

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ПОРШНЕЙ МИКРОДВИГАТЕЛЕЙ

*Злотников Е.Г., Куриленко Д.Д.*

*Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II,  
Санкт-Петербург*

**Ключевые слова:** качество продукции, точность, надежность, микродвигатель, поршень, токарная и фрезерная ЧПУ обработка, прецизионное шлифование, притирка.

**Аннотация.** Статья посвящена исследованию технологического обеспечения качества при изготовлении поршней микродвигателей. В данной работе рассматриваются основные проблемы производства поршней для микродвигателей, включая выбор материалов, методы изготовления, обработки и контроля качества. Также рассматривается влияние технологических параметров на характеристики поршней и их влияние на работоспособность микродвигателей. Анализируются современные методы обеспечения качества при производстве поршней, включая новейшие методы контроля и технологии материалов.

## TECHNOLOGICAL QUALITY ASSURANCE IN MANUFACTURING OF MICROMOTOR PISTONS

*Zlotnikov E.G., Kurilenko D.D.*

*Saint-Petersburg Mining University, Saint-Petersburg*

**Keywords:** product quality, accuracy, reliability, micromotor, piston, CNC turning and milling, precision grinding, lapping.

**Abstract.** The article is devoted to the study of technological quality assurance in the manufacture of micromotor pistons. This paper considers the main problems of production of pistons for micromotors, including the choice of materials, methods of manufacturing, processing and quality control. The influence of technological parameters on the characteristics of pistons and their impact on the performance of micromotors is also considered. Modern methods of quality assurance in piston production are analyzed, including the latest inspection methods and material technologies.

### **Введение**

Современные технологии и развитие промышленности привели к повышению требований к качеству продукции. Наиболее важными параметрами являются точность, эффективность и надежность работы механизмов, включая такие как двигатели внутреннего сгорания (ДВС). Поршни являются ключевыми элементами, от которых зависит эффективность работы всего механизма ДВС. Поэтому технологическое обеспечение конструкторских требований по точности и качеству при изготовлении поршней ДВС является актуальной темой исследований.

### **Материалы и инструменты**

Поршень является важнейшей деталью кривошипно-шатунного механизма двигателя, служит для всасывания и сжатия рабочей смеси, обеспечивает заданные фазы газораспределения в рабочем цикле, подвергается воздействию высокой температуры и давлению газов в камере сгорания.

К материалу поршней предъявляется ряд требований, к которым относятся: прочность и легкость, износостойкость и антифрикционные свойства, соответствие коэффициента температурного расширения материалу гильзы цилиндра, хорошая обрабатываемость, возможность получения высокой чистоты обработки [1, 2].

Поршни двигателя могут быть с поршневыми кольцами или гладкие. В первом случае лучшим материалом для изготовления служат алюминиевые сплавы марок В95, АК4-1, Д16Т или литейные сплавы АЛ5, АЛ9. Гладкие поршни (без колец) изготавливают из следующих материалов: серого чугуна СЧ21-40, легированного чугуна ХНВ, МН и других. Поршни из данных материалов максимально облегчаются и по наружной поверхности обрабатываются до шероховатости  $Ra\ 0,8...0,4$  мкм (алюминиевые сплавы) и  $Ra\ 0,2...0,1$  мкм (чугуна) [1]. При использовании в микродвигателе рабочих пар в виде хромированной латунной гильзы и алюминиевого поршня, последний изготавливают из жаропрочных литейных сплавов АК18, АК12М2МгН (АЛ25), АК12ММгН (АЛ30), АК21М3Н1 или спеченного алюминиевого сплава САС-1 системы Al-Si-Ni с низким коэффициентом линейного расширения [3, 4].

К основным элементам поршня относят: днище (головку), уплотняющую часть и направляющую часть (юбку). Наиболее приемлемой и выгодной формой поршня является цилиндр.

Рассмотрим на примере конструкции поршней микродвигателей [4] основные требования, которые необходимо обеспечить в процессе их изготовления (рис. 1).

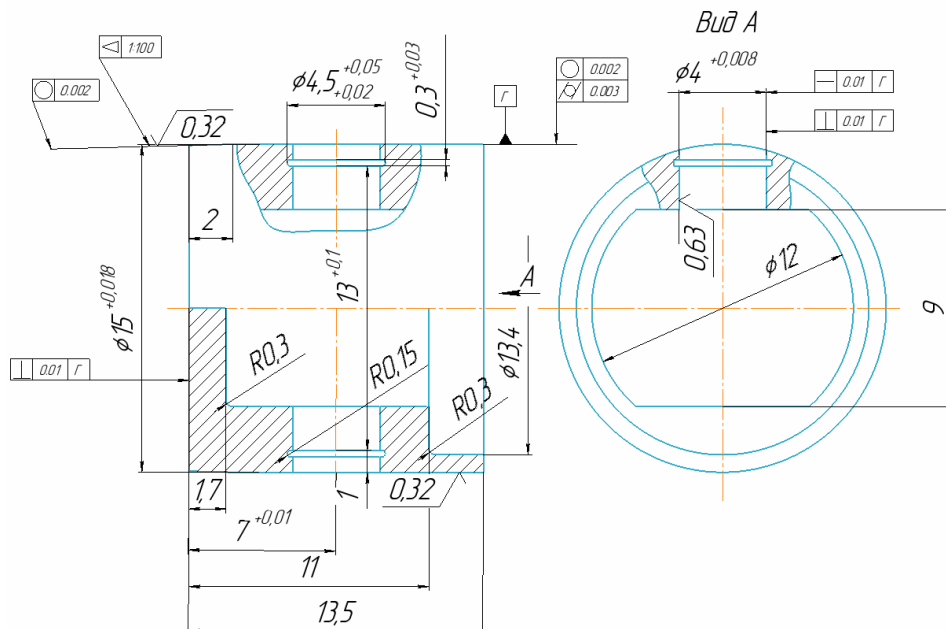


Рис. 1. Поршень компрессионного микродвигателя ЦСТКАМ 2,5 Д 3(материал АК21М2,5Н2,5)

К наиболее точным элементам конструкции поршня можно отнести наружную поверхность уплотняющей части  $\varnothing 15^{+0,018}$  мм, с допусками на круглость и цилиндричность 0,002 и 0,003 мм, а также отверстие под поршневой палец  $\varnothing 4^{+0,008}$  с допуском перпендикулярности 0,01 мм относительно первой. Минимальная достигаемая шероховатость  $Ra\ 0,32$  мкм. Для исключения

подклинивания поршня в гильзе цилиндра и ускорения приработки пары верхняя часть образующей поршня от днища обрабатывается на конус 1:100. Некоторую сложность представляет изготовление двух канавок под стопорные кольца  $\varnothing 4,5$  мм шириной 0,3 мм, для которых потребуется специальный канавочный резец.

### Совершенствование технологии изготовления поршней

Технологическое обеспечение качества при изготовлении поршней микродвигателей включает в себя ряд этапов, начиная от проектирования конструкции, разработки процессов изготовления и заканчивая контролем готовой продукции.

Современные технологии компьютерного моделирования дают возможность подобрать геометрию рабочих поверхностей поршня, выбрать оптимальные конструктивные сечения с учетом механических свойств материала, что позволяет снизить вес детали, уменьшить трение, увеличить ресурс и мощность двигателя.

При изготовлении детали из прутка технологический процесс будет включать токарную, фрезерную, сверлильно-расточную и круглошлифо-вальную операции. Предлагается усовершенствовать технологию за счет использования для основных операций высокоточного токарного центра с ЧПУ с приводным инструментом. В этом случае с одной установки становится возможным провести обработку наружной цилиндрической поверхности под шлифование (притирку) и теплового конуса у днища поршня, выполнить токарную обработку и фрезерование внутренней полости, а затем, зафиксировав заготовку в нужной угловой позиции при неподвижном шпинделе просверлить и развернуть отверстие под поршневой палец ( $\varnothing 4^{+0,008}$  мм). Это отверстие также можно получить, применяя спиральное фрезерование твердосплавной концевой фрезой (рис. 2).

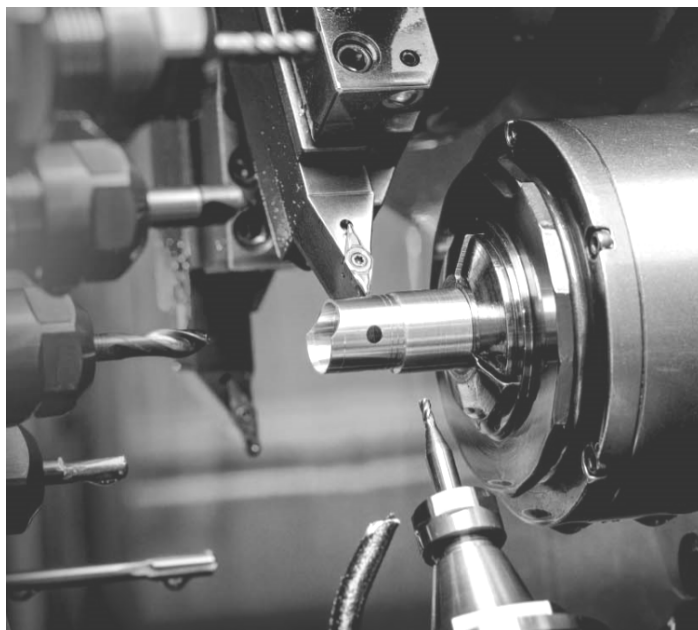


Рис. 2. Обработка поршня на токарном центре с ЧПУ

Канавки  $\varnothing 4,5$  мм растачиваются специальным твердосплавным резцом на токарном станке с установкой на оправке по отверстию  $\varnothing 4$  мм. Другой вариант – обработка специальной дисковой пазовой фрезой на токарном центре с ЧПУ.

Окончательная прецизионная обработка поверхности  $\varnothing 15^{+0,018}$  мм с шероховатостью  $Ra$  0,16...0,32 мкм выполняется на шлифовальном станке с ЧПУ. Операция критически важна для достижения заданного качества изделия, поскольку на ней обеспечиваются жесткие допуски на размер (вплоть до 0,001 мм) и микрорельеф наружной поверхности поршня, благоприятный для приработки в паре с гильзой во время обкатки двигателя. Активный контроль размеров каждой детали в ходе обработки позволяет корректировать программу и настройки для поддержания заданных размеров и качества поверхности.

В единичном и мелкосерийном производстве финишная обработка наружного диаметра поршня может быть осуществлена притиркой абразивными пастами с использованием чугуновых, медных, бронзовых или текстолитовых притиров. Используется корундовый порошок М20-М40 (зерна величиной 0,02...0,04 мм). На поверхности детали формируется сетка из пересекающихся рисок.

Операция шлифования или притирки поршней из алюминиевых сплавов может быть эффективно заменена точением алмазным резцом.

Важным этапом, влияющим на качество готовой продукции, является скругление острых кромок, удаление заусенцев, тщательная мойка, обеспечивающая удаление остатков стружки и абразивных частиц. Готовые детали смазываются маслом для защиты от коррозии [5].

### **Заключение**

Технологическое обеспечение качества при изготовлении поршней является важным аспектом в производстве микродвигателей. Жесткие допуски на размеры, требования к взаимному расположению и качеству поверхностей таких прецизионных деталей достигаются за счет выбора рациональных схем базирования, методов обработки, применением современного оборудования с ЧПУ, назначением подходящего материала, геометрии режущих инструментов и оптимальных режимов. Выполнение комплекса данных условий обеспечивает эффективность работы всей производственной системы и высокое качество готовой продукции.

### **Список литературы**

1. Зуев В.П., Камышев Н.П. и др. Модельные двигатели. Конструктивные особенности модельных двигателей: пособие для руководителей технических кружков. – М.: "Просвещение", 1973. – 242 с.
2. Жидков С.Н. Секреты высоких скоростей кордовых моделей самолетов. – М.: ДОСААФ, 1972. – 141 с.
3. Гусев Е. М., Осипов М.С. Пособие для автомоделлистов. – М.: ДОСААФ, 1980. – 145 с.
4. Мерзлякин В.Е. Микродвигатели серии ЦСТКАМ. – М.: Патриот, 1991. – 167 с.
5. Juraj H. FX Royal Racing Engines. How it is made // MATEC Web Conference. – 2022. – 41 p.

### Сведения об авторах:

*Злотников Евгений Глебович* – к.т.н., доцент;

*Куриленко Денис Дмитриевич* – студент.