с.
4. Машиностроение: энциклопедия. Т. IV-3. Надежность машин / В.В. Клюев, В.В. Болотин, Ф.Р. Соснин [и др.]; под общ. ред. В.В. Клюева. М.: Машиностроение, 1998. 592 с.
5. Суслов А.Г. Качество поверхностного слоя деталей машин. М.: Машиностроение, 2000. 320 с.
6. Технологическое обеспечение и повышение эксплуатационных свойств деталей и их соединений / А.Г. Суслов, В.П. Федоров, О.А. Гор-

7. Суслов А.Г. Технологическое обеспечение параметров состояния поверхностного слоя деталей. М.: Машиностроение, 1987. 208 с.
8. Справочник технолога / под общ. ред. А.Г. Суслова. М.: Инновационное машиностроение, 2019. 800 с.
9. Суслов А.Г., Дальский А.М. Научные основы технологии машиностроения. М.: Машиностроение, 2002. 684 с.
10. Суслов А.Г., Петрешин Д.И., Федонин О.Н., Хандожко В.А. Автоматизация управления параметрами качества поверхностного слоя и эксплуатационными свойствами деталей машин при обработке резанием // Научно-технические технологии в машиностроении. 2019. № 8 (98). С. 28-36.

1. Pronikov A.S. Machinery Reliability. M.: Mechanical Engineering, 1978. pp. 592.
2. Machinery Quality: reference book: in 2 Vol. / A.G. Suslov, E.D. Brown, N.A. Vitkevich [et al.]. M.: Mechanical Engineering, 1995. Vol.1. pp. 256.
3. Machinery Quality: reference book: in 2 Vol. / A.G. Suslov, Yu.V. Gulyaev, A.M. Dalsky [et al.]. M.: Mechanical Engineering, 1995. Vol.2. pp. 430.
4. Mechanical Engineering: encyclopedia. Vol. IV-3. Machinery Reliability / V.V. Klyuev, V.V. Bolotin, F.R. Sosnin [et al.]; under the general editorship of V.V. Klyuev. M.: Mechanical Engineering, 1998. pp. 592.
5. Suslov A.G. Surface Layer Quality in Machinery. M.: Mechanical Engineering, 2000. pp. 320.
6. Technological Support and Operation Properties Increase in Parts and Their Units / A.G. Suslov, V.P. Fyodorov, O.A. Gorlenko [et al.]; under the

- general editorship of A.G. Suslov. M.: Mechanical Engineering, 2006. pp. 448.
7. Suslov A.G. Parameter Technological Support of Surface Layer State in Parts. M.: Mechanical Engineering, 1987, pp. 208.
8. Technologist's Reference Book / under the general editorship of A.G. Suslov. M.: Innovation Mechanical Engineering, 2019. pp. 800.
9. Suslov A.G., Dalsky A.M. Scientific Fundamentals of Engineering Technique. M.: Mechanical Engineering, 2002. pp. 684.
10. Suslov A.G., Petreshin D.I., Fedonin O.N., Khandozhko V.A. Automation of quality parameter control of surface layer and machinery operation properties during cutting // Science Intensive Technologies in Mechanical Engineering. 2019. No.8 (98). pp. 28-36.

Ссылка для цитирования:

Суслов А.Г., Федонин О.Н., Петрешин Д.И. Фундаментальные основы обеспечения и повышения качества изделий машиностроения и авиакосмической техники // Вестник Брянского государственного технического университета. 2020. № 2. С. 4–10. DOI: 10.30987/1999-8775-2020-2020-2-4-10.

Статья поступила в редакцию 09.12.19.
Рецензент: д.т.н., профессор Волгоградского государственного технического университета
Чигиринский Ю.Л.
Статья принята к публикации 29. 01. 20.

Сведения об авторах:

Сулов Анатолий Григорьевич, д.т.н., профессор
Брянского государственного технического универ-
ситета, e-mail: naukatm@yandex.ru.

Федонин Олег Николаевич, д.т.н., профессор,
ректор Брянского государственного технического
университета, e-mail: rector@tu-bryansk.ru.

Suslov Anatoly grigorievich, Dr. Sc. Tech., Prof.,
Bryansk State Technical University, e-mail:
naukatm@yandex.ru.

Fedonin Oleg Nikolaevich, Dr. Sc. Tech., Prof.,
Rector, Bryansk State Technical University, e-mail:
rector@tu-bryansk.ru.

Петрешин Дмитрий Иванович, д.т.н., доцент,
директор Учебно-научного технологического
института Брянского государственного техниче-
ского университета, e-mail: dipetreshin@yandex.ru.

Petreshin Dmitry Ivanovich, Dr. Sc. Tech., Direc-
tor, Educational-Scientific Technological Institute of
Bryansk State Technical University, e-mail: dipetreshin@yandex.ru