

Ю.Н. Кузнецов, проф. д-р техн. наук, Хасан Аль-Дабас, асп.
Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт» (Украина)

Пенка Милкова Неделчева
Технический университет Габрово, Болгария

Компьютерное моделирование и исследование силовых характеристик эксцентрикового сверлильного патрона

Разработанная, смоделированная и исследованная в среде CAD-системы SolidWorks параметрическая компьютерная модель эксцентриковых сверлильных патронов, позволила повысить стабильность характеристик системы “зажимной патрон - инструмент” на металлорежущих станках при их использовании на высоких частотах вращения.

компьютерное моделирование, силовые характеристики, эксцентриковый сверлильный патрон, металлорежущий станок, среда CAD-системы SolidWorks

В процессе поиска новых технических решений инструментальных зажимных патронов, отвечающих требованиям современных технологий, созданы оригинальные конструкции эксцентриковых сверлильных патронов (ЭСП) [1-3]. Они синтезированы с применением дифференциально-морфологического метода [3, 7] и предназначены для закрепления преимущественно сверл, разверток, зенкеров, фрез и других подобных инструментов с цилиндрическим хвостовиком. Эти патроны отличаются стабильностью конструкции, малыми диаметральными габаритами и массой, что позволяет использовать их при высокоскоростной обработке (High Speed Cutting) [8].

На рис. 1 показана конструкция такого патрона с ключом (не показан). В корпусе 4 патрона соосно установлены три эксцентриковых кулачка 2 с возможностью поворота за счет цилиндрических штифтов. Кольцевая пружина 5, расположенная в канавке корпуса, и лыски на штифтах удерживают кулачки 2 в постоянном контакте их наружной конической поверхности с внутренней конической поверхностью конусной втулки 3. Конусная втулка снабжена внутренней ленточной резьбой и при повороте по наружной резьбе планок 6, взаимодействуя с эксцентриковыми кулачками 2, затягивается и предварительно зажимает цилиндрический хвостовик инструмента 1.

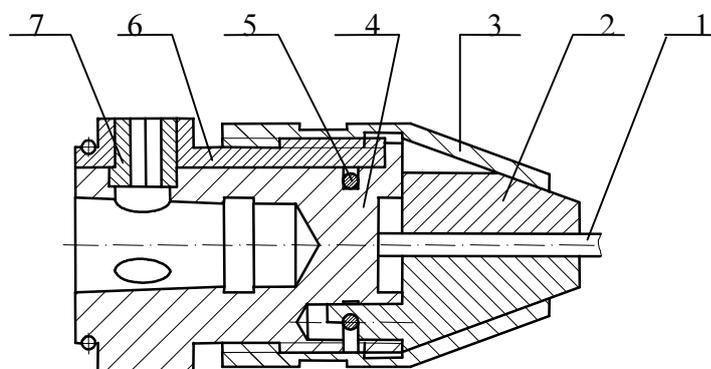


Рисунок 1 – Эксцентриковый сверлильный патрон с ключом

Окончательный натяг системы осуществляется эксцентриками 7, установленных в цилиндрических выточках корпуса 4 и сквозных отверстиях планок 6, которые при повороте эксцентриков 7 с помощью шестигранного ключа (на рис. 1 не показан) перемещают в осевом направлении планки 6, а они, в свою очередь, конусную втулку 3 до обеспечения надежного зажима инструмента.

С целью уменьшения радиального биения инструмента целесообразно равномерно затягивать все планки 6, т.е. поворачивать все эксцентрики 7, или вместо планок выполнять общую рубашку [1, 2].

Основное требование к зажимным механизмам связано и с их функциональным назначением, а именно, обеспечение необходимой силы зажима, предотвращающей поворот и проскальзывание зажимаемого инструмента или заготовки под действием крутящего момента и осевых сил резания или поворот относительно опорной точки от изгибающих моментов, а также от совместного их действия [7].

Целью работы является исследование силовых характеристик ЭСП, что позволяет повысить жесткость системы “зажимной патрон - инструмент” на металлорежущих станках при их применении.

Актуальность настоящей работы определяется отсутствием теоретических и экспериментальных исследований и методики расчета и проектирования ЭСП, что снижает их надежность и стабильность основных технических характеристик, ограничивая и сдерживая их широкое внедрение.

С целью исследования, а также создания рабочей технической документации в среде CAD системы SolidWorks создана параметрическая компьютерная модель рассматриваемого ЭСП с обхватом диаметров хвостовика инструмента от 0,5 до 10 мм (рис. 2).

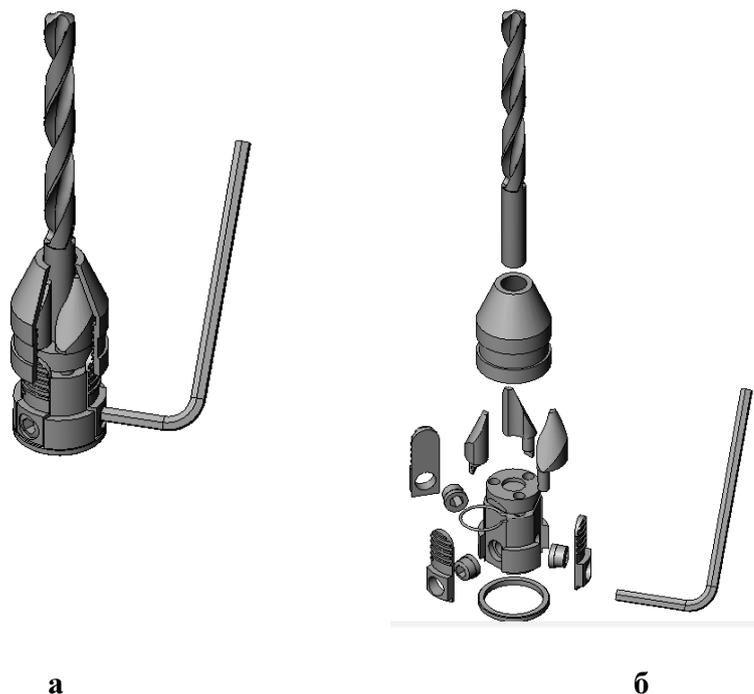


Рисунок 2 – Общий вид эксцентрикового сверлильного патрона с ключом ЭСП-10 в сборе (а) и в разобранном виде (б)

При зажиме инструмента различного диаметра эксцентриковые кулачки по-разному контактируют с инструментом и конусной втулкой (рис. 3), что приводит к изменению силовых характеристик и упруго-напряженного состояния взаимодействующих элементов.

Исследование силовых характеристик ЭСП, проведенное с помощью CosmosWorks - специализированного приложения к SolidWorks [4-6], предназначено для решения задач механики твердого деформируемого тела методом конечных элементов, как решение линейной статической задачи. Форма и размеры деталей исследуемой конструкции позволяют использовать объемные изопараметрические тетраэдры как тип конечных элементов. Поскольку в программе в явном виде отсутствуют контактные конечные элементы, на основе косвенных наблюдений можно утверждать, что с учетом соответствующих граничных условий, определяющих контакт между коническими поверхностями кулачков и втулки, как и между цилиндрическими поверхностями кулачков и хвостовика зажимаемого инструмента осуществляется изменение глобальной матрицы жесткости системы.

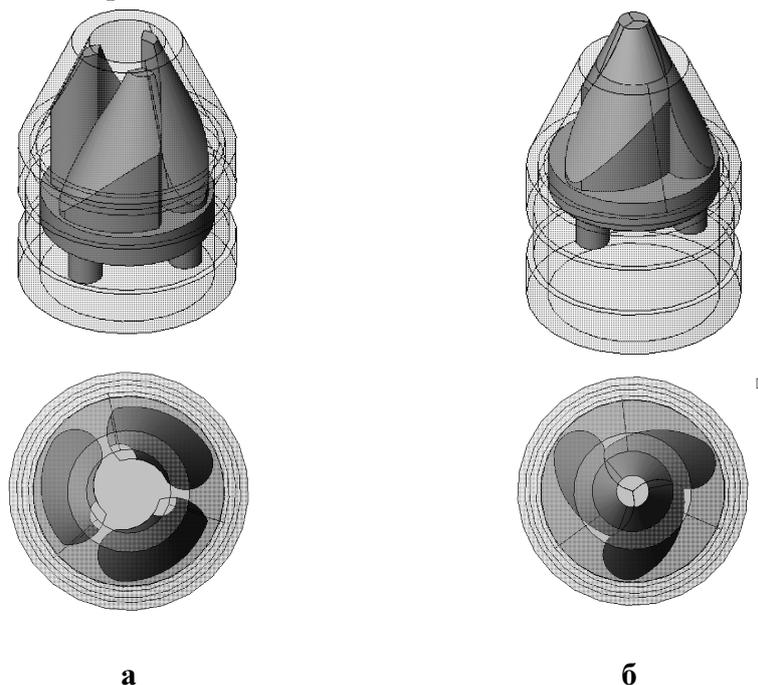


Рисунок 3 – Положения эксцентриковых кулачков ЭСП при разведенных кулачках при максимальном диаметре инструмента (а) и сведенных кулачках при минимальном диаметре инструмента (б)

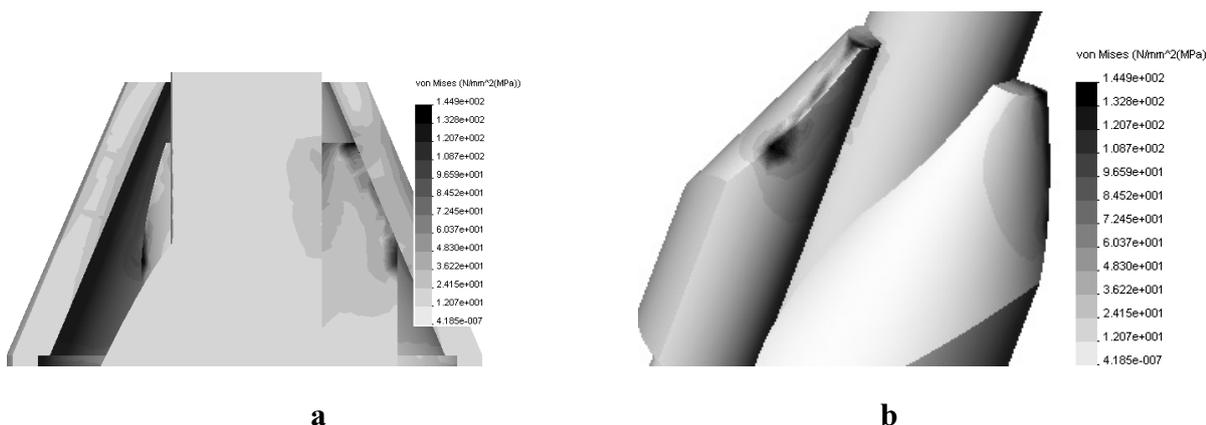


Рисунок 4 – Эквивалентные напряжения в ЭСП

На рис. 4 показаны диаграммы эквивалентных напряжений в патроне для случая, когда углы конических поверхностей эксцентриковых кулачков и втулки равны. Зажим инструмента с максимальным диаметром хвостовика $d_{\max} = 10$ мм обеспечивается

радиальной силой зажима, действующей со стороны эксцентрикового кулачка и равной $T = 450$ Н.

Характеристики материалов кулачка и конусной втулки в соответствии со стандартами ISO: модули упругости $E = 2,1 \times 10^{11}$ Па и $E_T = 0,79 \times 10^{11}$ Па; коэффициент Пуассона $\mu = 0,28$; коэффициент кондуктивной теплопроводности $k = 50$ В/(мК); специфическая теплоемкость $c = 460$ Дж/(кгК); коэффициент температурного расширения $\alpha_t = 1,3 \times 10^{-5}$ м/(мК); плотность $\rho = 7700$ кг/м³. Автоматически построенная сетка конечных элементов содержит 46586 элементов и 72359 узлов, а коэффициент трения между контактирующими коническими поверхностями и коэффициент сцепления между поверхностями зажимных кулачков и инструментом приняты равными 0,15 [7].

Наибольшие контактные напряжения возникают в кулачках по направлению образующей конической поверхности, по которой кулачок прижимается к внутренней конической поверхности втулки. Оценка на напряженном состоянии детали в патроне осуществлялась по четвертой теории прочности: $\sigma_{\text{эквIV}} \leq [\sigma]$.

Силовые характеристики ЭСП

Объектом исследования является радиальная сила зажима, с которой каждый из эксцентриковых кулачков патрона зажимает инструмент. Она определяется как сила контактного взаимодействия эксцентрикового кулачка с хвостовиком зажимаемого инструмента вследствие осевого перемещения конусной втулки патрона.

Анализ конструкции ЭСП показал, что основным фактором, оказывающим существенное влияние на величину и стабильность радиальной силы зажима T , является отклонение углового размера конической поверхности эксцентрикового кулачка и внутренней конической поверхности втулки. На силу зажима в значительной степени влияет разница в углах наклона конических поверхностей кулачка и втулки, т.е. угловой зазор $\Delta\alpha = \alpha_k - \alpha_{\text{вт}}$, где α_k - угол наклона конической поверхности кулачка, а $\alpha_{\text{вт}}$ - угол наклона внутренней конической поверхности втулки (рис. 5).

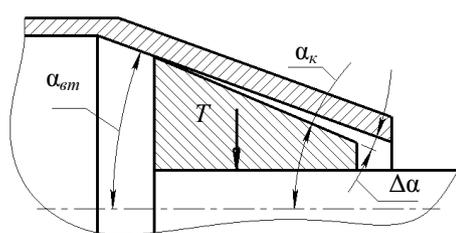


Рисунок 5 – Характер взаимодействия эксцентрикового кулачка и конусной втулки

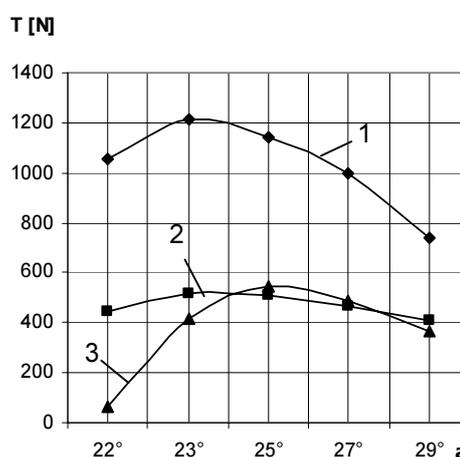


Рисунок 6 – Изменение силы зажима в зависимости от угла наклона конических поверхностей при различных угловых зазорах $\Delta\alpha$:
1 - 0° ; 2 - $0^\circ 10'$; 3 - $0^\circ 20'$

Для определения оптимального угла наклона конической поверхности, который должен быть больше угла заклинивания, а также обеспечения максимальной силы зажима T был проведен численный эксперимент на основе разработанной конечноэлементной модели патрона.

На рис. 6 представлена графическая интерпретация результатов исследования при максимальном диаметре зажимаемой поверхности диаметром $d = 10$ мм (см. рис. 3, а) и отклонениях угла $\Delta\alpha$ соответственно $0^\circ 0'$, $0^\circ 10'$ и $0^\circ 20'$.

Конструкция патрона требует обеспечения необходимой силы зажима с учетом влияния центробежных сил. Действие центробежной силы воспринимают все детали патрона, вызывая деформации, которые влияют на его силовые характеристики.

Для теоретического анализа влияния центробежных сил и отклонений угла наклона конических поверхностей кулачка и втулки на силовые характеристики ЭСП в качестве переменных приняты: частота вращения n , которая рассмотрена как для статического состояния $n = 0$ об/мин, так и для динамического при $n = 6000$ и 12000 об/мин; отклонения угла наклона конической поверхности кулачка и втулки $\Delta\alpha = 0^\circ 0'$, $0^\circ 10'$ и $0^\circ 20'$; диаметры хвостовика инструмента $d = 1, 6$ и 10 мм.

Результаты численного эксперимента обобщены и представлены в графическом виде на рис. 7. Зажимные усилия определялись при условии, что максимальные эквивалентные напряжения в патроне составляли 420 МПа.

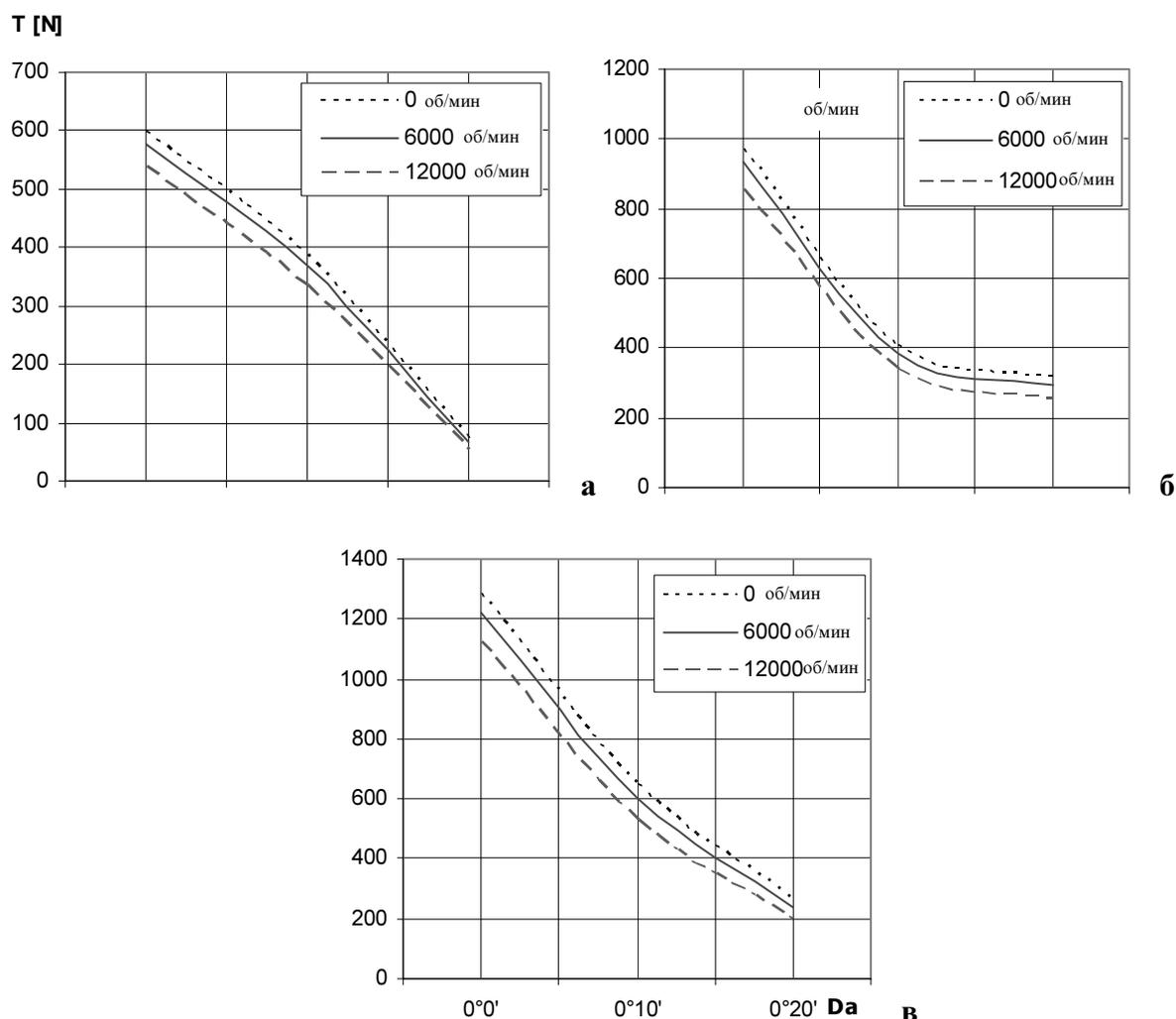


Рисунок 7 – Изменение радиальной силы зажима в зависимости от углового зазора $\Delta\alpha$ при диаметрах хвостовика инструмента d , равным 1 мм (а), 6 мм (б), 10 мм (в) и различных частотах вращения n

Основные выводы следующие:

1. Наиболее существенное влияние на уменьшение созданной в статическом состоянии силы зажима оказывают величина и отклонение угловых размеров конических поверхностей эксцентриковых кулачков и конусной втулки.

2. Центробежная сила, вызванная неуравновешенностью масс деталей патрона (в основном эксцентрикового кулачка) в пределах заданного широкого диапазона частот вращения, практически не оказывает влияние на силу зажима, что позволяет отнести такие патроны к высокоскоростным и широкодиапазонным.

Разработанная параметрическая компьютерная модель эксцентриковых сверлильных патронов в среде CAD-системы SolidWorks, моделирование и исследование силовых характеристик с использованием метода конечных элементов с помощью специализированного приложения CosmosWorks позволили повысить стабильность характеристик системы “зажимной патрон - инструмент” на металлорежущих станках при их использовании на высоких частотах вращения.

Результаты исследования силовых характеристик ЭСП позволяют обоснованно определять допуски на угловые размеры контактирующих конических поверхностей при разработке рабочей технической документации.

Список литературы

1. Кузнецов Ю.Н., Неделчева П.М., Хасан Аль-Дабас. Системно-морфологический подход при синтезе широкодиапазонных эксцентриковых сверлильно-фрезерных патронов. Известия на ТУ – Габрово т. 33, 2006.
2. Патент України No28198. Затискний патрон. МПК В23В 31/02, 31/04, 31/12, 31/20 (автори Кузнецов Ю.М., Вайсман В.Г.).
3. Кузнецов Ю.М. Теорія розв’язання творчих задач. – К.: ТОВ “ЗМОК” – ПП “ГНОЗИС”, 2003. – 345 с.
4. SolidWorks – Основен курс. ТехноЛогика ЕООД, София, ISBN 954-9334-04-X, 2004. – 382 с.
5. Григоров Б. SolidWorks 2005. Практическо ръководство. София: Издателство АДСИС, ISBN 954-91520-2-2, 2005. – 355 с.
6. Дэвид Мюррей. SolidWorks. Второе издание. Москва: Издательство ЛОРИ, ISBN 5-85582-197-8, 2003. – 604 с.
7. Кузнецов Ю.Н., Вачев А.А., Сяров С.П., Цървенков А.Й. Самонастраивающиеся зажимные механизмы: Справочник. – К.: Техника, 1988. 222 с.
8. Кузнецов Ю.Н. Принципы создания технологической оснастки для высокоскоростной и прецизионной обработке на металлорежущих станках. // Доклад на юбилейной научно-практической конференции, Пловдив, 10.11.2006 г.

Розроблена, змодельована і досліджена в середовищі CAD-системи SolidWorks параметрична комп’ютерна модель ексцентрикових свердлувальних патронів, дозволила підвищити стабільність характеристик системи “затискний патрон–інструмент” на металоріжучих верстатах при їх використанні на високих частотах обертання.

Developed, modelled and the SolidWorks self-reactance computer model of eccentric persons drilling patrons investigational in the environment of the CAD-system, allowed to promote stability of descriptions of the system „clamping patron- instrument” on metal-cutting machine-tools at their use on high-frequencies of rotation.

Получено 20.11.06