

О ВЛИЯНИИ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПРОФИЛЯ КУЛАЧКА НА ТОЧНОСТЬ ВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ ЗАДАННОГО ЗАКОНА ДВИЖЕНИЯ ТОЛКАТЕЛЯ

В. И. Закабунин

В статье показано, что метод малых делений, применяемый при изготовлении профилей кулачков, в силу дискретности технологического процесса, приводит к появлению волнистости на профиле кулачка, искажению заданного для проектирования профиля закона изменения ускорения толкателя в виде появления периодически изменяющихся высокочастотных составляющих этого ускорения.

Ключевые слова: кулачок, метод малых делений, колебания толкателя, закон движения толкателя.

Рассматриваются плоские кулачковые механизмы с поступательно движущимся толкателем.

Одним из главных достоинств кулачковых механизмов является теоретически точная реализация практически любого заданного закона движения толкателя.

Однако, на практике часто наблюдают заметные отклонения особенно в воспроизведении законов изменения ускорения толкателя, что является принципиально важным моментом при проектировании высокоскоростных кулачковых механизмов, к которым предъявляют повышенные требования по ограничению динамических нагрузок, вызванных ускоренным движением толкателя.

Установлено [1..., 3], что в реальных кулачковых механизмах на заданный закон изменения ускорения толкателя, по которому проектировался профиль кулачка, накладываются обычно высокочастотные составляющие изменения ускорения, которые теоретически не должны присутствовать.

Причем данное явление наблюдается как при использовании законов движения толкателя с мягкими ударами, так и безударных законов движения.

Довольно часто причины этих явлений объясняют наличием упругих колебаний толкателя под действием приложенных к нему сил. Именно поэтому и в учебной, и в специальной литературе по проектированию кулачковых механизмов излагаются вопросы по упругим колебаниям поступательно движущегося толкателя [1], [2], [3]. Большим значением низшей собственной частоты упругих колебаний толкателя и объясняют наличие вы-

сокочастотных составляющих заданного ускорения толкателя.

В ряде исследований [3], [6] указано на влияние технологии изготовления кулачка на воспроизводимость выбранного закона движения толкателя. Но при этом технологию изготовления кулачка не связывают с появлением высокочастотных колебаний толкателя.

В предлагаемой статье автор показывает, что метод малых делений, широко применяемый для изготовления кулачков, а также копиров для непрерывного способа изготовления кулачков, является источником появления высокочастотных колебаний поступательно движущегося остроконечного или роликового толкателя.

Суть метода малых делений состоит в том, что по расчетным таблицам, составленным для изготовления кулачка, в которых указывают координаты инструмента (обычно это фреза диаметра равного диаметру ролика толкателя) и угол поворота заготовки, ведут обработку профиля последовательными проходами инструмента с периодическим поворотом заготовки на малый угол.

В процессе фрезерования или шлифования вследствие дискретности процесса образуется ряд выемок, касательных к профилю кулачка или копира. Причем эти точки касания являются теми базовыми или опорными точками, которые определяют истинные координаты проектируемого профиля кулачка.

Получившиеся выступы обрабатывают затем шлифованием или вручную по лекалу.

Точность обработки и измерения кулачка при этом методе зависит существенно от

размеров кулачка и фрезы или шлифовального круга, а также от угла поворота кулачка (заготовки) между двумя последовательными проходами.

Совершенно очевидно, что величина допустимого угла поворота определяет трудоемкость процесса обработки и измерения кулачка, а следовательно, и его стоимость.

В работах Н. И. Левитского [1], Н. И. Попова [2], Г. А. Ротбарта [3] предложено определять угол поворота кулачка между двумя последовательными проходами инструмента по формуле

$$\varphi_n = \frac{\sqrt{8rh}}{R},$$

где

r – радиус фрезы или шлифовального круга,

h – допустимая высота неровностей,

R – величина радиуса – вектора, рабочего профиля кулачка (рисунок 1).

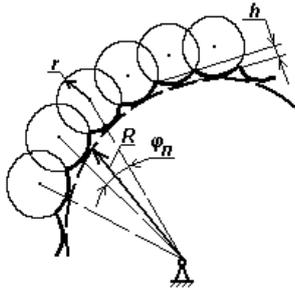


Рисунок 1

На рисунке 1 пунктирной линией показан проектируемый рабочий профиль кулачка, а сплошной линией – получаемый профиль.

Однако, при выводе этой формулы не учитывают изменение угла подъема α профиля кулачка при переходе от одной точки профиля к другой (углом подъема профиля кулачка называют угол между нормалью к профилю кулачка и соответствующим радиусом – вектором точки профиля).

Уточняя эту формулу, А. В. Румянцев [4], предложил определять величину допустимого угла поворота кулачка при его обработке и измерении по формуле

$$\varphi_n = \frac{K\sqrt{8rh \cdot R \cos^5 \alpha}}{R \cos \alpha + r},$$

где

$$K = \frac{180}{\pi},$$

если угол φ_n определяют в градусах,

$$K = \frac{180 \cdot 60}{\pi},$$

если угол φ_n определяют в минутах.

минутах.

Необходимо отметить, что часто не удастся воспользоваться данной формулой, так как в таблицах на изготовление и измерение кулачков обычно не приводят значения углов подъема профиля.

В работе [5] предложено учитывать углы подъема профиля через изменение значений соседних радиусов – векторов R_i и R_{i+1} , фиксирующих положения оси вращения фрезы или шлифовального круга, и предложена формула для φ_n

$$\varphi_n = \arccos \frac{R_i^2 + R_{i+1}^2 - 8rh + 4h^2}{2R_i \cdot R_{i+1}}.$$

При обработке точных копиров эти углы порядка 0,5 и считаются с точностью до секунд. При изготовлении рабочих кулачков, предназначенных для работы на высоких скоростях, углы поворота порядка 1 [4].

Хотя в ходе конечной обработки размеры неровностей уменьшаются, микровмятины цилиндрической формы радиуса r , равного радиусу фрезы или шлифовального круга и определяемого радиусом ролика толкателя, остаются.

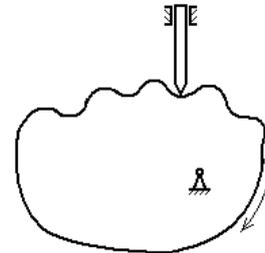


Рисунок 2

На рисунке 2 в увеличенном масштабе показан участок истинного профиля кулачка.

Совершенно очевидно, что при перемещении остроконечного толкателя вдоль такого профиля на основное движение $S(t)$, заданное законом движения толкателя и определяемое базовыми (опорными) точками, находящимися в нижних частях впадин, будет накладываться дополнительное движение, изменяющееся по какому-то периодическому закону. При равных значениях φ_n можно считать, что период таких кинематических возбуждений $T = \frac{\varphi_n}{\omega}$, где ω – круговая частота вращения кулачка.

О ВЛИЯНИИ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПРОФИЛЯ КУЛАЧКА НА ТОЧНОСТЬ ВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ ЗАДАННОГО ЗАКОНА ДВИЖЕНИЯ ТОЛКАТЕЛЯ

Например, если фазовый угол удаления φ_y , то количество опорных точек $q = \frac{\varphi_y}{\varphi_n}$, т.е.

на заданный закон движения для участка удаления толкателя будут накладываться дополнительные колебательные движения толкателя с частотой в q раз большей частоты вращения кулачка.

Так как нельзя утверждать, что высоты оставшихся шероховатостей одинаковы, то эти дополнительные колебания толкателя будут происходить с переменной амплитудой, а также с переменной частотой из-за разного расстояния между вершинами соседних шероховатостей, обусловленного изменением угла подъема профиля кулачка.

Более сложные процессы будут происходить при наличии роликового толкателя при радиусе ролика равном радиусу фрезы.

На рисунке 3а в увеличенном масштабе показано положение кулачкового механизма в тот момент, когда ролик попадает во впадину профиля того же радиуса.

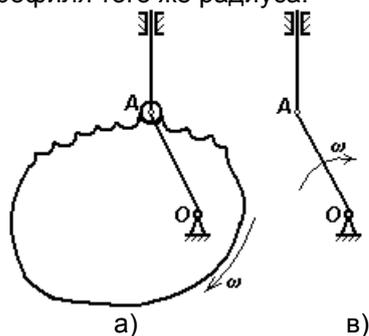


Рисунок 3

Если для этого положения построить замещающий механизм с введением шатуна с шарнирами, расположенными в центрах кривизны соприкасающихся поверхностей (это будет точка А), то получим кривошип, соединяющийся напрямую в точке А с толкателем (рисунок 3в), т.е. конструкцию не являющуюся механизмом. В этой конструкции перемещение толкателя возможно лишь за счет выборки зазоров в поступательной паре и деформации толкателя, что и происходит с учетом малых значений угла φ_n между соседними впадинами.

Такое движение будет сопровождаться появлением толчков (рывков) в движении толкателя с частотой, определяемой количеством впадин на профиле кулачка. Причем спрогнозировать величины амплитуд налагаемых ускорений достаточно проблематично из-за статической неопределимости замещающей конструкции (рисунок 3в).

Главный вывод: при изготовлении профиля кулачка или копира методом малых делений теоретически невозможно воспроизвести точно заданный закон изменения ускорения толкателя, что, однако не влияет на реализацию основного условия синтеза - величину хода толкателя.

Можно ли улучшить динамическое поведение толкателя?

В этом отношении лучше смотрятся кулачковые механизмы с плоскими толкателями, т.к. плоская поверхность толкателя будет касаться только вершин микровпадин, не повторяя при этом формы самой впадины. С учетом непостоянства значений высот микронеровностей здесь также будут наблюдаться некоторые дополнительные высокочастотные составляющие в ускорении толкателя, но не столь интенсивные.

К похожему результату может привести и применение ролика толкателя с диаметром большим диаметра обрабатывающей фрезы, так как такой ролик исключает касание поверхностей с совпадающими положениями центров кривизны этих поверхностей.

Выводы:

1. Метод малых делений при изготовлении профиля кулачка не позволяет реализовать теоретически точно заданный закон изменения ускорения толкателя и является источником появления дополнительных высокочастотных ускорений толкателя.

2. Проектируя безударные законы движения толкателя, необходимо учитывать возможность воспроизведения этого закона с помощью выбранного метода изготовления кулачка.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Н. И. Левитский. Кулачковые механизмы. М., 1964
- 2 Н. Н. Попов. Расчет и проектирование кулачковых механизмов. М., 1965
- 3 Г. А. Ротбарт. Кулачковые механизмы. Судпромиздат, 1968
- 4 А. В. Румянцев. Измерение кулачков. М., 1968
- 5 В. И. Закабунин, Е. В. Закабунина. О точности обработки дисковых кулачков методом малых делений. В сборнике «Технологическое обеспечение автоматизированных производств». Изд-во АлтГТУ, Барнаул, 1999

Закабунин В.И., к.т.н., профессор,
зав.каф. ТМиММ, Тел.(3852) 29-08-54,
e-mail: zvi@agtu.sesna.ru
ФГБОУ «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова»

ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК 1/1-2012