

UDC 621.634

## Zhukov D.S. Development of a special design of an eccentric mandrel

Разработка конструкции специальной эксцентричной оправки.

**Zhukov Denis Sergeevich**

Master's student,  
Voronezh State Technical University

Scientific supervisor: **Krasnova M.N.**,  
PhD, Associate Professor of the Department of Mechanical Engineering Technology, Voronezh State  
Technical University Жуков Денис Сергеевич

Магистрант,  
Воронежский государственный технический университет  
Научный руководитель: Краснова М.Н.  
к. т. н, доцент кафедры технологии машиностроения,  
Воронежский государственный технический университет

***Abstract.** The developed special eccentric mandrel is designed for turning and the requirements for the working conditions of the structure are determined.*

***Keywords:** eccentric mandrel, turning, technological tooling, strength calculation, finite element analysis*

***Аннотация.** Разработанная специальная эксцентричная оправка предназначена для токарной обработки и определены требования к условиям работоспособности конструкции.*

***Ключевые слова:** эксцентричная оправка, токарная обработка, технологическая оснастка, прочностной расчёт, конечно-элементный анализ*

---

**Рецензент:** Торопцев Василий Владимирович - кандидат технических наук, доцент.  
ФГБОУ ВО «РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева»

Специальная эксцентричная оправка представляет собой технологическое приспособление, предназначенное для установки, базирования и закрепления заготовки при выполнении токарной обработки деталей, имеющих поверхности со смещённой осью вращения.

Необходимость применения подобных оправок возникает при обработке деталей сложной геометрической формы, у которых отдельные поверхности расположены под углом либо смещены относительно основной оси детали. Использование стандартных цилиндрических оправок в таких случаях не обеспечивает требуемого положения заготовки, что приводит к увеличению количества установов, усложнению технологического процесса и снижению точности обработки.

Разработанная специальная эксцентричная оправка предназначена для токарной обработки детали типа «Ось» и обеспечивает установку заготовки под углом относительно основной оси вращения шпинделя станка. Конструкция оправки

позволяет выполнять обработку поверхностей со смещённой геометрической осью без применения дополнительных установов и повторной переустановки детали.

Использование специальной оправки позволяет:

- повысить точность взаимного расположения поверхностей;
- уменьшить погрешность базирования;
- сократить вспомогательное время обработки;
- повысить повторяемость установки заготовки;
- снизить количество технологических переходов;
- повысить стабильность положения детали при обработке.

Особенно эффективным применение эксцентричных оправок является в условиях мелкосерийного и серийного производства, где требуется обеспечение высокой точности обработки при сравнительно небольшой трудоёмкости изготовления технологической оснастки.

Конструктивно оправка представляет собой цилиндрический корпус со смещённым посадочным отверстием под установку заготовки. В конструкции предусмотрены элементы базирования и закрепления, обеспечивающие надёжную работу оправки под действием статических и динамических нагрузок, возникающих в процессе токарной обработки.

Основными элементами конструкции являются:

- корпус оправки;
- посадочное отверстие  $\varnothing 40,05H8$ ;
- наклонно расположенная ось установки заготовки;
- фиксирующий болт  $M8 \times 1,25 \times 40$ ;
- прижимной болт  $M10 \times 1,5 \times 30$ ;
- наружные цилиндрические поверхности корпуса;
- отверстия под крепёжные элементы.

Конструкция оправки разработана таким образом, чтобы обеспечить:

- достаточную жёсткость;
- минимальные деформации при обработке;
- устойчивость к вибрациям;
- надёжную передачу сил резания;
- стабильность положения заготовки.

Корпус оправки является основным несущим элементом конструкции. Он предназначен для восприятия механических нагрузок, возникающих в процессе обработки, а также для передачи крутящего момента и обеспечения общей жёсткости приспособления.

Наружный диаметр корпуса составляет  $\varnothing 80$  мм, диаметр внутренней ступени —  $\varnothing 70$  мм, а общая длина оправки равна 95 мм.

Корпус имеет цилиндрическую форму со ступенчатыми переходами и фасками  $5 \times 45^\circ$ , обеспечивающими:

- снижение концентрации напряжений;
- повышение технологичности изготовления;
- уменьшение вероятности повреждения кромок;
- удобство монтажа и установки.

Увеличенный наружный диаметр корпуса выбран для повышения жёсткости конструкции. В процессе токарной обработки корпус воспринимает:

- силы резания;
- контактные напряжения;
- изгибающие нагрузки;
- крутящий момент;
- динамические нагрузки от неравномерного распределения массы.

Массивность корпуса позволяет уменьшить влияние вибраций и снизить деформации при работе оправки на повышенных оборотах.

Для изготовления оправки принята конструкционная легированная сталь 40Х.

Выбор данного материала обусловлен необходимостью обеспечения:

- высокой прочности;
- достаточной жёсткости;
- устойчивости к динамическим нагрузкам;
- хорошей износостойкости;
- возможности термической обработки;
- стабильности геометрических параметров при эксплуатации.

Сталь 40Х широко применяется при изготовлении технологической оснастки, валов, оправок и других деталей, работающих в условиях переменных нагрузок и повышенных механических напряжений.

К основным преимуществам стали 40Х относятся:

- высокий предел прочности;
- хорошая сопротивляемость усталостным разрушениям;
- высокая прокаливаемость;
- хорошая обрабатываемость резанием;
- возможность получения высокой твёрдости после термообработки.

Использование стали 40Х обеспечивает достаточный запас прочности оправки при работе в условиях токарной обработки.

В центральной части оправки выполнено посадочное отверстие  $\varnothing 40,05H8$  с шероховатостью поверхности Ra 1,6.

Посадочное отверстие является основной базирующей поверхностью оправки и предназначено для установки заготовки детали.

Точность отверстия по качеству H8 обеспечивает:

- высокую точность установки заготовки;
- минимальное радиальное биение;
- стабильность положения детали;
- снижение погрешности базирования.

Шероховатость поверхности Ra 1,6 выбрана для повышения контактной жёсткости соединения между оправкой и заготовкой. Снижение шероховатости позволяет:

- уменьшить микроперемещения детали;
- повысить стабильность закрепления;
- улучшить распределение контактных напряжений.

Кроме того, наличие минимального гарантированного зазора между заготовкой и отверстием обеспечивает удобство установки детали и предотвращает заклинивание при монтаже.

Главной особенностью оправки является наклонное расположение оси посадочного отверстия относительно основной оси корпуса. Угол смещения составляет  $5^{\circ}45'$ .

Наличие углового смещения позволяет обеспечивать эксцентричное расположение заготовки относительно оси вращения шпинделя станка.

Такое конструктивное решение даёт возможность:

- выполнять обработку поверхностей со смещённой осью;
- исключить необходимость дополнительных установок;
- уменьшить погрешности переустановки;
- повысить точность взаимного расположения поверхностей детали.

Однако наличие смещённой оси значительно усложняет работу оправки с точки зрения механики и динамики.

При вращении оправки возникают:

- дополнительные изгибающие моменты;
- динамический дисбаланс;
- центробежные нагрузки;
- вибрации;
- неравномерное распределение напряжений.

Поэтому эксцентричная оправка работает в более сложных условиях по сравнению

с обычными цилиндрическими оправками.

Для закрепления заготовки в конструкции предусмотрены два крепёжных элемента:

- болт М8×1,25×40;
- болт М10×1,5×30.

Каждый из болтов выполняет собственную функцию в общей системе закрепления заготовки.

Болт М8×1,25×40

Болт М8 используется для фиксации положения заготовки и ограничения её осевого перемещения относительно корпуса оправки.

Основными функциями болта являются:

- фиксация положения детали;
- предотвращение осевого смещения;
- обеспечение стабильности установки;
- участие в базировании заготовки.

Во время обработки болт воспринимает нагрузки, возникающие под действием:

- осевых составляющих силы резания;
- вибраций;
- динамических колебаний;
- неравномерного распределения нагрузок.

Таким образом, болт М8 является не только фиксирующим, но и одним из базирующих элементов конструкции оправки.

Болт М10×1,5×30

Болт М10 выполняет функцию основного прижимного элемента конструкции.

Он обеспечивает:

- создание силы прижима;
- увеличение силы трения между заготовкой и оправкой;
- предотвращение проворота детали;
- повышение жёсткости соединения.

Во время токарной обработки болт М10 воспринимает основные нагрузки, связанные с передачей крутящего момента от сил резания.

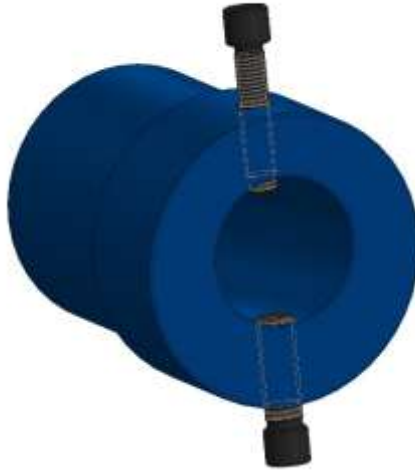


Рисунок 1. Эксцентричная оправка 3D модель

Надёжность работы всей оправки в значительной степени зависит от правильного выбора усилия затяжки данного болта, так как недостаточная сила прижима может привести к провороту заготовки, возникновению вибраций и снижению точности обработки.

#### **Работа оправки под нагрузкой**

Во время токарной обработки оправка работает в условиях сложного напряжённого состояния.

На конструкцию воздействуют:

- силы резания;
- силы закрепления;
- контактные напряжения;
- крутящий момент;
- изгибающие нагрузки;
- динамические силы;
- вибрационные нагрузки.

Из-за наличия углового смещения оси распределение нагрузок по конструкции является несимметричным, что приводит к возникновению локальных зон повышенных напряжений.

Наиболее нагруженными участками конструкции являются:

- область посадочного отверстия  $\varnothing 40,05H8$ ;
- отверстия под крепёжные болты;

- участок минимальной толщины стенки;
- область смещения оси отверстия.

### Особенности работы эксцентричной оправки

По сравнению с обычными цилиндрическими оправками эксцентричная конструкция обладает рядом особенностей:

- смещённый центр масс;
- повышенная чувствительность к вибрациям;
- наличие динамического дисбаланса;
- сложное распределение напряжений;
- повышенные требования к жёсткости конструкции.

Эти особенности требуют проведения:

- прочностных расчётов;
- анализа напряжённо-деформированного состояния;
- расчёта болтовых соединений;
- исследования динамических нагрузок;
- моделирования работы оправки под нагрузкой.

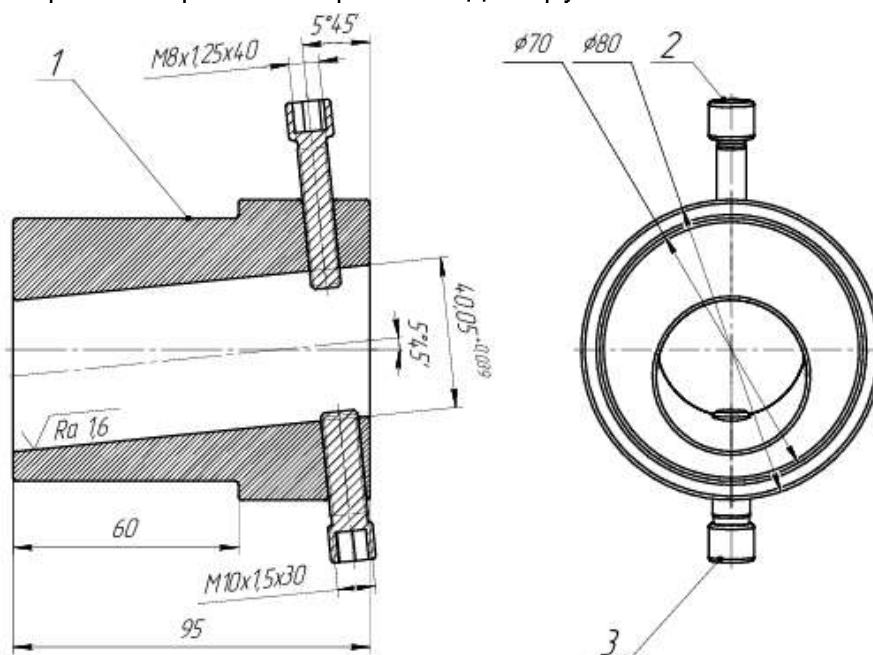


Рисунок 2. Эксцентричная оправка сборочный чертёж

### Вывод по конструкции оправки

Разработанная специальная эксцентричная оправка представляет собой сложное технологическое приспособление, предназначенное для токарной обработки деталей со смещённой осью вращения.

Конструкция оправки обеспечивает:

- точное базирование заготовки;
- надёжное закрепление детали;
- передачу сил резания;
- устойчивую работу при статических и динамических нагрузках.

Основной особенностью конструкции является наклонное расположение посадочного отверстия под углом  $5^{\circ}45'$  относительно основной оси корпуса, что обеспечивает возможность обработки эксцентричных поверхностей и одновременно создаёт дополнительные динамические и прочностные нагрузки на элементы оправки.

Проведен конечно-элементный анализ специальной эксцентричной оправки. Были исследованы пять расчётных случаев: действие силы резания, болтовое закрепление М8 и М10, совместное действие сил резания и закрепления, влияние центробежных сил, а также комплексное нагружение посадочного отверстия  $\varnothing 40,05H8$ .

Наибольшие напряжения были получены при совместном действии эксплуатационных нагрузок и составили около:

$$\sigma_{max} \approx 214\text{--}216 \text{ МПа}$$

Максимальное перемещение конструкции составило около:

$$U_{max} \approx 0,039\text{--}0,04 \text{ мм}$$

Максимальная эквивалентная деформация не превысила:

$$\varepsilon_{max} \approx 6,7 \times 10^{-4}$$

Полученные напряжения ниже предела текучести стали 40Х, поэтому конструкция работает в упругой области и имеет запас прочности.

Таким образом, результаты МКЭ подтверждают, что специальная эксцентричная оправка выдерживает действие сил резания, усилий болтового закрепления и центробежной нагрузки. Конструкция может быть признана работоспособной для заданных условий токарной обработки.

#### References

1. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя – М.: Машиностроение, 2012. – 912 с.
2. Косилова А.Г. Справочник технолога-машиностроителя – М.: Машиностроение, 2003. – 944 с.
3. Справочник технолога-машиностроителя – М.: Машиностроение, 2001. – 1439 с.