

УДК 621.9.042; 621.941-229.2

**АНАЛИТИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ КИНЕМАТИЧЕСКИХ ПЕРЕДНЕГО И ЗАДНЕГО УГЛОВ ИНСТРУМЕНТА ПРИ ФОРМООБРАЗОВАНИИ ГРАННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ С ПЕРЕМЕННЫМ ПРОФИЛЕМ ПЛАНЕТАРНЫМ ТОЧЕНИЕМ**

**Разумов М.С., Гречухин А.Н., Пыхтин А.И., Гладышкин А.О.**

*ФГБОУ ВПО «Юго-Западный государственный университет», Курск, e-mail: agrechuhin@mail.ru*

В работе рассматривается способ механической обработки многогранных наружных поверхностей с переменным по длине профилем поперечного сечения. Рассмотрены особенности способа и обоснована актуальность темы исследования. Обозначена научная проблема, которая заключается в определении изменения величины переднего и заднего кинематических углов в процессе планетарного формообразования. Сущность исследования заключается в определении влияния габаритных размеров планетарного механизма, а также параметров заготовок на величину изменения кинематических переднего и заднего углов металлорежущего инструмента. Предложено математическое выражение для определения изменения величины кинематических переднего и заднего углов инструмента при различных параметрах планетарного механизма и обрабатываемых заготовок. Результаты проведенного исследования могут быть применены при проектировании металлорежущего инструмента для планетарного формообразования многогранных наружных поверхностей, в частности – при расчете значения переднего и заднего углов.

**Ключевые слова:** кинематический угол, многогранная поверхность, планетарное точение

**ANALYTICAL DEFINITION OF KINEMATIC FORWARD AND BACK CORNERS OF THE TOOL AT FORMMOBRAZOVANIYA OF-FACED SURFACES WITH THE VARIABLE PROFILE PLANETARY TURNING**

**Razumov M.S., Grechukhin A.N., Pykhtin A.I., Gladyshevskiy A.O.**

*Southwest State University, Kursk, e-mail: agrechuhin@mail.ru*

In work the way of machining of many-sided external surfaces with a variable profile on length of cross section is considered. Features of a way are considered, and relevance of a subject of research is proved. The scientific problem which consists definitions of change of size of forward and back kinematic corners in the course of a planetary shaping is designated. The essence of research consists in definition of influence of overall dimensions of the planetary mechanism, and as parameters of preparations at a size of change of kinematic forward and back corners of the metal-cutting tool. Mathematical expression for definition of change of size of kinematic forward and back corners of the tool is offered at various parameters of the planetary mechanism and processed preparations. Results of the conducted research can be applied at design of the metal-cutting tool to a planetary shaping of many-sided external surfaces, in particular – at calculation of value of forward and back corners.

**Keywords:** kinematic corner, many-sided surface, planetary turning

В механизмах различных машин находят применение детали с постоянной формой поперечного сечения в виде правильных многогранников. Встречаются также детали с постоянным сечением сложной формы. В основе таких сечений лежат сложные кривые. Вопросам реализации различных способов формообразования таких поверхностей посвящены работы множества российских и зарубежных ученых.

Интерес для исследования представляют способы формообразования многогранных наружных поверхностей с переменным по длине профилем поперечного сечения. Характерным примером деталей, содержащих такие поверхности, является концевая часть заготовок пружин, применяемых в системе рессорного подвешивания тележек железнодорожных вагонов.

Ранее были рассмотрены способы формообразования многогранных наружных поверхностей с переменным по длине профилем поперечного сечения, выявлены их

недостатки [5] и предложен принципиально новый способ формообразования наружных гранных поверхностей с переменным по длине профилем поперечного сечения, характеризующийся высокой производительностью [8, 12]. Особенностью способа является применение планетарного механизма [1, 11] с целью придания сложной траектории перемещения вершине металлорежущего инструмента.

Металлорежущий инструмент – многолезвийные резцовые блоки, представляющие собой корпус, выполненный в виде цилиндра с пазами для крепления сменных ножей, на которых закреплены сменные режущие пластины [10]. Режущие пластины, совершая перемещения по траектории трохоиды при осевой подаче заготовки, производят формообразование четырехгранного профиля концевых участков вагонных пружин. Ножи, закрепленные на корпусе резцовых блоков под углом к оси заготовки [4], позволяют получать переменный профиль поперечного сечения.

Действующие в процессе резания угловые геометрические параметры режущей части инструмента, а также плоскости, в которых они измеряются, не совпадают с заданными в процессе обработки [2, 3]. Значения угловых кинематических параметров режущего клина инструмента связаны с движением инструмента относительно заготовки в каждой рассматриваемой точке режущей кромки. Они рассчитываются на основе значений параметров с учетом взаимного расположения векторов скоростей главного и вспомогательного движений, а также связанных с ними плоскостей и поверхностей.

Следует отметить, что существенное влияние на прочность инструмента оказывает передний угол  $\gamma$ . С увеличением переднего угла облегчаются условия резания, уменьшается деформация и повышается качество поверхности. Сильное увеличение переднего угла приводит к значительному ослаблению режущих кромок. При обработке твердых и хрупких металлов применяют резцы с малыми передними углами, а при строгании мягких и вязких сталей стараются использовать инструмент с относительно большими передними углами. Задний угол  $\alpha$  служит для уменьшения трения между задней поверхностью резца и обрабатываемой деталью, что ведет к уменьшению нагрева инструмента и в результате к увеличению его стойкости [13].

Для назначения рациональных геометрических параметров инструмента при обработке инструментом с планетарным движением необходимо установить изменение величины переднего и заднего углов в процессе обработки.

Для упрощения расчета изменения кинематических переднего и заднего углов рассмотрим процесс формообразования гранных поверхностей с переменным профилем в некоторой точке формообразуемой поверхности, которой будет соответствовать расстояние  $d$  от центра инструмента до вершины режущей кромки.

Сложное движение металлорежущего инструмента состоит из двух простых дви-

жений – вращения вокруг своей оси и вращения относительно заготовки. Рассмотрим характерные точки, в которых будет находиться вершина режущего инструмента в некоторый момент времени. Положение вершины режущей кромки в любой момент времени определяет параметр  $t$ .

Примем начало траектории движения вершины инструмента в точке  $A(r+d; 0)$ , где  $t=0^\circ$  (поз. 1), тогда положение точки, в которой кинематические углы равны геометрическим, соответствует точке  $B(0; r-d)$ , где  $t=90^\circ$  (поз. 2). Следовательно, положение вершины режущей кромки инструмента в точке врезания соответствует параметру  $t=45^\circ$  (поз. 3). Таким образом, для определения изменения величины кинематических переднего и заднего углов инструмента необходимо определить разность углов поворота инструмента в точке  $B$  с координатами  $(0; r-d)$ , при  $t=90^\circ$  и точке  $C$  с координатами  $(r/\sqrt{2}+d/\sqrt{2}; r/\sqrt{2}-d/\sqrt{2})$ , при  $t=45^\circ$ , соответствующей моменту врезания инструмента [7].

Параметрическое уравнение гипотрохи – траектории, описывающей перемещение вершины режущей кромки инструмента, имеет вид [1]:

$$\begin{cases} x(t) = (R-r) \cdot \cos(t) + d \cdot \cos\left(\frac{R-r}{r} \cdot t\right); \\ y(t) = (R-r) \cdot \sin(t) - d \cdot \sin\left(\frac{R-r}{r} \cdot t\right), \end{cases} \quad (1)$$

где  $\varphi$  – параметр угла, изменяющийся от  $0 \dots 2\pi$ ;  $d$  – расстояние от центра вращения инструмента до его вершины;  $x, y$  – координаты точки гипотрохи на плоскости относительно центра координат  $O$  в системе координат  $XOY$ ;  $R$  – радиус зубчатого колеса с внутренним зацеплением;  $r$  – радиус зубчатого колеса, на валу которого расположен инструмент.

Параметрические уравнения гипотрохи для соотношения  $R/r = 2$  преобразуют к виду:

$$\begin{cases} x(t) = r \cdot \cos(t) + d \cdot \cos(t) = (r+d) \cdot \cos(t); \\ y(t) = r \cdot \sin(t) - d \cdot \sin(t) = (r-d) \cdot \sin(t). \end{cases} \quad (2)$$

Чтобы оценить величину изменения кинематического переднего и заднего углов необходимо определить координаты  $x(t_0)$ ,  $y(t_0)$  точки  $C$  гипотрохи, которой соответствует начало врезания инструмента.

Рассчитаем угол поворота  $\phi_0$  как угол между лучами  $OB$  и  $OC$  (рис. 1):

$$\phi_0 = \frac{\pi}{2} \dots N, \quad (3)$$

где  $N$  – количество режущих ножей (для четырехгранного профиля  $N = 2$ ).

Запишем уравнение тангенса угла  $\phi$ :

$$\operatorname{tg}(\phi) = \frac{BC}{OB} = \frac{x(t_0)}{y(t_0)} = \frac{r+d}{r-d} \cdot \operatorname{ctg}(\phi_0). \quad (4)$$

С учетом, что  $N=2$ , преобразуем формулу к следующему виду:

$$\operatorname{tg}(\phi) = \frac{r+d}{r-d}. \quad (5)$$

Искомую величину  $\psi_{\text{теор}}$  – изменение кинематического переднего угла инструмента определим следующим образом (рис. 1):

Результаты расчета изменения кинематических переднего и заднего углов в зависимости от вылета режущих кромок инструмента

$d, \text{ мм}$	43,5	42,5	40	39	38
$\Psi_{\text{теор}}, ^\circ$	4,6	3,85	3,1	2,3	1,5

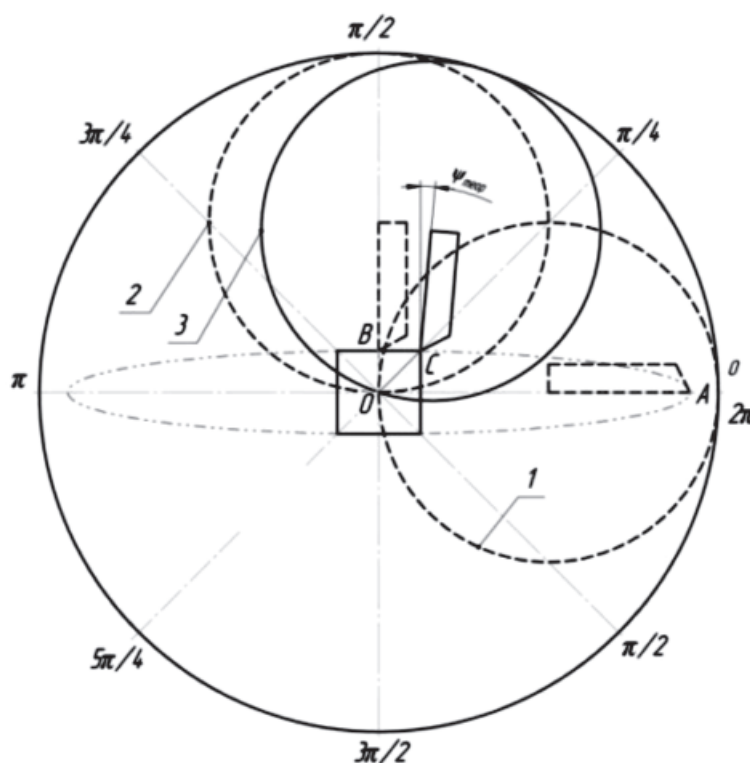


Рис. 1. Схема перемещения вершины режущей кромки инструмента в процессе обработки:  $\psi_{\text{теор}}$  – величина изменения кинематического переднего угла инструмента;  $O$  – центральная точка; 1 – положение резцового блока в точке начала перемещения режущего инструмента;  $A$  – точка начала перемещения вершины режущей кромки; 2 – положение резцового блока в точке, в которой кинематические углы равны геометрическим;  $B$  – точка вершины режущего инструмента, в которой кинематические углы равны геометрическим; 3 – положение резцового блока в момент врезания;  $C$  – точка вершины инструмента в момент врезания

Зависимость имеет линейный характер и показывает, что с увеличением расстояния от центра инструмента до вершины режущих кромок величина изменения рабочих кинематических переднего и заднего углов уменьшается и наоборот.

На основании полученной ранее эмпирической формулы для определения изменения кинематических переднего и заднего углов инструмента [9] были построены графики сравнения теоретических и экспериментальных исследований.

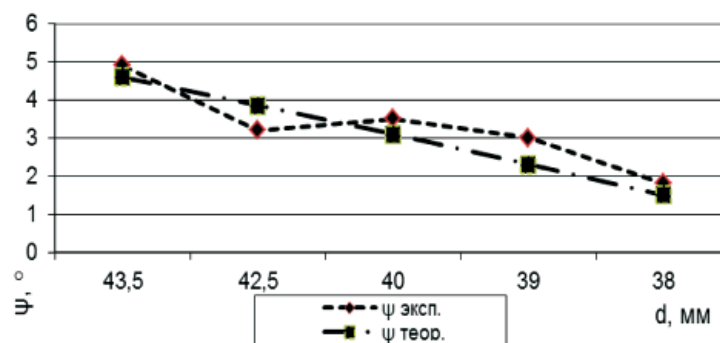


Рис. 2. График зависимости изменения кинематических переднего и заднего углов инструмента от расстояния между вершиной режущей кромки и осью вращения инструмента

Сравнительный анализ показал, что разность между экспериментальными и теоретическими значениями не превышает 10%, что подтверждает адекватность полученных математических зависимостей.

Таким образом, полученная аналитическая зависимость позволяет определить изменение кинематических переднего и заднего углов в процессе формообразования наружных гранных поверхностей с переменным профилем планетарным точением и назначить их рациональные параметры с учетом технологических режимов обработки.

Работа выполнена в рамках гранта Президента РФ МК-2653.2014.8.

### Список литературы

1. Барботько А.И. Определение погрешности формы при обработке многогранников на токарном станке / А.И. Барботько, М.С. Разумов, А.И. Пыхтин, А.О. Гладышкин // Известия Юго-Западного государственного университета. – 2011. – № 3 (36). – С. 130–135.
2. Грановский Г.И. Кинематика резания. – М.: Mashgiz, 1948. – 200 с.
3. Гречухин А.Н. Анализ изменения кинематики углов резания в зависимости от профиля детали и технологических параметров планетарного механизма построителя / А.Н. Гречухин, М.С. Разумов, С.А. Чевычелов // Технические науки – основа современной инновационной системы: материалы II Международной научно-практической конференции. – Йошкар-Ола, 2012. – С. 31–35.
4. Гречухин А.Н. Анализ способов закрепления режущих пластин при обработке профильных поверхностей посредством планетарного механизма построителя / А.Н. Гречухин, М.С. Разумов, С.А. Чевычелов // Технические науки – от теории к практике: материалы XX Международной заочной научно-практической конференции. – Новосибирск, 2013. – С. 15–21.
5. Гречухин А.Н. Анализ способов формообразования профильной части заготовок пружин для тележек железнодорожных вагонов / А.Н. Гречухин, С.А. Чевычелов, М.С. Разумов, // Перспективное развитие науки, техники и технологии: материалы 2-й международной научно-практической конференции. – Курск, 2012. – Т. 1. – С. 108–111.
6. Гречухин А.Н. Определение жесткости профильной части пружины железнодорожного транспорта при многолезвийной обработке // А.Н. Гречухин, А.О. Гладышкин, М.С. Разумов // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 5.
7. Гречухин А.Н. Разработка инструментального оснащения для формообразования гранных поверхностей

с переменным профилем: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Курск, 2013. – 18 с.

8. Емельянов С.Г. Автоматизация технологической подготовки производства профильных валов / С.Г. Емельянов, А.О. Гладышкин, М.С. Разумов, С.Ф. Яцун // Известия Юго-Западного государственного университета. – 2012. – № 1 (40). – Ч. 1. – С. 164–168.

9. Определение кинематических углов резания при механической обработке профильной части пружин железнодорожного транспорта / С.Г. Емельянов, А.Н. Гречухин, М.С. Разумов, С.А. Чевычелов // Перспективное развитие науки, техники и технологий: материалы III Международной научно-практической конференции. – Курск, 2013. – С. 380–382.

10. Разумов М.С., Чевычелов С.А., Гречухин А.Н., Гладышкин А.О., Хижняк Н.А. Устройство для обработки профильной части пружин железнодорожного транспорта // Патент России № 130530. 2012. Бюл. № 21.

11. Разумов, М.С. Повышение производительности формообразования многогранных наружных поверхностей посредством планетарного механизма: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Курск, 2011. – 18 с.

12. Способ формообразования вагонной пружины железнодорожного транспорта / С.Г. Емельянов, М.С. Разумов, А.Н. Гречухин // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия Техника и технологии. – 2013. – № 2. – С. 23–28.

13. Филиппов Г.В. Режущий инструмент. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отделение, 1981. – 392 с.

### References

1. Barbotko A.I. Opredelenie pogreshnosti formy pri obrabotke mnogogrannikov na tokarnom stanke (Definition of an error of a form when processing polyhedrons on the lathe). A.I. Barbotko, M.S. Razumov, A.I. Pyhtin, A.O. Gladyshekin. News of SouthWest state university. 2011. no. 3 (36). Pp. 130–135.
2. Granovskij G.I. Kinematika rezanija [Cutting kinematics]. M.: Mashgiz, 1948. 200 p.
3. Grechukhin A.N. Analiz izmenenija kinematiki uglov rezanija v zavisimosti ot profilja detali i tehnologicheskikh parametrov planetarnogo mehanizma postroitelja (The analysis of change of kinematics of corners of cutting depending on a profile of a detail and technological parameters of the planetary mechanism of a plotter) A.N. Grechukhin, M.S. Razumov, S.A. Chevychelov Technical science a basis of modern innova-tion system: materials II of the International scientific and practical conference. Ioshkar Ola, 2012. pp. 31–35.
4. Grechukhin A.N. Analiz sposobov zakrepleniya rezhush-hih plastin pri obrabotke profil'nyh poverhnostej posredstvom planetarnogo mehanizma postroitelja (The analysis of ways of fixing of cutting plates when processing profile surfaces by means of the planetary mechanism of a plotter) A.N. Grechukhin, M.S. Razumov, S.A. Chevychelov. Technical science – from

the theory to practice: materials XX of the International correspondence scientific and practical conference. Novosibirsk, 2013. pp. 15–21.

5. Grechukhin A.N. Analiz sposobov formoobrazovaniya profil'noj chasti zagotovok pruzhin dlja telezhek zheleznodorozhnyh vagonov (The analysis of ways of a shaping of profile part of preparations of springs for carts of railway cars) A.N. Grechukhin, S.A. Chevychelov, M.S. Razumov. Perspective development of science, equipment and technology: Materials of the 2nd international scientific and practical conference. Kursk, 2012. Ch. 1. pp. 108–111.

6. Grechukhin A.N. Opredelenie zhestkosti profil'noj chasti pruzhiny zheleznodorozhnogo transporta pri mnogolezviynoj obrabotke (Determination of rigidity of profile part of a spring of railway transport at mnogolezviynoy processing) A.N. Grechukhin, A.O. Gladyshekin, M.S. Razumov. Modern problems of science and education. 2013. no. 5.

7. Grechukhin A.N. Razrabotka instrumental'nogo osnashheniya dlja formoobrazovaniya grannyyh poverhnostej s peremennym profil'em (Development of tool equipment for a shaping of faced surfaces with a variable profile): Abstract of the thesis of Candidate of Technical Sciences. Kursk, 2013. 18 p.

8. Emeljanov S.G. Avtomatizacija tehnologicheskoy podgotovki proizvodstva profil'nyh valov (Automation of technological preparation of production of profile shaft). S.G. Emeljanov, A.O. Gladyshekin, M.S. Razumov, S.F. Jacun. News of South-West state university. 2012. no. 1 (40). Ch. 1. pp. 164–168.

9. Opredelenie kinematicallykh uglov rezanija pri mehanicheskoy obrabotke profil'noj chasti pruzhin zheleznodorozhnogo transporta. (Definition of kinematic corners of cutting when machining profile part of springs of railway transport). S.G. Emeljanov, A.N. Grechukhin, M.S. Razumov, S.A. Chevychelov. Perspective development of science, equipment and

technologies: materials III of the International scientific and practical conference. Kursk, 2013. pp. 380–382.

10. Razumov M.S., Chevychelov S.A., Grechukhin A.N., Gladyshekin A.O., Hizhnjak N.A. Ustrojstvo dlja obrabotki profil'noj chasti pruzhin zheleznodorozhnogo transporta. (The device for processing of profile part of springs of railway transport). Patent of Russia no. 130530. 2012. Bjul. no. 21.

11. Razumov M.S. Povyshenie proizvoditel'nosti formoobrazovaniya mnogogrannyh naruzhnyh poverhnostej posredstvom planetarnogo mehanizma. (Increase of productivity of a shaping of many-sided external surfaces by means of the planetary mechanism): Abstract of the thesis of Candidate of Technical Sciences. Kursk, 2011. 18 p.

12. Sposob formoobrazovaniya vagonnoj pruzhiny zheleznodorozhnogo transporta. (Way of a shaping of a carriage spring of railway transport) S.G. Emeljanov, M.S. Razumov, A.N. Grechukhin. News of SouthWest state university. Equipment series and technologies. 2013. no. 2. pp. 23–28.

13. Filippov G.V. Rezhushhij instrument (The cutting tool). G.V. Filippov. L: Mashinostroenie. Leningr. otdelenie, 1981. 392 p.

---

**Рецензенты:**

Кобелев Н.С., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой теплогазоснабжения и вентиляции, ЮЗГУ, г. Курск;

Серебровский В.В., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой информатики и прикладной математики, ЮЗГУ, г. Курск.

Работа поступила в редакцию 21.03.2014.