

УДК 621.9.06-529-8

КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТОЧНОСТИ ЗАЖИМА ДЕТАЛЕЙ

А. В. ЛИТВИН

*Национальный технический университет Украины
НТУУ «КПИ», г. Киев*

Введение

Повышение производительности на операциях точения и фрезерования достигается за счет высокоскоростной обработки (High Speed Cutting), которая все шире внедряется в промышленности и связана с многократным (в 5–10 раз) повышением скоростей резания и подач. Силы резания могут достигать 5–7 кН. Точность изготовления деталей, которая обеспечивается при чистовых операциях, также является одной из важнейших характеристик качества и характеризуется стабильностью размеров, отклонениями геометрической формы, волнистостью и шероховатостью поверхности. Для повышения технико-экономических показателей станков на чистовых операциях необходимо увеличивать скорость резания V и уменьшать подачу S , повышая при этом производительность обработки и качество обработанной поверхности, и использовать совершенную оснастку, в том числе высокоточные зажимные патроны, системы для прецизионного зажима и балансирования осевого инструмента ($16\,000\text{--}20\,000\text{ мин}^{-1}$) с радиальным биением до 3 мкм. При разработке зажимных патронов такого типа перед проектантом стоит задача нахождения распределенных нагрузок в его элементах. Кроме того, необходимо знать также величины перемещений отдельных точек конструкции как при статическом характере внешней нагрузки, так и в условиях действия динамических нагрузок. Объектом исследования данной работы является шестикулачковый самоцентрирующий зажимный патрон.

Постановка задачи

Выявление причин снижения точности и разработка мероприятий по эффективному и рациональному повышению точности зажимных патронов представляет собой актуальную научно-техническую проблему, которая имеет большое теоретическое и практическое значение для развития станкостроения.

Данная научная проблема решается реализацией целого комплекса мероприятий. Они связаны с научным и практическим развитием машиностроения.

В последних исследованиях и публикациях [1], [3] особое внимание уделено вопросам обеспечения точности станочного оборудования.

При практической деятельности конструктору необходимо выполнение двух задач: расчет усилий в элементах патрона (силовая задача) и расчет деформаций и напряжений [2]. Для решения силовой задачи необходимо выразить силу в патроне W через силу зажима заготовки Q . Схема размещения усилий в патроне изображена на рис. 1. Сила Q зависит от наибольшей составляющей силы резания P_z . Поэтому разделим задачу на три этапа, в каждом из которых рассмотрим равновесие элементов, которые принимают участие в работе патрона.

Методы исследований

Первый элемент – это заготовка. Составим уравнение условия равновесия заготовки под действием момента от составляющей P_z силы резания момента от сил трения $F_{тр}$ на поверхности кулачков (рис. 2).

$$\sum M_0 = -(-P_z) \cdot \frac{D_{отв}}{2} - F_{тр} \cdot \frac{D_{дет}}{2} = 0,$$

где

$$P_z = C_{Pz} \cdot h^{X_{Pz}} \cdot S^{Y_{Pz}} \cdot V^{n_{Pz}} \cdot K_{Pz}; F_{тр} = Q \cdot f.$$

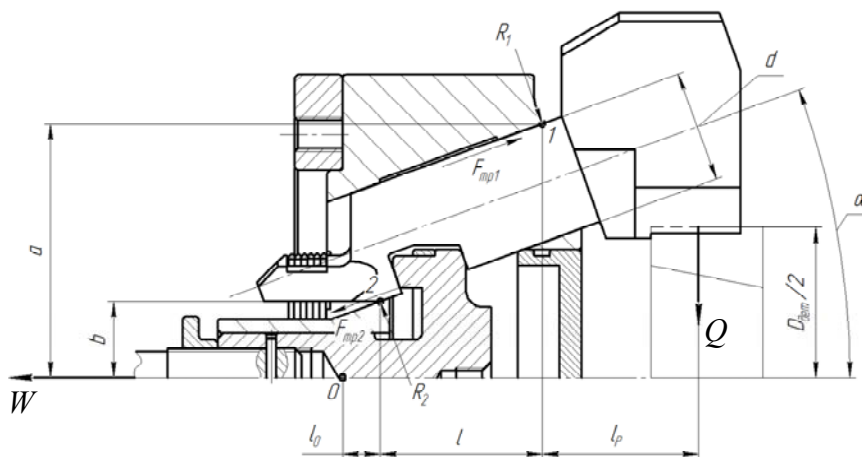


Рис. 1. Схема усилий в патроне

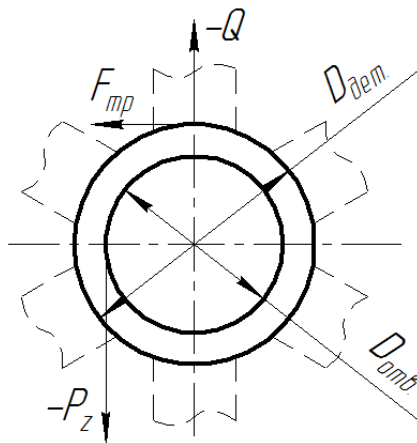


Рис. 2. Схема равновесия закрепленной в кулачках детали

Необходимое усилие на одном кулачке:

$$Q = \frac{C_{Pz} \cdot h^{X_{Pz}} \cdot S^{Y_{Pz}} \cdot V^{n_{Pz}} \cdot K_{Pz} \cdot D_{отв}}{f \cdot D_{дет}}.$$

Второй элемент – кулачок, схема равновесия представлена на рис. 3. Определим зависимость силы затягивания кулачка S от силы зажима заготовки Q .

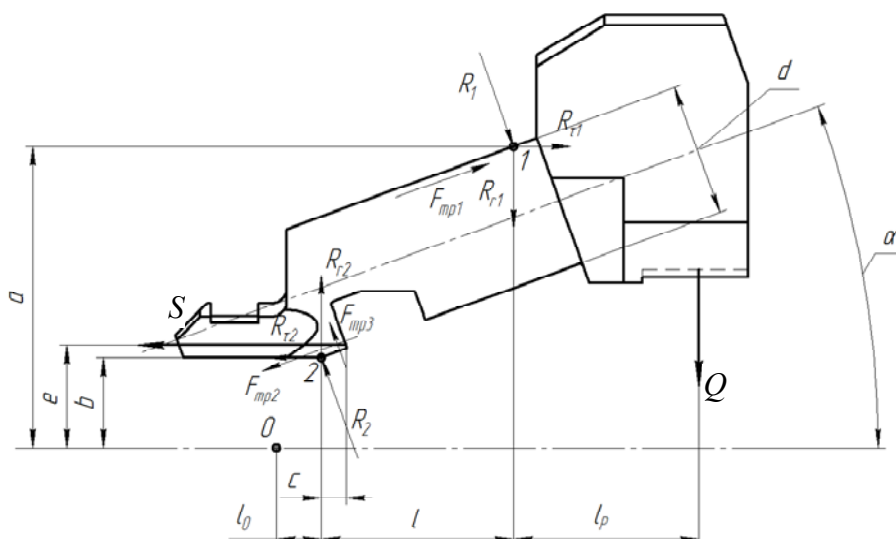


Рис. 3. Схема равновесия кулачка

Условие равновесия кулачка:

$\sum M_2 = 0$, уравнение моментов относительно точки 2 для определения R_1 ;

$\sum M_1 = 0$, уравнение моментов относительно точки 1 для определения R_2 ;

$\sum M_0 = 0$, общее уравнение моментов относительно точки 0.

Из вышеприведенных уравнений известными методами находим:

$$R_1 = \frac{S \cdot ((e-b) + f \cdot c \cdot \cos^2 \alpha) - Q \cdot (l + l_p)}{l \cdot \cos \alpha + (a-b) \cdot \sin \alpha + f \cdot d} \text{ и } R_2 = \frac{S \cdot ((a-e) + f \cdot c \cdot \cos^2 \alpha) - Q \cdot l_p}{l \cdot \cos \alpha + (a-b) \cdot \sin \alpha + f \cdot d}.$$

Введем замены:

$$k_1 = l \cdot \cos \alpha + (a-b) \cdot \sin \alpha + f \cdot d;$$

$$k_2 = (l + l_0) \cdot \cos \alpha + a \cdot \sin \alpha + f \cdot (b + d \cdot \cos \alpha);$$

$$k_3 = (l_0 \cdot \cos \alpha + b \cdot \sin \alpha + f \cdot b \cdot \cos \alpha).$$

Откуда

$$S = Q \cdot \frac{(l_0 + l + l_p) \cdot k_1 - (l + l_p) \cdot k_2 + l_p \cdot k_3}{(e + f \cdot (l + c) \cdot \cos^2 \alpha) \cdot k_1 - (a - e + f \cdot c \cdot \cos^2 \alpha) \cdot k_3 - ((e - b) + f \cdot c \cdot \cos^2 \alpha) \cdot k_2},$$

или

$$S = C_{Pz} \cdot h^{X_{Pz}} \cdot S^{Y_{Pz}} \cdot V^{n_{Pz}} \cdot K_{Pz} \cdot \frac{D_{\text{отв}}}{f \cdot D_{\text{дет}}} \times \\ \times \frac{(l_0 + l + l_p) \cdot k_1 - (l + l_p) \cdot k_2 + l_p \cdot k_3}{(e + f \cdot (l + c) \cdot \cos^2 \alpha) \cdot k_1 - (a - e + f \cdot c \cdot \cos^2 \alpha) \cdot k_3 - ((e - b) + f \cdot c \cdot \cos^2 \alpha) \cdot k_2}.$$

Третий элемент патрона – тяга патрона. Схема равновесия тяги под действием сил представлена на рис. 4.

Спроектируем все силы на ось X (ось тяги):

$$\sum x_i = 6 \cdot S - W = 0.$$

Из этого уравнения выразим W с учетом КПД в паре трения:

$$W = 6 \cdot S \cdot \eta.$$

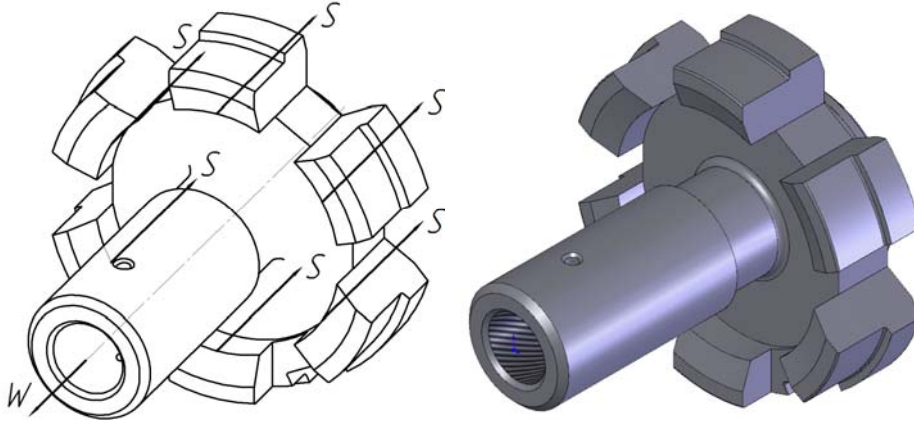


Рис. 4. Схема равновесия тяги (ее общий вид)

На данном этапе необходимо найти силу на приводе патрона W . Подставим найденное значение силы S :

$$W = 6 \cdot \frac{C_{Pz} \cdot h^{X_{Pz}} \cdot S^{Y_{Pz}} \cdot V^{n_{Pz}} \cdot K_{Pz} \cdot \eta \cdot D_{\text{отв}}}{f \cdot D_{\text{дет}}} \times$$

$$\times \frac{(l_0 + l + l_p) \cdot k_1 - (l + l_p) \cdot k_2 + l_p \cdot k_3}{(e + f \cdot (l + c) \cdot \cos^2 \alpha) \cdot k_1 - (a - e + f \cdot c \cdot \cos^2 \alpha) \cdot k_3 - ((e - b) + f \cdot c \cdot \cos^2 \alpha) \cdot k_2}.$$

С помощью языка программирования Borland Delphi разработана программа для расчета тягового усилия по расчетной схеме (рис. 5).

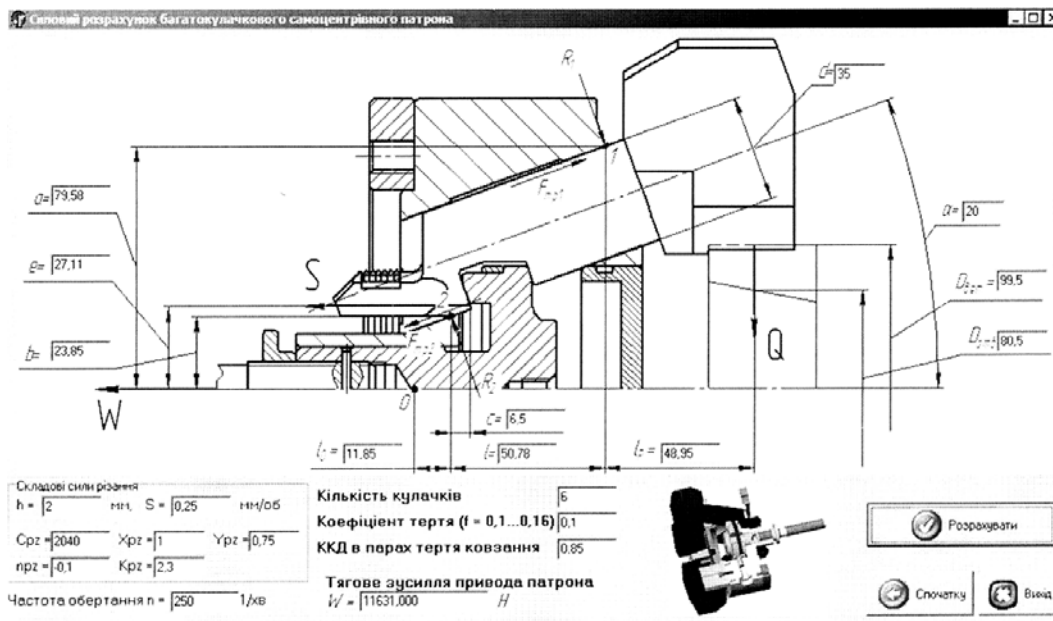


Рис. 5. Интерфейс программы

Определим объемную деформацию кулачка. С помощью подпрограммы COSMOSWorks пакета программ SolidWorks 2007 были рассчитаны элементы зажимного патрона, а также получены рассчитанные (теоретические) профили кулачков. В общем случае перемещения зоны контакта кулачков единичной длины в направлении линии действия удельной нормальной нагрузки можно представить в виде суммы двух составляющих:

$$\delta = \delta_V + \delta_H,$$

где δ_V – объемная деформация кулачка в точке приложения сил; δ_H – контактная деформация (смещение центров кривизны кулачка).

Расчетную нагрузку q_n определим из выражения

$$q_n = \frac{T}{b_1 \cdot a_1},$$

где T – момент, прилагаемый к кулачку; b_1 – ширина сечения кулачка в зоне контакта; a_1 – толщина сечения в зоне контакта.

С целью сравнительной оценки определение перемещения точки контакта в результате объемной деформации кулачка проводим двумя методами – аналитическим и методом конечных элементов (МКЭ).

Аналитический метод основан на теореме Кастильяно. Как показал проведенный анализ, влиянием изменения профиля (в результате сноса кулачка) на жесткость кулачка можно пренебречь, поэтому был использован известный прием моделирования. Поперечное сечение модели кулачка представляет собой эллипс, определенный в системе координат XOY соответственно размерам (рис. 6).

В настоящее время в связи с активным внедрением в инженерную практику измерительной техники наиболее эффективным приближенным методом решения прикладных задач механики является метод конечных элементов. Конечные элементы позволяют адекватно описать конструкции и детали. Метод конечных элементов относится к вариационным методам теории упругости и позволяет оценить напряженно-деформационное состояние плоских и объемных элементов конструкции.

Для моделирования деформационного состояния кулачка в данной работе были использованы модули пакета SolidWorks: COSMOSWorks и COSMOSMotion. Профиль кулачка строился с помощью программы КОМПАС 3D V7 Plus.

Для достижения поставленной цели решены следующие задачи: 1) с помощью пакета программы SolidWorks 2007 построена трехмерная модель зажимного кулачка (рис. 6); 2) с помощью программы COSMOSWorks выполнен расчет нагрузок, которые действуют на кулачок во время зажима заготовки; 3) разработана расчетная модель кулачка.

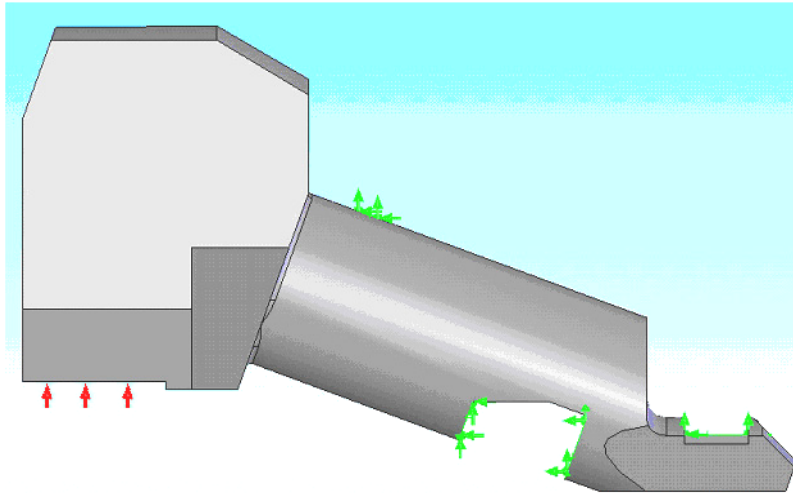


Рис. 6. Общий вид 3D модели кулачка

Характер объемной деформации кулачка, полученный при применении МКЭ, представлен на рис. 7.

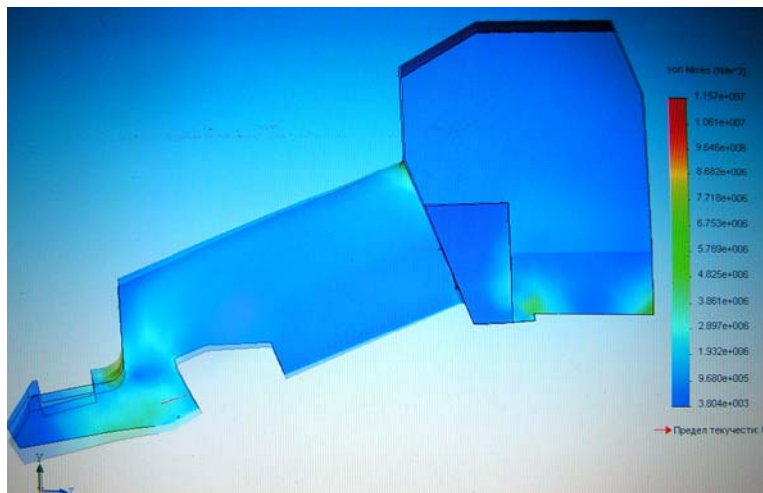
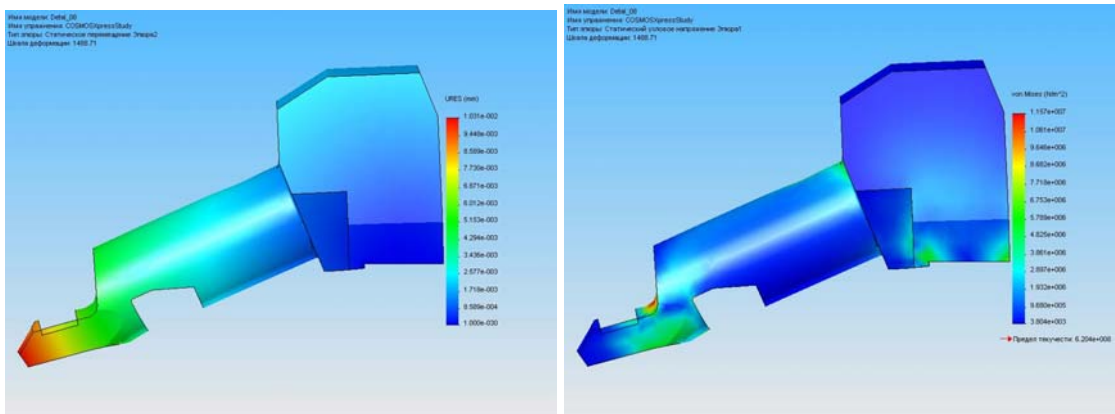


Рис. 7. Перемещение кулачка под действием силы зажима

По результатам расчета были построены эпюры, приведенные на рис. 8.



а)

б)

Рис. 8. Эпюры деформаций и главных напряжений

Эпюра (рис. 8, *а*) показывает, что максимальное перемещение элементов кулачка составляет 0,0103067 мм. Эпюра распределения главных напряжений (рис. 8, *б*) показывает, что максимальное напряжение составляет 11,57 мПа.

Заключение

Результаты проведенных численных экспериментов показали, что жесткость кулачков в процессе закрепления заготовки изменяется не только от величины приложения силы зажима, но и в результате изменения контактной податливости, которые, в свою очередь, обусловлены изменением радиуса закрепляемой заготовки, что ведет к изменению пятен контакта.

Литература

1. Решетов, Д. Н. Точность металлорежущих станков / Д. Н. Решетов, В. Т. Портман. – Москва : Машиностроение, 1986. – 336 с.
2. Орликов, М. Л. Динамика станков / М. Л. Орликов. – Киев : Выща школа, 1989. – 272 с.
3. Кудинов, В. А. Динамика станков / В. А. Кудинов. – Москва : Машиностроение, 1967. – 360 с.

Получено 23.10.2008 г.