

УДК 621.914.6

**В. А. Иванов**, доктор технических наук, профессор, Пермский национальный исследовательский политехнический университет

**В. К. Перевозников**, кандидат технических наук, доцент, Пермский национальный исследовательский политехнический университет

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ УСТАНОВКИ ДИСКОВЫХ ИНСТРУМЕНТОВ, ОБРАБАТЫВАЮЩИХ УГЛОВЫЕ ВИНТОВЫЕ ПОВЕРХНОСТИ

*Проведен анализ формы графиков блокирующих линий при нахождении параметров установки дисковых инструментов, обрабатывающих угловые винтовые поверхности. Представлены результаты исследований влияния диаметра инструмента на форму блокирующих линий и ограничений на выбор параметров установки.*

**Ключевые слова:** параметры винтовых поверхностей, параметры установки, блокирующие линии, фрезы.

Метод блокирующих линий при нахождении параметров установки дисковых инструментов при формообразовании винтовых поверхностей различного профиля. Особую сложность представляет обработка винтовых поверхностей, имеющих поднутренный угловой профиль, очерченный прямыми линиями и имеющий точку излома. Такой профиль широко применяется при изготовлении режущих инструментов с канавками под винтовые твердосплавные пластины. От точности выполнения этого участка зависит точность прилегания твердосплавной пластины к поверхности канавки, толщина припоя и, следовательно, прочность пайки. Поэтому в зоне касания с пластиной профиль винтовой канавки должен быть выполнен точно, без переходных кривых и подрезов. При этом параметры установки  $\varepsilon$  – угол скрещивания между положительным направлением оси детали и отрицательным направлением оси ДИ (межосевой угол) и  $\psi$  – угол поворота торцевого профиля детали относительно линии межосевого перпендикуляра в точке  $K$  должны быть жестко увязаны между собой, иначе профиль в окрестности точки излома будет искажен и очерчен переходной кривой с недопустимыми большими размерами.

Определение или поиск параметров установки дисковых инструментов, обрабатывающих винтовые поверхности с точкой излома, выявление параметров винтовой поверхности, оказывающих наибольшее влияние на поиск оптимальных параметров установки инструмента, остается актуальной научно-технической задачей.

Рассмотрим методику поиска параметров установки дискового инструмента на примере обработки винтовой поверхности с точкой излома  $K$  и поднутрением на участке  $AK$  под винтовые твердосплавные пластины. Профиль очерчивается тремя участками (рис. 1): прямолинейными  $AK$  и  $KE$  с точкой излома  $K$  и криволинейным  $EC$ , очерченным дугой окружности радиусом  $\rho$ . Узловыми точками являются:  $A$  и  $C$  с наибольшим радиусом, точка  $K$ , которой соответствует излом, точка  $E$ , имеющая наименьший угол

профиля инструмента 2-го порядка. Поскольку к стороне  $AK$  присоединяют режущую пластинку, то в окрестностях точки  $K$  не допускается образование переходной кривой.

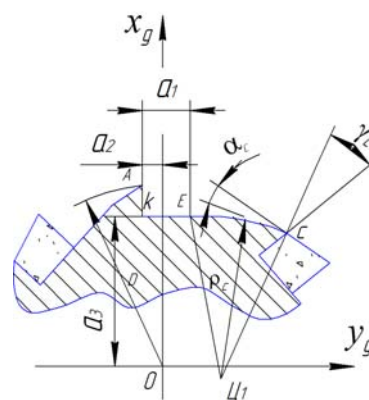


Рис. 1. Винтовая поверхность с угловым профилем

Профиль имеет следующие размеры: наружный диаметр  $D = 47$  мм; размеры углового профиля:  $\alpha_1 = 5,2$  мм;  $\alpha_2 = 2,5$  мм;  $\alpha_3 = 17$  мм; радиус спинки обрабатываемого зуба  $\rho = 18,89$  мм; число зубьев  $z = 6$ ; винтовой параметр  $P = 33,57$  мм, которому соответствует угол наклона винтовой поверхности  $\omega = 37^\circ$ ; задний угол в точке  $C$ ,  $\alpha_C = 15^\circ$ .

Последовательность определения параметров установки дискового инструмента следующая.

1. Выбрать на профиле узловые точки  $A$ ,  $K$ ,  $E$ ,  $C$ . Поскольку  $K$  и  $E$  – точки сопряжения, они одновременно принадлежат двум участкам. В расчетах условимся, что точки  $K$  и  $E$  расположены на участке  $KE$ .

2. Рассчитать параметры  $r$ ,  $\delta$ ,  $\xi$ ,  $x$ ,  $y$ ,  $\rho$  в выбранных узловых точках по известным формулам [3]. Значения этих параметров приведены в таблице.

3. Полагая, что канавку будут фрезеровать, примем наружный диаметр фрезы 2-го порядка  $d_{a0} = 55$  мм;  $a_w$  – межосевое расстояние заготовки и инструмента;  $a_w = 39,2$  мм. При необходимости эту величину можно скорректировать.

**Параметры профиля винтовой канавки в узловых точках профиля**

Точки профиля	$r$ , мм	$\delta$ , рад	$\xi$ , рад	$\rho$ , мм	$x_q$ , мм	$y_q$ , мм
<i>A</i>	23,50	-0,107	-0,107	$10^5$	23,367	-2,50
<i>K</i>	17,183	-0,146	0,146	$10^5$	17,00	-2,50
<i>E</i>	17,213	0,158	1,117	17,01	17,00	2,70
<i>C</i>	23,50	0,941	1,307	17,01	13,848	18,986

4. Выполнить расчеты и построить графики блокирующих линий [1], рис. 2.

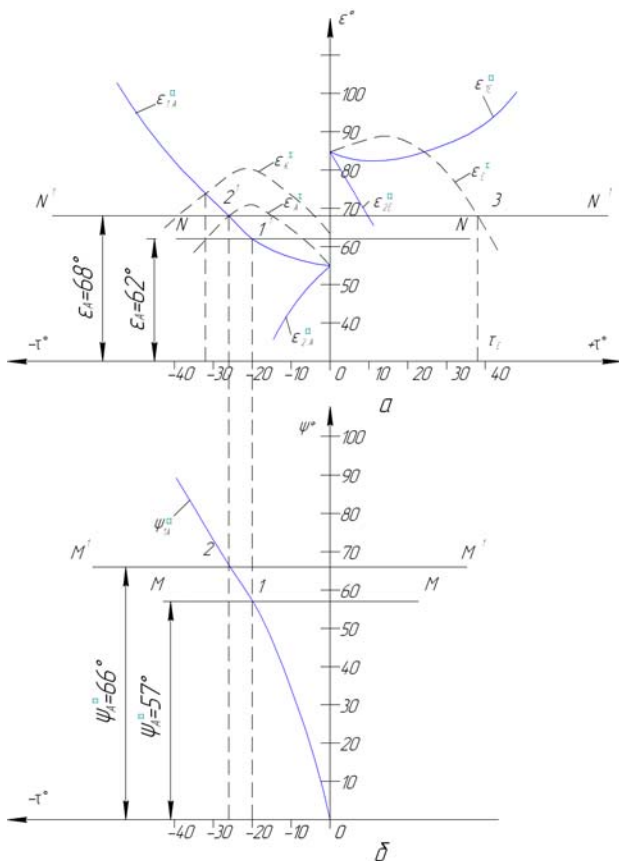


Рис. 2. Блокирующие линии для поиска параметров установки ДИ при  $d_{ao} = 55$  мм

5. Вычислить значение  $\epsilon_{\min}$  для точки *A*:

$$\epsilon_{\min} = \arctg \frac{P}{r_k} = 1,064 = 61^\circ.$$

6. Задаться значением  $\tau_A = -20^\circ$ , найти точку *I* пересечения графика  $\psi''_{1A}$  и прямой *MM*, проведенной параллельно оси  $\tau$ . Точку *I* спроецировать в точку *I'* на линии  $\epsilon''_{1A}$ . Через точку *I'* провести прямую *NN* параллельно оси  $\tau$  и определить значение  $\epsilon''_{1A} = 62^\circ$  (принимается  $\epsilon''_{1A} \geq \epsilon_{\min}$ ). Найти  $\psi_k$  по формуле [1]

$$\psi_k = \frac{a_w}{P^2} \sqrt{r_k^2 - P^2 \text{ctg}^2 \epsilon_k} + \arccos \frac{P \text{ctg} \epsilon_k - \delta_k}{r_k}, \quad (1)$$

$$\psi_k = 35^\circ.$$

7. Проверить выполнение условия  $\psi_k \geq \psi''_A$ . В данном примере  $\psi_k = 35^\circ$ ,  $\psi''_A = 57^\circ$ , следовательно, условие не удовлетворяется. Поэтому следует увеличить  $\tau_A$ , приняв его, например, равным  $-25^\circ$ , и повторить расчет, как указано в п. 6. Тогда  $\psi''_A = 66^\circ$ , а  $\psi_k = 78,8^\circ$ . Теперь условие  $\psi_k \geq \psi''_A$  выполнено. При этом  $\epsilon_A$  будет равным  $68^\circ$  (см. прямую  $N'N'$ ).

8. Проверить выполнение первого и второго условий формообразования в точках *A*, *K* и *E*. Для этого вычислить  $\epsilon'$  по уравнению [1], приняв  $\psi = \psi_k = 78,8^\circ$ . Штриховыми линиями построить графики  $\epsilon'(\tau)$ , как для точки *E*, так и для точек *A* и *K* с целью определения корней  $\tau$  (см. рис. 2).

Из графиков видно, что условие  $\tau_k > \tau_A$  и неравенство  $\epsilon''_{2E} \leq \epsilon'_E \leq \epsilon''_{1E}$  выполнены. Таким образом, параметры установки  $\psi = 78,8^\circ$ ,  $\epsilon = 68^\circ$  при  $\tau_A = -25^\circ$  выбраны правильно.

В точках *A* и *K* ( $\rho = 10^5$ ) параметр  $\epsilon''_2$  имеет минимальные значения, поэтому он не ограничивает выбора параметра  $\epsilon$  по второму условию формообразования в этих точках. В точке *E* значение  $\epsilon''$  при  $\tau = 0$  намного больше аналогичных значений в точках *A* и *K*, что не вполне благоприятно при выборе  $\psi$  и  $\epsilon$ .

Заметим, что выбор оптимальных значений  $\psi$  и  $\epsilon$  для профилей с точкой излома более сложен, так как эти значения связаны между собой не только условием  $\rho_c \geq r_0$ , из которого находится  $\epsilon'$ , но и уравнением (1), из которого находится  $\psi_k$ . Поэтому для выполнения условий формообразования приходится увеличивать  $\epsilon$ , что вызывает увеличение  $\psi$  и, следовательно, увеличение углов  $\tau_A$ ,  $\tau_k$  и уменьшение угла  $\tau_E$ .

Следовательно, для того чтобы добиться оптимальных параметров  $\psi$  и  $\epsilon$ , необходимо изменять другой параметр установки, а именно межосевое расстояние  $a_w$ , которое зависит от диаметра дискового инструмента  $d_{ao}$ .

При проведении исследования влияния диаметра дискового инструмента на форму блокирующих линий были приняты следующие значения  $d_{ao}$  (мм): 32,5; 40; 47,5; 67,5; 80. На рис. 3 и 4 представлены графики блокирующих линий при формообразовании винтовой поверхности, имеющей угловой участок (см. рис. 1), дисковыми инструментами диаметром, соответственно, 32,5 и 80 мм.

Исследования показали, что с уменьшением диаметра инструментов  $d_{ao}$  появляется возможность более широкого выбора параметра  $\epsilon$ . Однако диапазон действительных значений  $\epsilon''_{1A}$  сужается. Так, при диаметре  $d_{ao} = 37,25$  мм его верхняя граница соответствует углу  $\tau = -25^\circ$  (см. рис. 3), что может привести к значительному уменьшению области существования параметра  $\epsilon$ .

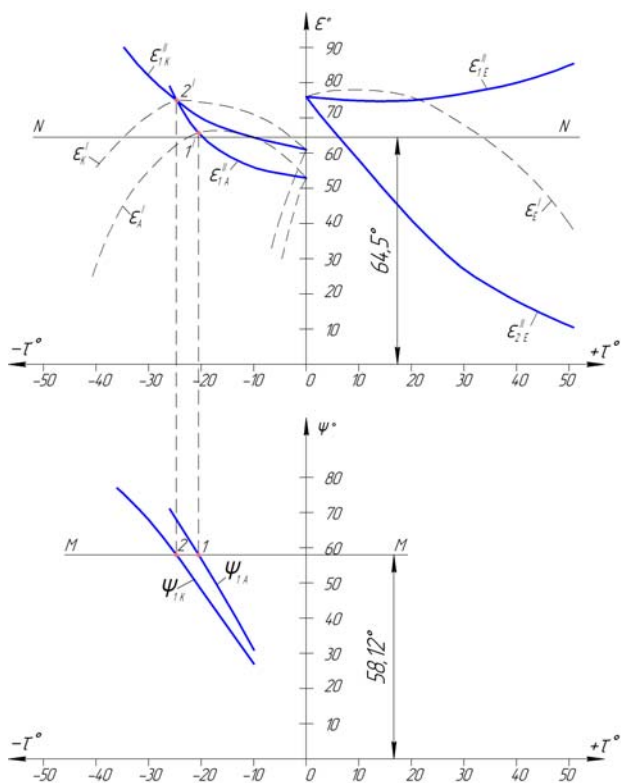


Рис. 3. Блокирующие линии для поиска ПУ при  $d_{ao} = 32,5$  мм

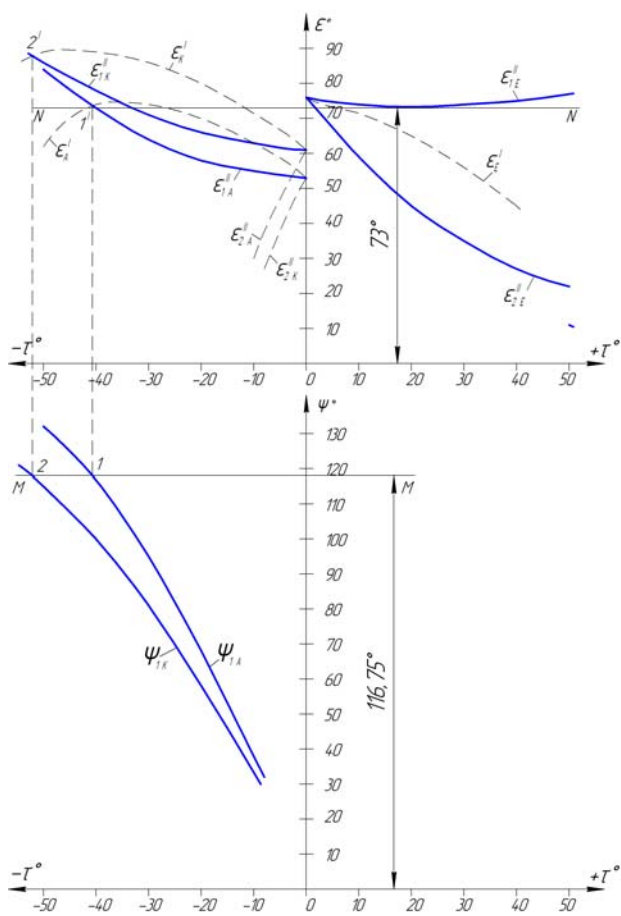


Рис. 4. Блокирующие линии для поиска ПУ при  $d_{ao} = 80$  мм

На рис. 5 представлена зависимость параметров установки  $\psi$  и  $\varepsilon$  от диаметра инструмента  $d_{ao}$ . С увеличением  $d_{ao}$  увеличивается параметр  $\varepsilon$ . Это объясняется тем, что при увеличении диаметра  $d_{ao}$  значения  $\varepsilon''_{1,A}$  и  $\varepsilon''_{1,K}$  с изменением угла  $\tau$  возрастают медленнее, поэтому чтобы добиться выполнения второго условия формообразования в точках  $A$  и  $K$ , приходится увеличивать значение  $\varepsilon$  по сравнению с его минимальным значением. Совместное увеличение параметра  $\varepsilon$  и  $d_{ao}$  приводит к возрастанию  $\psi$ .

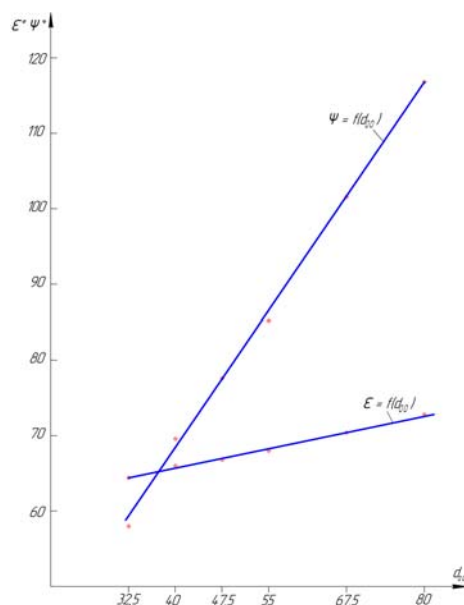


Рис. 5. Зависимость параметров установки  $\psi$  и  $\varepsilon$  от диаметра инструмента  $d_{ao}$

На рис. 6 представлена зависимость углов  $\tau$  в узловых точках профиля  $A, K, E$  от диаметра инструмента.

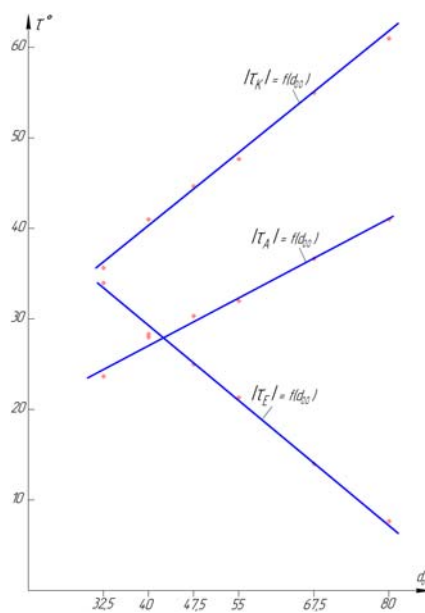


Рис. 6. Зависимость углов  $|\tau_A|, |\tau_K|, |\tau_E|$  от диаметра инструмента  $d_{ao}$

Увеличение  $d_{ao}$  приводит к увеличению параметров  $\psi$  и  $\varepsilon$ , которые оказывают влияние на значения углов  $\varepsilon'$ . Изменение углов  $\varepsilon'$  приводит к изменению углов  $|\tau_A|, |\tau_K|, |\tau_E|$ . При этом закономерно, что при увеличении  $d_{ao}$  углы  $|\tau_A|, |\tau_K|$  будут увеличиваться, а угол  $|\tau_E|$  – уменьшаться.

Как видно из приведенных зависимостей, оптимальные параметры установки  $\psi$  и  $\varepsilon$  будут при диаметре инструмента  $d_{ao}$ , мм,  $40 < d_{ao} < 45$ , где достигается примерное равенство углов  $|\tau_A|$  и  $|\tau_E|$ . Однако следует помнить, что уменьшение диаметра  $d_{ao}$  допускается в известных пределах из-за конструктивных соображений.

#### Выводы

1. Разработана методика поиска параметров установки дискового инструмента с использованием метода блокирующих линий на примере обработки винтовой поверхности с угловым профилем с точкой излома  $K$  под винтовые твердосплавные пластины, позволяющая точно без переходных кривых и подрезов в зоне касания профиля с пластиной находить оптимальные параметры установки.

2. Проведенные исследования показали, что оптимальные параметры установки  $\psi$  и  $\varepsilon$  дисковых инструментов, обрабатывающих винтовые поверхности с угловым профилем, будут находиться при диаметре фрезы второго порядка  $d_{ao}$  в пределах 40...45 мм. В этом случае достигается равенство углов  $|\tau_A|$  и  $|\tau_E|$ .

3. Для достижения оптимальных параметров установки инструментов второго порядка при обработке винтовых поверхностей, имеющих угловой профиль с точкой излома, рекомендуется на порядок уменьшать расчетный диаметр  $d_{ao}$ .

#### Библиографические ссылки

1. *Перевозников В. К., Иванов В. А., Коротаев Ю. А.* Оптимизация параметров установки инструментов, обрабатывающих винтовые стружечные канавки. – Пермь : Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2012. – 95 с.
2. Проектирование режущих инструментов / В. А. Гречишников, А. Г. Схиртладзе, В. А. Иванов, В. К. Перевозников, И. А. Коротков. – М. : Глобус, 2006. – 272 с.
3. *Лаишев С. И., Юликов М. И.* Расчет и конструирование металлорежущих инструментов с применением ЭВМ. – М. : Машиностроение, 1975. – 385 с.

*V. A. Ivanov*, DSc in Engineering, Professor, Perm National Research Polytechnic University

*V. K. Perevzovnikov*, PhD in Engineering, Associate Professor, Perm National Research Polytechnic University

#### Research of Setting Parameters of Disk Tools, Machining Corner Helical Surfaces

*The analysis is carried out for blocking lines graphic configuration when determining the disk tools setting parameters, that machine corner helical surfaces. Research results are given for the influence of tool diameter on blocking lines configuration and for restrictions on choosing the setting parameters.*

**Key words:** helical surfaces parameters, setting parameters, blocking lines, milling cutters.

УДК 629.7.051.8:621.3.078

**В. П. Казанцев**, доктор технических наук, доцент, Пермский национальный исследовательский политехнический университет

**Д. А. Даденков**, Пермский национальный исследовательский политехнический университет

## ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОТНОСИТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ В НАЗЕМНЫХ УСЛОВИЯХ

*Рассмотрены вопросы математического описания относительного движения космических аппаратов на заключительном этапе их сближения и стыковки, а также плоского движения наземного ротационного испытательного стенда. На основе анализа математических моделей предложена концепция имитационного моделирования процессов относительного движения космических аппаратов, позволяющая обрабатывать алгоритмы оптимальных (по заданным критериям) траекторий сближения и стыковки аппаратов в наземных условиях.*

**Ключевые слова:** космический аппарат, сближение, стыковка, имитационная модель.

**О**дна из важнейших задач, которые решаются космической техникой при освоении космоса, – это задача управления процессами сближения, стыковки и расхождения (ССР) космических аппаратов (КА) на орбите [1, 2].

При описании уравнений относительного движения КА используются несколько систем координат

(СК), связанных как с центром притяжения Земли – геоцентрические СК, так и с центрами масс пассивного аппарата (ПА) или активного аппарата (АА) – орбитальные и визирные СК. Описание относительного движения и процессов ССР в визирной (лучевой) СК получили наибольшее распространение, поскольку предполагают управление всего по двум