

УДК 621.9.01 + 621.941.1.01

КИНЕМАТИКА РОТАЦИОННОГО ТОЧЕНИЯ ПРИ ГРУППОВОЙ СХЕМЕ РЕЗАНИЯ

И.О. Еговцев, В.Г. Шаламов

В работе отражены основные особенности кинематики процесса ротационного точения применительно к групповой схеме резания. Определено влияние начального положения режущего инструмента относительно обрабатываемой заготовки на процесс резания. Установлены оптимальные параметры установки режущих элементов.

Ключевые слова: ротационное точение, групповая схема резания, зубчатые режущие элементы, фасонные винтовые следы.

Под кинематикой ротационного точения понимается относительное движение заготовки и инструмента, которое зависит от установки инструмента и заготовки (рис. 1).

Заготовка – ведущее звено, она получает принудительное вращение со скоростью \overline{V}_3 . Режущий элемент располагается под углом λ , и приводится во вращение силой трения, действующей на контактных поверхностях инструмента. В результате, инструмент вращается вокруг своей оси со скоростью $\overline{V}_И$. Направление вращения заготовки и режущих чашек инструмента не совпадает, следовательно, происходит их относительное перемещение, которое будет скоростью резания $\overline{V}_Р$, обеспечивающей срезание поверхностного слоя заготовки и образование элемента стружки [1].

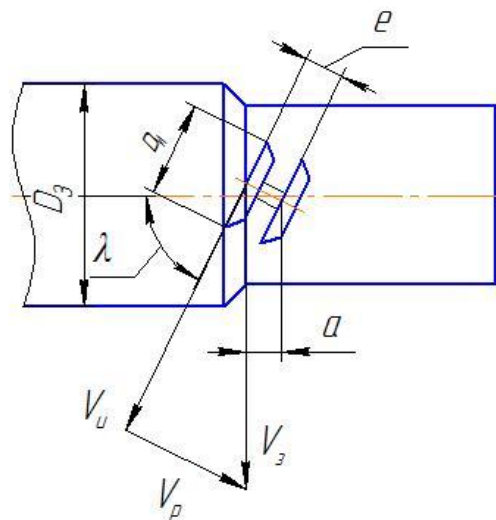


Рис. 1. Схема ротационного точения
зубчатыми режущими элементами

В идеальных условиях (отсутствует «проскальзывание» инструмента в зоне резания) вектор скорости \overline{V}_P перпендикулярен к режущей кромке (к вектору \overline{V}_H). В этом случае можно записать соотношения [1]:

$$|\overline{V}_P| = |\overline{V}_H| + |\overline{V}_3|; |\overline{V}_P| = |\overline{V}_3| \cos \lambda, \quad (1)$$

$$|\overline{V}_H| = |\overline{V}_3| \sin \lambda, \quad (2)$$

$$\sin \lambda = \frac{|\overline{V}_H|}{|\overline{V}_3|} = \frac{\pi D_H n_H}{\pi D_3 n_3} = \frac{D_H n_H}{D_3 n_3}, \quad (3)$$

где D_H, D_3 – диаметры режущих элементов и заготовки; n_H, n_3 – число оборотов режущих элементов и заготовки; λ – угол наклона режущей кромки инструмента.

Выражая число оборотов инструмента и заготовки через угол поворота, получается взаимосвязь текущих углов поворота заготовки ($\psi = 2\pi n_3$) и инструмента ($\varphi = 2\pi n_H$):

$$\sin \lambda = \frac{D_H \cdot \varphi / 2\pi}{D_3 \cdot \psi / 2\pi}, \quad \psi = \varphi \cdot \sin \lambda \cdot \frac{D_H}{D_3}, \quad (4)$$

где φ – угол поворота режущей чашки; ψ – угол поворота заготовки.

В процессе точения режущий инструмент и заготовка совершают относительное винтовое движение [2]. Зубья режущего элемента работают дискретно и формируют на поверхности заготовки фасонные винтовые следы (рис. 2).

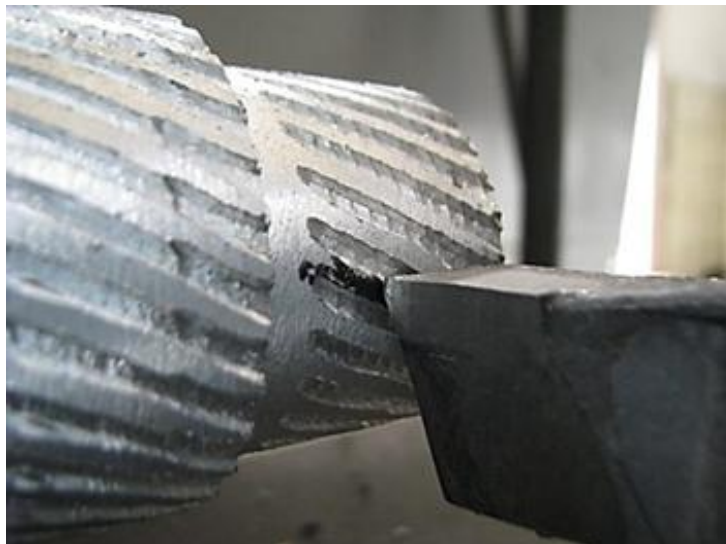


Рис. 2. Следы зубьев инструмента на заготовке

Винтовые следы можно характеризовать, прежде всего, углом подъема ω и осевым шагом T (рис. 3).

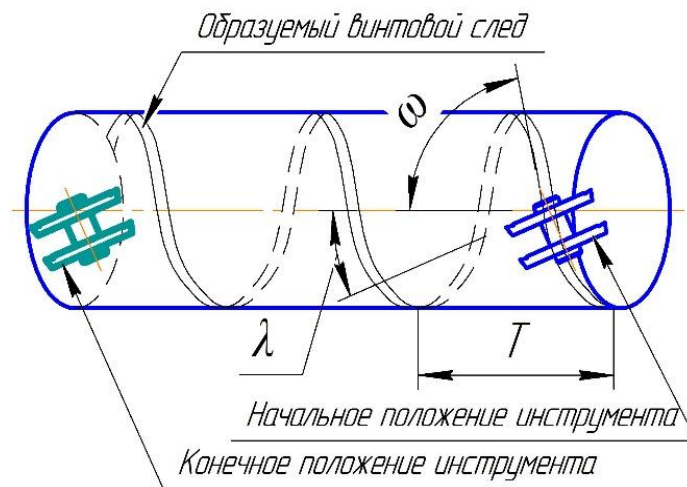


Рис. 3. Основные параметры винтовых следов на заготовке

Так как движение резания (см. рис. 1), в идеальном случае, осуществляется под углом $90^\circ - \lambda$ (где λ – угол наклона режущей кромки) к оси заготовки, то угол подъема винтовых следов ω и будет равен этому углу [1]. Угол подъема ω и величина осевого шага T винтовой линии взаимосвязаны [3]:

$$T = \frac{\pi D_3}{\text{tg} \omega} \text{ или } \text{tg} \omega = \frac{\pi D_3}{T}, \quad (5)$$

T – осевой шаг; D – диаметр заготовки; ω – угол подъема винтовой линии. При ротационном точении по групповой схеме резания режущие элементы вращаются совместно и их углы поворота, соответственно, равны. Режущие элементы располагаются на расстоянии e друг от друга, поэтому второй режущий элемент вступает в работу, после того как первый режущий элемент, в ходе резания, переместится на расстояние a . Данное условие принимается как допущение, в первом приближении. Оно не идеально, т.к. рассматриваемая точка второго режущего элемента будет выше, чем аналогичная у первого. Выразим ход a режущего элемента через расстояние e между режущими чашками (рис. 1):

$$a = e \cdot \sin \lambda, \quad (6)$$

где a – ход режущего элемента; e – расстояние между режущими элементами; λ – угол наклона режущей кромки.

К моменту времени, когда второй режущий элемент вступает в работу, заготовка поворачивается на некоторый угол ψ_0 , величина этого угла непосредственно связана с ходом режущего элемента a . Угол ψ_0 определяется на основе кинематики движения: при повороте заготовки на угол 2π режущий элемент смещается на величину осевого шага T (рис. 3) образуемых винтовых следов на поверхности заготовки [3], а при повороте заготовки на угол ψ_0 режущий элемент пройдет расстояние a :

$$\begin{cases} 2\pi - T \\ \psi_0 - a \end{cases} \quad (7)$$

где 2π , ψ_0 – углы поворота заготовки; a – ход режущего элемента; T – осевой шаг.

Из выражений 5, 6 и 7 определяется угол ψ_0 :

$$\psi_0 = \frac{2\pi \cdot a}{T} = \frac{2\pi \cdot e \cdot \sin\lambda}{\pi D_3} \operatorname{tg} \omega = \frac{2\pi \cdot e \cdot \sin\lambda \cdot \cos\lambda}{\pi D_3 \cdot \sin\lambda} = \frac{2 \cdot e \cdot \cos\lambda}{D_3}. \quad (8)$$

Так как резание по групповой схеме осуществляется двумя зубчатыми режущими элементами, вращающимися совместно, то необходимо учесть начальное положение зубьев второго режущего элемента относительно первого. Начальное положение зубьев режущих элементов характеризуется величиной угла φ_0 (рис. 4).

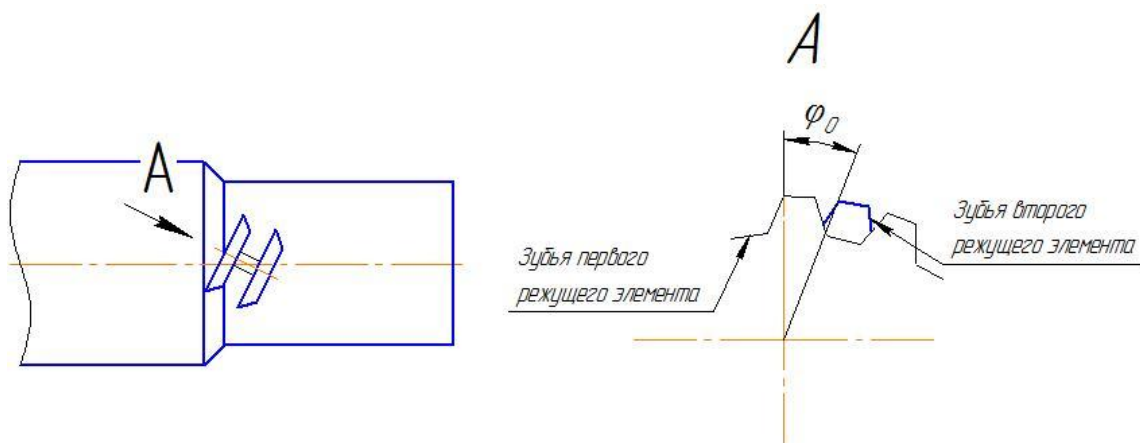


Рис. 4. Начальное положение зубьев режущих элементов

В момент времени, когда второй зубчатый режущий элемент подходит к торцу заготовки и вступает в процесс резания, заготовка должна повернуться на некоторый дополнительный угол Ψ , который непосредственно зависит от угла φ_0 . Определим эту зависимость, используя формулу 4:

$$\Psi = \varphi_0 \cdot \sin \lambda \cdot \frac{D_H}{D_3}. \quad (9)$$

Таким образом, с учетом формулы 9 угол поворота заготовки (ψ_0) к моменту вступления в работу второй режущей чашки будет иметь вид:

$$\psi_0 = \frac{2 \cdot e \cdot \cos \lambda}{D_3} + \Psi. \quad (10)$$

Формула 10 действительна при условии, что процесс резания осуществляется двумя одинаковыми режущими элементами, с одинаковым числом режущих зубьев и их формой. Из формулы 10 видно, что величина угла поворота заготовки (ψ_0) непосредственно связана с расстоянием между режущими чашками (e), углом наклона режущей кромки (λ), диаметрами заготовки (D_3) и инструмента (D_H). Величина угла поворота заготовки (ψ_0) будет определять момент контакта зуба второго режущего элемента с заготовкой и, тем самым, определять срезаемый элемент стружки зубьями второго режущего элемента (рис. 5а, б). Необходимо определить влияние данного угла на срезаемый элемент стружки. Поскольку зуб режущего диска образует с заготовкой своеобразную винтовую зубчатую пару, то с учетом без зазорного зацепления и отсутствия проскальзывания, окружной шаг фасонных винтовых следов равен окружному шагу зубьев режущей чашки $p_3 = p_H = p$ (см. рис. 5а). Очевидно, что частное величин ψ_0 и p будет оказывать влияние на момент врезание зубьев второго режущего элемента и соответственно на срезаемый элемент стружки. Первоначально представим окружной шаг p угловой величиной τ , для этого воспользуемся уравнением длины дуги окружности [4]. В результате, выражение, для определения τ будет иметь вид:

$$\tau = \frac{\pi r_3 \alpha}{180^\circ}, \quad (11)$$

где r_3 – радиус заготовки; α – центральный угол [4].

Отношение параметров ψ_0 и τ будет оказывать влияние на момент врезания зубьев второго режущего элемента. На рис. 5а представлен случай, когда отношение ψ_0 и τ будет целым числом:

$$\frac{\psi_0}{p} = 1, 2, 3 \dots N, \quad (12)$$

где N – любое целое число.

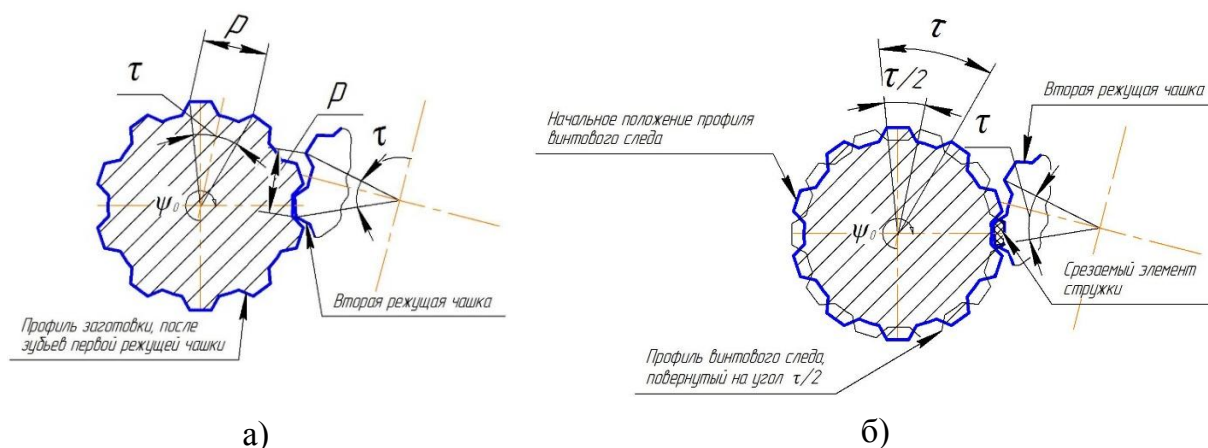


Рис. 5. Зависимость момента начала врезание зубьев от угла поворота заготовки ψ_0 .

В данном случае зубья второго режущего элемента будут попадать во впадины винтового следа, оставленного зубьями первого. Данная установка режущих элементов не будет являться целесообразной, поскольку зубья второй режущей чашки не будут участвовать в процессе резания (при условии, что оба режущих элемента установлены на равную глубину резания). На рис. 5б представлен случай, когда отношение ψ_0 и τ не будет целым числом:

$$\frac{\psi_0}{\tau} = 0,1; 0,2; 0,3 \dots M, \quad (13)$$

где M – число не превышающее 1.

В этом случае, зубья второй режущей чашки будут срезать вершины винтового следа (гребни), оставленного зубьями первой режущей чашки. В частном случае, если отношение ψ_0 и τ будет равно 0,5, то при условии без зазорного зацепления и отсутствия проскальзывания, зуб второго режущего элемента максимально срежет профиль гребня винтового следа (рис. 6).

Можно утверждать, что при ротационном точении двумя режущими элементами, вращающимися совместно, будет оптимальным вариант, при котором $\frac{\psi_0}{\tau} = 0,5$, поскольку в данном случае срезаемые элементы стружки зубьями обоих режущих элементов будут относительно равны.

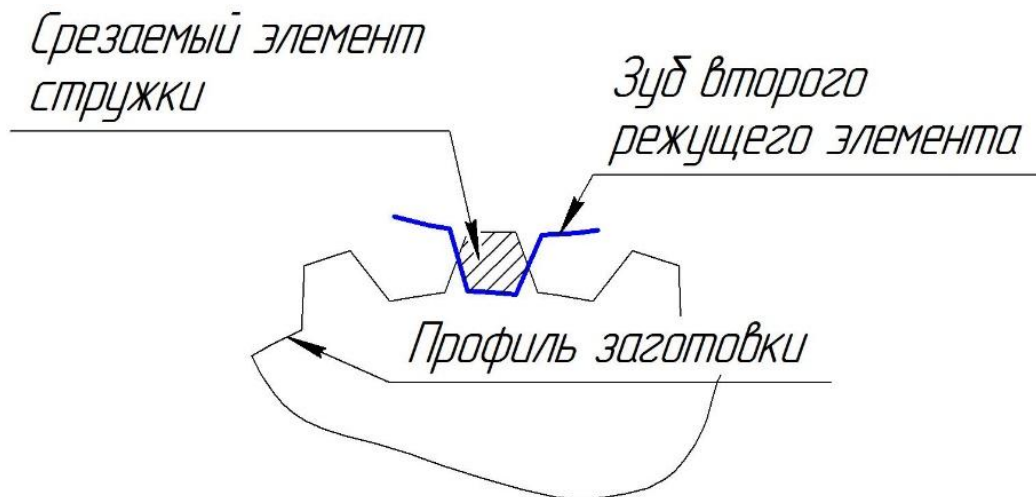


Рис. 6. Момент врезание зуба
второго режущего элемента при $\frac{\psi_0}{\tau} = 0,5$

Важным фактором, влияющим на срезаемый элемент стружки, является расположение режущих элементов относительно оси вращения заготовки, на рис. 7 представлены два возможных варианта установки. Первоначально рассмотрим схему установки, когда первый режущий элемент располагается на оси вращения заготовки (рис. 7а). В данном случае, область контакта (Q1), зуба первой режущей чашки с заготовкой, будет находиться на оси вращения заготовки, а область контакта зуба второго режущего элемента (Q2) окажется ниже этой оси вращения. Из этого следует, что зубья второго режущего элемента не будут соприкасаться с поверхностью заготовки, и соответственно не будут участвовать в процессе резания. Для того чтобы обеспечить контакт зубьев второго режущего элемента с поверхностью заготовки, необходимо поворачивать ось вращения режущих элементов на угол β (рис. 7а). В процессе резания, с уменьшением диаметра заготовки необходима корректировка настройки режущих элементов, путем изменения угла β . Соответственно работа при данной схеме установки режущих элементов не целесообразна, поскольку с последовательным уменьшением диаметра заготовки потребуются частая перенастройка резца. В результате процесс будет трудоемким и малопродуктивным.

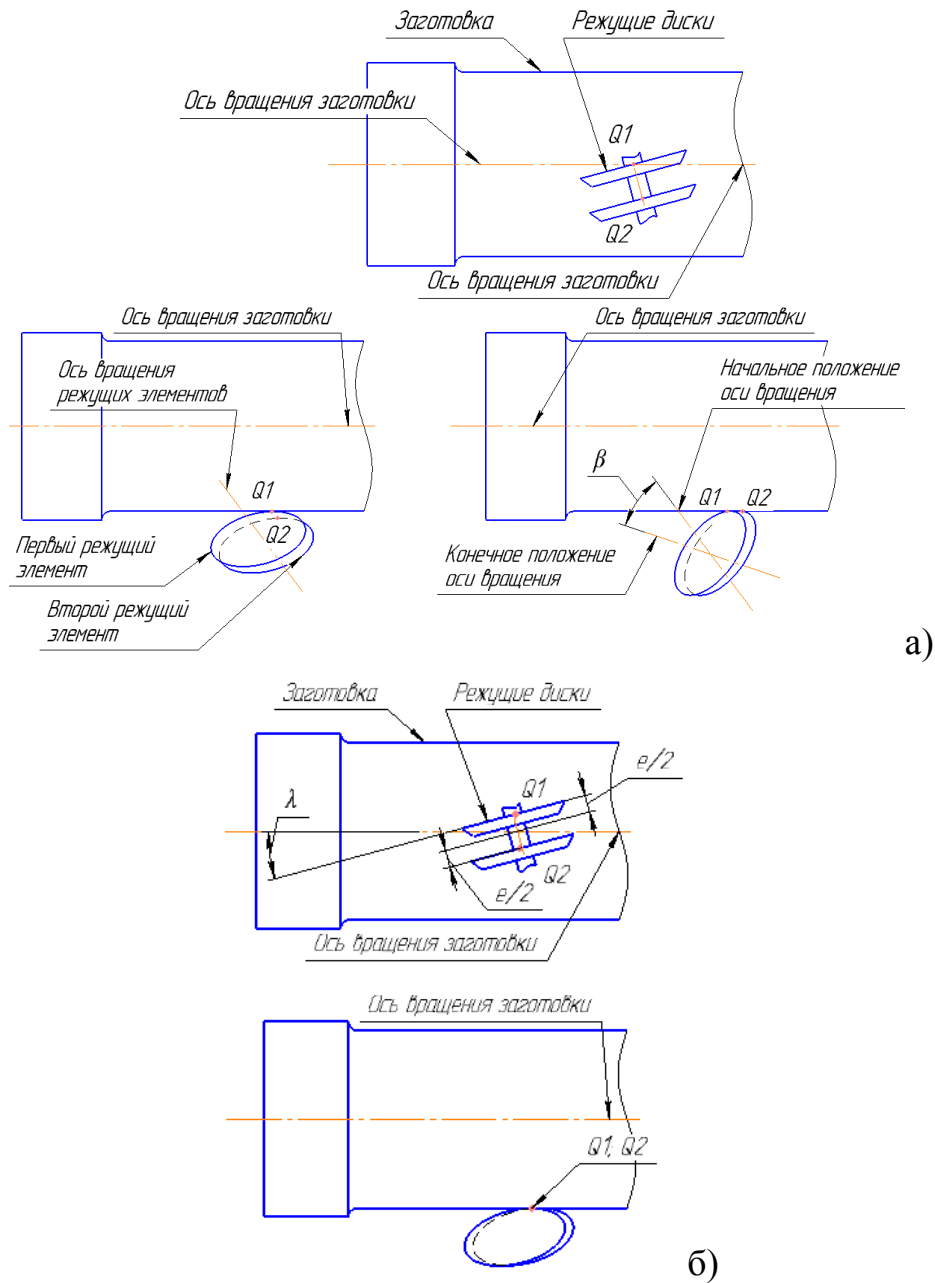


Рис. 7. Схема установки режущих дисков относительно оси вращения заготовки

Рассмотрим схему установки режущих элементов относительно оси заготовки, когда области контакта зубьев режущих элементов ($Q1$ и $Q2$) с поверхностью заготовки, будут располагаться равноудаленно относительно оси вращения заготовки (рис. 7б). Такая схема установки в сравнении с предыдущей, исключает необходимость поворота оси вращения режущих элементов на угол β , в результате чего исключается необходимость перенастройки резца, снижается трудоемкость и повышается производительность процесса. В соответствии с вышесказанным, данная схема является более оптимальной предыдущей.

Библиографический список

1. Шаламов, В.Г. Влияние угла наклона режущей кромки инструмента на угол подъема винтовых следов / В.Г. Шаламов, И.О. Еговцев // Прогрессивные технологии в машиностроении: сб. научн. тр. – М.; Челябинск: Издат. центр ЮУрГУ, 2013. – С. 7–10.
2. Шаламов, В.Г. Получение порошковых материалов ротационным точением / В.Г. Шаламов, Д.А. Савельев, С.Д. Сметанин // Вестник машиностроения. – 2012. – С. 56–58.
3. Бурлай, В.В. Винтовая линия и поверхность. Формы и устройства с участием винтовой поверхности: учеб. пособие / В.В. Бурлай, Л.А. Седов, Р.А. Максимова и др. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010. – С. 7–12.
4. Адамар, Ж. Элементарная геометрия / Ж. Адамар. – М., 2013. – Ч. 1. – С. 167–170.

[К содержанию](#)