

# МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

---

## MACHINE SCIENCE AND BUILDING

УДК 621.01/02(04)

doi: 10.21685/2072-3059-2023-4-11

### Формообразование поверхностей деталей режущим инструментом с касательным движением на станках с числовым программным управлением

Н. Н. Попок<sup>1</sup>, В. С. Анисимов<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой,  
Новополоцк, Республика Беларусь

<sup>1</sup>n.popok@psu.by, <sup>2</sup>v.anisimov@psu.by

**Аннотация.** *Актуальность и цели.* Приведены схемы обработки различных поверхностей деталей, которые описываются трехэлементными кинематическими схемами резания, а также рассмотрено формирование этих поверхностей на станках с числовым программным управлением (ЧПУ) при реализации линейной и круговой интерполяции. Целью работы является выбор кинематической схемы резания, обеспечивающей повышение производительности и качество формирования номинальной поверхности детали. *Материалы и методы.* Использовались методы теории резания материалов, в частности анализа кинематики обработки поверхностей деталей вращающимся режущим инструментом с касательным движением режущей кромки и дискретном перемещении детали и режущего инструмента на станках с ЧПУ. *Результаты.* Разработаны кинематические схемы резания при двух вращательных и поступательном, а также вращательном и поступательном элементарных движениях резания; предложена схема обработки плоской поверхности детали на токарном станке с ЧПУ при дискретном поступательном перемещении режущего инструмента и подвороте детали, что обеспечивает повышение производительности и качества обработки. *Выводы.* Результаты исследований позволяют выбрать рациональную кинематическую схему резания и разработать расчетно-технологическую карту формирования плоской и цилиндрической поверхностей деталей на токарных станках с ЧПУ, обеспечивающую повышение производительности и качества обработки.

**Ключевые слова:** схемы обработки, кинематические схемы резания, линейная и круговая интерполяция, дискретные перемещения, расчетно-технологическая карта

**Для цитирования:** Попок Н. Н., Анисимов В. С. Формообразование поверхностей деталей режущим инструментом с касательным движением на станках с числовым программным управлением // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. 2023. № 4. С. 115–125. doi: 10.21685/2072-3059-2023-4-11

### Shaping the surfaces of parts using a cutting tool with tangential movement on CNC machines

N.N. Popok<sup>1</sup>, V.S. Anisimov<sup>2</sup>

---

© Попок Н. Н., Анисимов В. С., 2023. Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution 4.0 License / This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 License.

<sup>1,2</sup>Euphrosyne Polotskaya State University of Polotsk,  
Novopolotsk, Republic of Belarus

<sup>1</sup>n.popok@psu.by, <sup>2</sup>v.anisimov@psu.by

**Abstract.** *Background.* The processing schemes of various surfaces of parts, which are described by three-element kinematic cutting schemes, are given, and the formation of these surfaces on CNC machines during the implementation of linear and circular interpolation is also considered. The purpose of the work is to select a kinematic cutting scheme that provides increased productivity and quality of forming the nominal surface of the part. *Materials and methods.* The methods of the theory of cutting materials were used, in particular, the analysis of the kinematics of surface treatment of parts with a rotating cutting tool with tangential movement of the cutting edge and discrete movement of the part and the cutting tool on CNC machines. *Results.* Kinematic cutting schemes have been developed for two rotational and translational, as well as rotational and translational elementary cutting movements; a scheme for processing a flat surface of a part on a CNC lathe with discrete translational movement of the cutting tool and turning of the part is proposed, which provides an increase in productivity and processing quality. *Conclusions.* The results of the research allow us to choose a rational kinematic cutting scheme and develop a computational and technological map for the formation of flat and cylindrical surfaces of parts on CNC lathes, which provides an increase in productivity and processing quality.

**Keywords:** processing schemes, kinematic cutting schemes, linear and circular interpolation, discrete displacements, calculation and technological map

**For citation:** Popok N.N., Anisimov V.S. Shaping the surfaces of parts using a cutting tool with tangential movement on CNC machines. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Tekhnicheskie nauki = University proceedings. Volga region. Engineering sciences.* 2023;(4):115–125. (In Russ.). doi: 10.21685/2072-3059-2023-4-11

## Введение

При механической обработке материалов реализуются две основные функции режущего инструмента – формообразование номинальной поверхности и срезание припуска режущими кромками с формированием шероховатости обработанной поверхности детали. Первая функция обеспечивается кинематической схемой резания, в которой указываются необходимые элементарные движения заготовки и инструмента и получаемые траектории резания. Реализация второй функции достигается наряду с принятым движением резания, назначением элементов режима резания и применением соответствующих типов режущих инструментов [1].

Формообразование номинальной поверхности описывается известными математическими формулами и достигается предлагаемыми способами обработки. Для срезания припуска и получения требуемой точности и шероховатости поверхности также используются различные способы обработки [2]. Доказано [3, 4], что повышению производительности и точности обработки способствует применение вращающихся многолезвийных режущих инструментов, имеющих касательное по отношению к обрабатываемой поверхности и поверхности резания движение. Наличие касательного движения снижает нормальную силу и силу трения, действующие на режущую кромку, а также температуру в зоне резания. Поэтому имеется возможность увеличить частоту вращения инструмента, уменьшить толщину слоя срезаемого каждым лезвием и за счет этого увеличить минутную подачу инструмента и производительность обработки. При этом более рационально используется мощность привода станка.

Тенденция использования вращающихся инструментов четко прослеживается при обработке поверхностей деталей на станках с числовым программным управлением (ЧПУ), где все чаще используются фрезы, зенкеры, круговые протяжки и тому подобные типы режущих инструментов. В данной статье предлагается оценить возможности систем управления, быстродействия датчиков, точности перемещения механизмов станков с ЧПУ в сопоставлении с получаемой при формообразовании и задаваемой точностью обработки.

### Материалы и методы

Для решения поставленных задач в работе использовались исследования процесса резания материалов в современных условиях развития машиностроения, кинематика обработки поверхностей деталей вращающимся режущим инструментом с касательным движением режущей кромки, элементы геометрии и моделирования.

### Результаты и обсуждение

Рассмотрим некоторые схемы обработки, реализующие касательные движения режущих кромок (рис. 1). При обработке цилиндрической или конической поверхностей деталей (рис. 1,а) реализуется схема резания с главным вращательным движением резания  $D_r$ , сообщаемым инструменту 1, поступательным (вдоль оси главного вращательного движения) движением подачи  $D_{S1}$  также сообщаемым инструменту и круговым движением подачи  $D_{S2}$ , сообщаемым заготовке 2. Так реализуется схема осевой обработки (зенкерования) или плунжерного фрезерования. При этом за счет двух вращательных и поступательного движений, применения многолезвийного режущего инструмента обеспечивается касательное движение режущей кромки, увеличение его линейной скорости и, как следствие, повышение производительности и качества обработки.

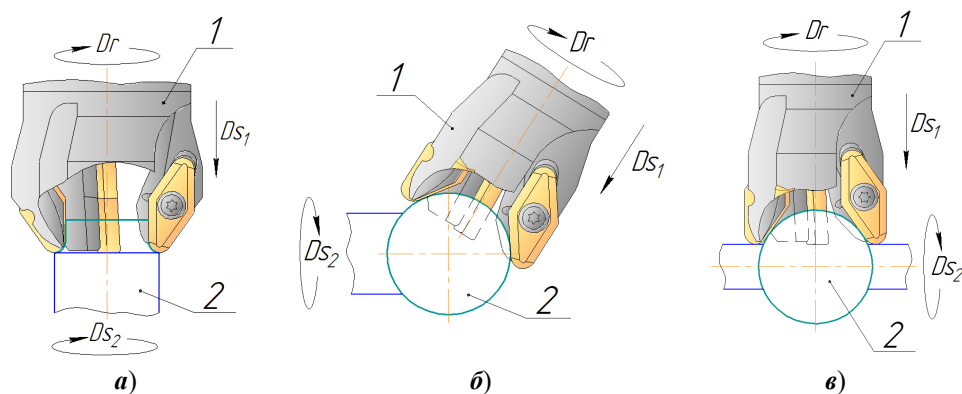


Рис. 1. Схемы обработки охватывающими фрезами (зенкерами) поверхностей:  
а – цилиндрической или конической; б, в – неполной сферической

При обработке неполных сферических поверхностей деталей (рис. 1,б,в) реализуются схемы плунжерного фрезерования, при которых одно из движений подачи  $D_{S2}$  направлено под углом или перпендикулярно к оси главного

вращательного движения  $D_r$ . Результирующая скорость резания равна скорости касательного движения. За счет высокой скорости вращательного движения  $D_r$  (порядка 10–20 м/с) обеспечивается как режим резания, так и режим выглаживания сферической поверхности с параметрами шероховатости, сопоставимыми со шлифованными поверхностями. Выглаживание поверхности обеспечивается уменьшением значений углов в плане и заднего угла, которые могут принимать нулевые значения, за счет существенного увеличения скорости касательного движения.

При обработке плоских поверхностей деталей, например уступов, полостей и т.п. (рис. 2, *a, б*), реализуется схема резания с главным вращательным движением  $D_r$  и двумя поступательными движениями подачи  $D_{S1}$  и  $D_{S2}$ , что обеспечивает врезание фрезы по касательной с результирующей скоростью резания, равной скорости касательного движения.

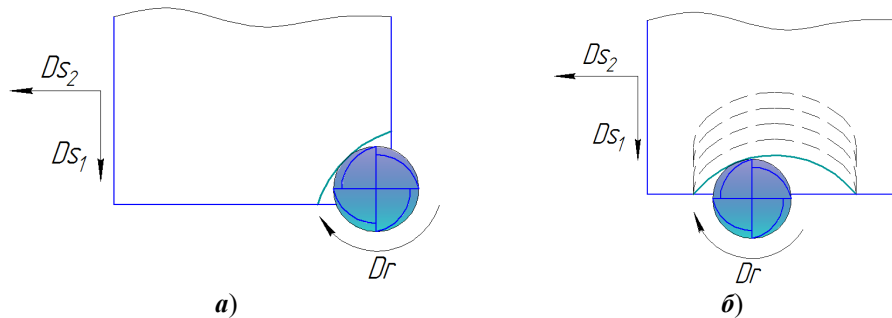


Рис. 2. Схемы обработки с врезанием фрезы по дуге:  
*a* – уступа; *б* – полукрытой полости

Реализация трехэлементных кинематических схем с обработкой поверхностей по касательной, отличающихся или двумя поступательными движениями подачи  $D_{S1}$  и  $D_{S2}$  (рис. 3, *a*), или одним поступательным  $D_{S1}$  и одним вращательным  $D_{S2}$  (рис. 3, *б*) движениями подачи, представлена на рис. 3. При этом формируются как плоская, так и цилиндрическая поверхности детали высокого качества.

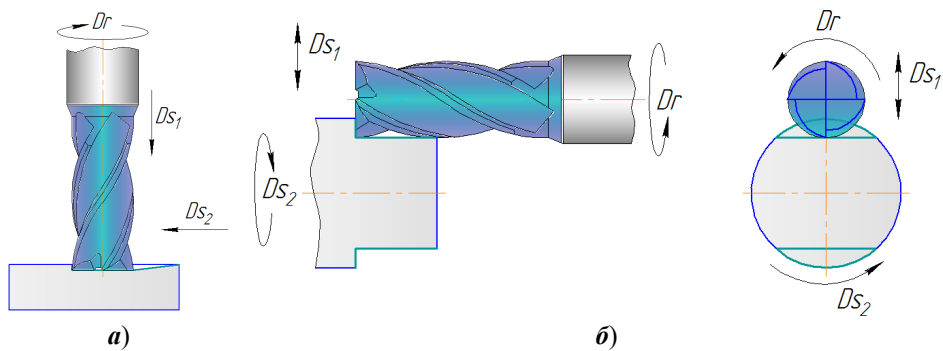


Рис. 3. Схемы обработки с врезанием фрезы по касательной: *a* – плоской поверхности детали; *б* – плоской и цилиндрической поверхностями детали

Каждая из рассмотренных схем обработки может быть представлена трехэлементными кинематическими схемами резания (рис. 4).

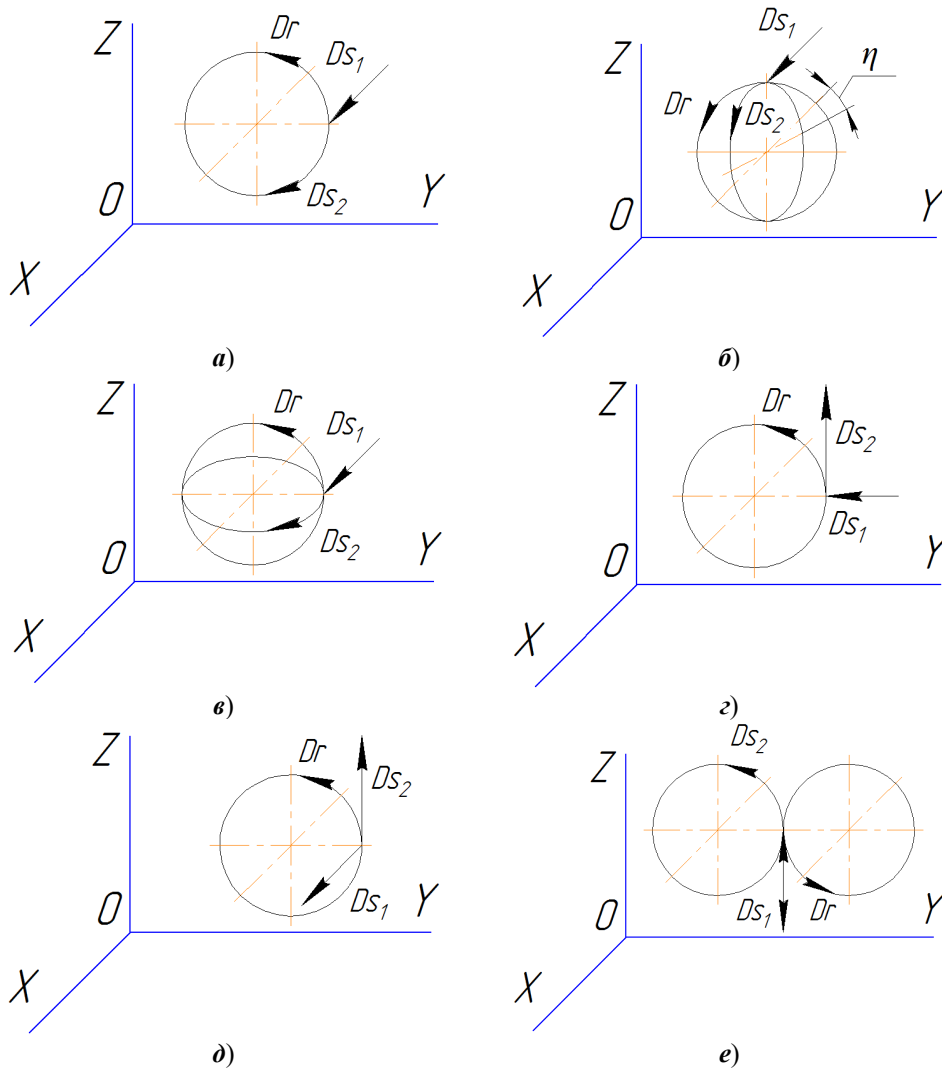


Рис. 4. Кинематические схемы резания: **а** – обработка охватывающими фрезами (зенкерами) цилиндрической или конической поверхности; **б, в** – обработка охватывающими фрезами (зенкерами) неполной сферической поверхности; **г** – обработка с врезанием фрезы по дуге уступа или полузакрытой полости; **д** – обработка с врезанием фрезы по касательной плоской поверхности детали; **е** – обработка с врезанием фрезы по касательной плоской и цилиндрической поверхностями детали

В отличие от кинематических схем профессора Г. И. Грановского и обобщенной кинематической схемы пятиэлементных движений резания [2], в представленных кинематических схемах на рис. 4, **а–в** уточнен тип режущего инструмента, который является охватывающим, и, соответственно, траектория вращательного движения подачи изображена внутри траектории главного вращательного движения в виде окружностей (рис. 4, **а**), а в случае расположения оси главного вращательного движения под углом (рис. 4, **б**) или перпендикулярно (рис. 4, **в**) направлению вращательного движения подачи – в виде эллипса. Данные схемы позволяют определить направление векторов

скоростей составляющих движений и результирующего движения резания, при необходимости производить расчет их значений, а также представить траекторию перемещений инструмента и заготовки, что важно при разработке управляющих программ для станков с ЧПУ.

Как известно [5], при получении поверхностей деталей на станках с ЧПУ производится интерполяция траекторий резания прямолинейными перемещениями по осям  $X$  и  $Y$  (рис. 5).

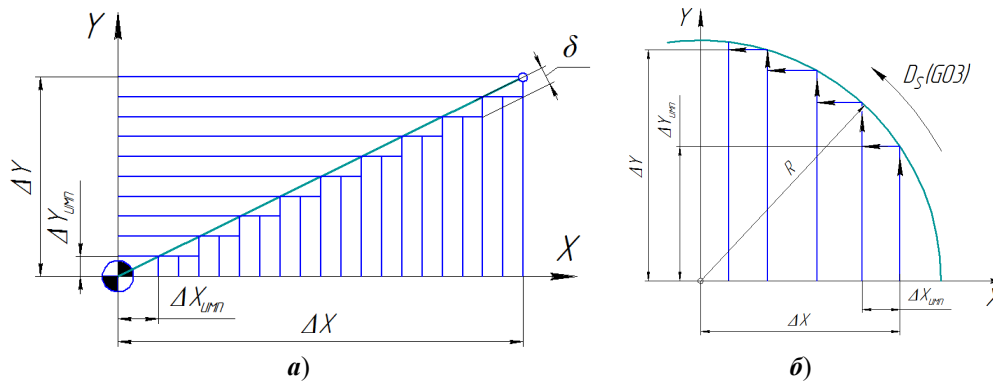


Рис. 5. Варианты реализации линейной (а) и круговой (б) интерполяции на станках с ЧПУ

Перемещение инструмента по заданной траектории резания осуществляется приближенно, путем включения подачи попеременно – то вдоль одной, то вдоль другой оси. При этом интерполятор системы управления непрерывно оценивает отклонения от заданной траектории и стремится свести эти отклонения к минимуму. Значения отклонений равны или кратны цене одного управляющего импульса ( $\Delta X_{\text{имп}}$ ,  $\Delta Y_{\text{имп}}$ ), формируемого датчиком обратной связи. Например, прямая наклонная линия может формироваться попеременной подачей на приводы импульсов в такой последовательности: один импульс по оси  $Y$  и два импульса по оси  $X$  (рис. 5,а). Поскольку в современных станках наиболее часто цена импульса принимается равной 0,001 мм, то перемещение между двумя соседними опорными точками практически можно рассматривать как плавное. Интерполяция может быть также круговой (рис. 5,б), с помощью полиномов второй и высших степеней и др. Круговая интерполяция также предусматривает попеременное включение приводов, но при этом величина перемещений по осям не является равномерной по величине. При круговой интерполяции начало системы координат совмещается с центром окружности радиуса  $R$ . Интерполятор направляет импульсы  $\Delta X_{\text{имп}}$  и  $\Delta Y_{\text{имп}}$  в привод подачи то по оси  $X$ , то по оси  $Y$ . Помимо расчета количества импульсов для подачи в систему приводов той или иной оси, интерполятор обеспечивает и выдачу этого количества для управления. Современные станки с ЧПУ, как правило, имеют линейно-круговые интерполяторы.

При шаге перемещений 0,01–0,02 мм и при большом количестве кадров дискретность отсчета перемещений рабочего органа может составлять 0,07 нм, или  $7 \times 10^{-8}$  мм. Максимальную подачу, которую способна обеспечить конкретная система ЧПУ, можно определить по формуле

$$F_{\max} = \frac{\text{длина перемещения в кадре}}{\text{время обработки кадра}} \times 60.$$

Следовательно, при перемещениях 0,01 мм и времени обработки кадра 2 мс максимальная подача ограничена значением 0,3 м/мин. При этом система ЧПУ должна иметь возможность просматривать данные как минимум на 100–200 блоков в минуту вперед для обеспечения непрерывного движения инструмента.

Если принять значения результирующей скорости резания равной 100 м/мин и угол наклона режущей кромки фрезы равным  $45^\circ$ , то значение линейной скорости касательного движения будет равно 70 м/мин. Так как линейная скорость касательного движения в несколько сот раз больше скорости подачи в кадре, то подачей в кадре с точки зрения формирования криволинейной поверхности детали можно пренебречь. Также можно пренебречь влиянием величины прямолинейных перемещений в кадре или шагом интерполяции 0,01–0,02 мм. Так как, например, при подаче фрезы равной 0,1 мм/об и угле в плане режущего инструмента равном  $90^\circ$  толщина срезаемого слоя будет равна 0,1 мм. То есть толщина срезаемого слоя в десятки раз больше шага интерполяции и выполняется еще одно условие выбора значения подачи, при котором оно должно изменяться обратно пропорционально объему удаляемого материала для сохранения постоянной нагрузки на инструмент. При рекомендованном [5] соблюдении соотношения глубины резания (ширины срезаемого слоя) и подачи (толщины срезаемого слоя) не более 0,2 и высокой скорости резания (порядка 600 м/мин) обеспечивается получение поверхности с шероховатостью по параметру  $Ra$  1,6–3,2 мкм сопоставимому со шлифованными поверхностями.

Рассмотрим частный случай обработки плоской поверхности (рис. 6,а,б) на токарном станке с ЧПУ модели EMCO S45, при котором линейная интерполяция (рис. 6,з) осуществляется путем совмещения прямолинейного перемещения инструмента вдоль оси  $X$  и кругового движения (подворота) детали относительно своего геометрического центра (рис. 6,в,з). Инструмент 2 (рис. 6,а,б) снимает припуск по ширине  $a_e$  и глубине резания  $a_p$  «послойно» до получения номинальной плоской поверхности длиной  $l_{л}$ . Количество необходимых проходов выбирается с учетом диаметра режущего инструмента и задается системе ЧПУ, которая затем рассчитывает и реализует обработку плоской поверхности на станке с промежуточными значениями ширины резания  $a_{ei}$  и длины плоской поверхности  $l_{ли}$ .

Круговое движение детали в процессе резания имеет равный шаг подворота (равный угол подворота), в отличие от прямолинейного перемещения инструмента, при котором по мере приближения инструмента к геометрическому центру детали (середине обрабатываемой плоской поверхности) величины его проходов изменяются. Эти разные величины проходов можно определить по теореме синусов.

При врезании инструмента (рис. 7) обрабатываемая поверхность расположена под углом  $\alpha_1$  к оси  $Y$ . Соединив концы проекции обрабатываемой поверхности параллельными линиями вдоль геометрических осей детали, получим прямоугольный треугольник с катетами  $\Delta X_1$  и  $\Delta Y_1$  и гипотенузой  $l_{л1}$ , в котором длина катета  $\Delta X_1 = l_{л1} \cdot \sin \alpha_1$ . При дальнейшем перемещении ин-

струмента вдоль оси  $X$  обрабатываемая поверхность подвернется на некоторый угол и достигнет значения угла  $\alpha_2$  к оси  $Y$ , где  $\alpha_2 < \alpha_1$ . Также соединив концы проекции обрабатываемой поверхности параллельными линиями вдоль геометрических осей детали, получим другой прямоугольный треугольник с катетами  $\Delta X_2$  и  $\Delta Y_2$  и гипотенузой  $l_{л2}$ , в котором длина катета  $\Delta X_2 = l_{л2} \cdot \sin \alpha_2$ . Так как в процессе резания получаем плоскую поверхность, которая на различных углах подворота детали будет одинаковой, то можно утверждать, что  $l_{л1} = l_{л2} = l_{л3}$ . Следовательно через синус угла можно найти катеты прямоугольных треугольников  $\Delta X_1$  и  $\Delta X_2$ . Отсюда получаем, что  $\Delta X_2 = l_{л2} \cdot \sin \alpha_2 < \Delta X_1 = l_{л1} \cdot \sin \alpha_1$ .

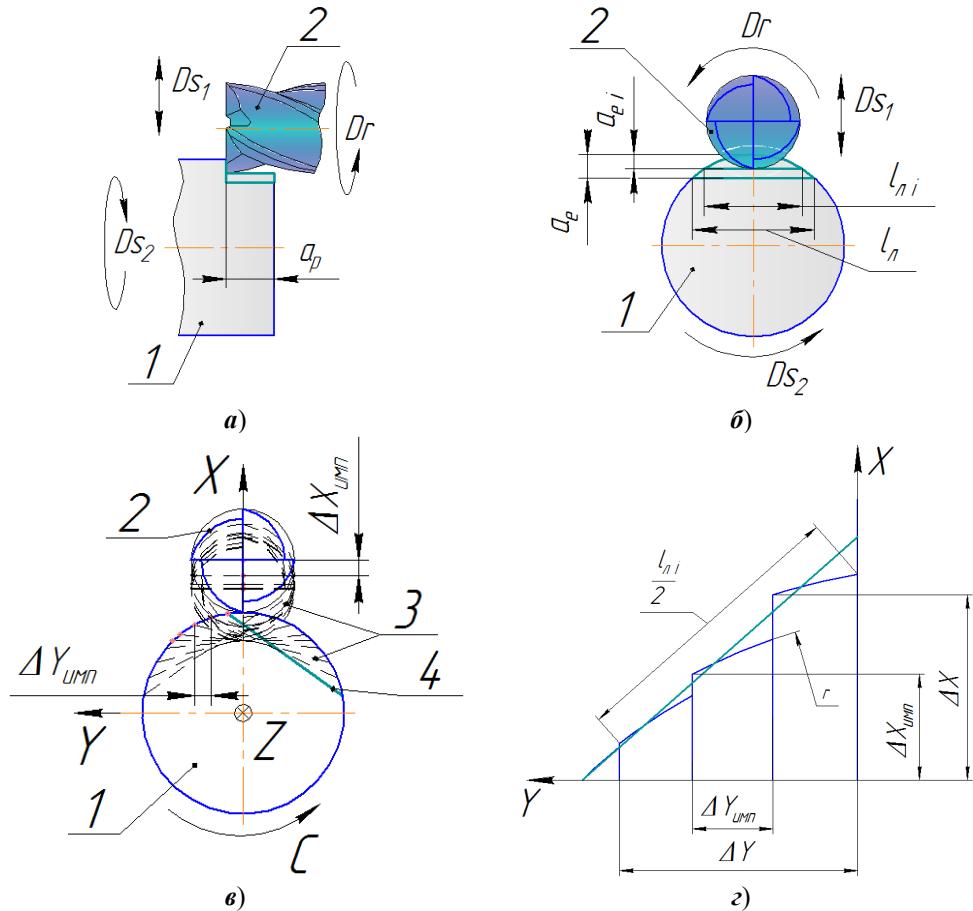


Рис. 6. Схемы обработки (а, б) и формирования плоской поверхности (в) с реализацией линейной интерполяции (z) на токарном станке с ЧПУ модели EMCO S45: 1 – деталь; 2 – инструмент; 3 – промежуточные положения детали и инструмента; 4 – номинальная плоская поверхность

Следует отметить, что при каждом последующем подвороте детали угол наклона обрабатываемой поверхности  $\alpha \rightarrow 0$ , а значит, каждое последующее перемещение инструмента  $\Delta X \rightarrow 0$  до того момента, пока угол наклона обрабатываемой поверхности не начнет увеличиваться, а следовательно, начнет увеличиваться и прямолинейное перемещение инструмента.



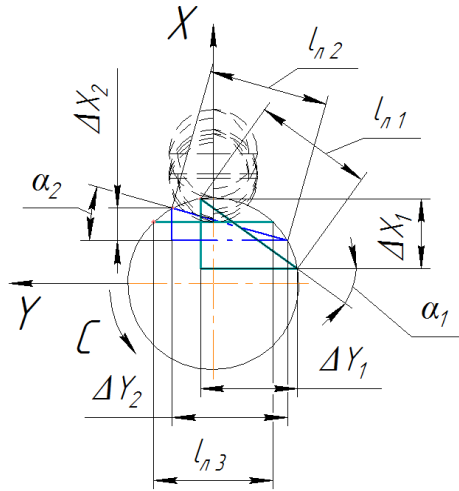


Рис. 7. Схема для расчета обработки плоской поверхности на токарном станке с ЧПУ модели EMCO S45

Расчетно-технологическая карта обработки плоской поверхности детали (см. рис. 6,а) иллюстрируется рис. 8.

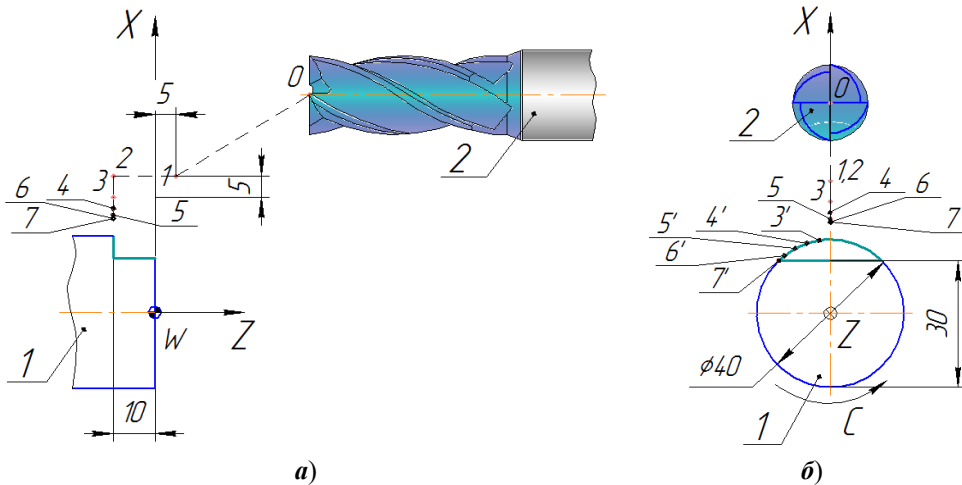


Рис. 8. Расчетно-технологическая карта обработки плоской поверхности детали:  
а – главный вид; б – вид сбоку; 1 – деталь; 2 – инструмент

Приняты следующие условия реализации технологии:

- Станок токарный с ЧПУ модели EMCO S45;
- Материал заготовки: сталь 40Х ГОСТ 4543;
- Режущий инструмент: концевая фреза Guhring #19978 12 WNR-N (Ø 12 мм);
- Материал инструмента: твердый сплав VHM;
- Число зубьев: 4;
- Угол наклона лезвия фрезы,  $\lambda^\circ$ : 30°;
- Режимы резания:
  - скорость резания,  $v$  – 160 м/мин;
  - ширина резания,  $a_{ei}$  – 0,5 мм;

- глубина резания,  $a_p = 10$  мм;
- подача,  $f_z = 0,05$  мм/зуб.

При обработке плоской поверхности детали (см. рис. 8) перемещение инструмента 2 осуществляется с точки «0» на ускоренном ходу в точку «1» одновременно по двум координатным осям  $X$  и  $Z$ . После этого происходит «поворот» детали 1 по направлению оси  $C$  (вокруг оси  $Z$ ) до точки начала формирования плоской поверхности и затем инструмент 2 на рабочем ходу достигает точки «2» – устанавливается на заданную глубину резания  $a_p$ . Далее происходит одновременное синхронное движение детали 1 и инструмента 2 на рабочем ходу, где деталь и инструмент занимают промежуточные положения, характеризуемые точками «3'-7'» и «3-7» соответственно, в результате формируется плоская поверхность детали. После этого инструмент 2 на ускоренном ходу вначале выходит в точку «1» параллельно оси  $Z$ , а затем одновременно по двум осям  $X$  и  $Z$  занимает исходную точку «0».

### Заключение

Анализ схем обработки различных поверхностей деталей с касательным движением режущих инструментов позволяет выбрать рациональную кинематическую схему резания, обеспечивающую повышение производительности и качество формирования номинальной поверхности детали.

Рассмотрены частные случаи обработки поверхностей деталей на станках с ЧПУ с дискретным перемещением режущего инструмента и детали, особенностью которых является формирование плоской поверхности детали путем совмещения прямолинейного перемещения инструмента вдоль одной оси и кругового движения (поворота) детали относительно другой оси, что обеспечивает получение реальных поверхностей детали в пределах заданных параметров точности и шероховатости.

Предложена расчетно-технологическая карта формирования плоской поверхности детали на токарном станке с ЧПУ модели EMCO S45 с рекомендованными условиями реализации данной технологии, позволяющие повысить качество получаемой номинальной поверхности по параметру  $R_a$  в пределах 1,6–3,2 мкм.

### Список литературы

1. Русецкий А. М., Витязь П. А., Хейфец М. Л. [и др.]. Конструирование и оснащение технологических комплексов : монография / под общ. ред. А. М. Русецкого. Минск : Беларуская наука, 2014. 315 с.
2. Попок Н. Н. Методология исследования процесса резания материалов в современных условиях развития машиностроения // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В. Промышленность. Прикладные науки. 2019. № 3. С. 21–30.
3. Попок Н. Н., Анисимов В. С. Кинематика обработки поверхностей деталей вращающимся режущим инструментом с касательным движением режущей кромки // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В. Промышленность. Прикладные науки. 2019. № 11. С. 31–38.
4. Попок Н. Н., Анисимов В. С. Деформация и стружкообразование при обработке плоских и криволинейных поверхностей деталей вращающимся режущим инструментом на токарных и фрезерных станках с ЧПУ // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В. Промышленность. Прикладные науки. 2020. № 3. С. 28–34.

5. Звонцов И. Ф., Иванов К. М., Серебrenицкий П. П. Разработка управляющих программ для оборудования с ЧПУ : учеб. пособие. СПб. : Лань, 2017. 588 с.

### References

1. Rusetskiy A.M., Vityaz' P.A., Kheyfets M.L. et al. *Konstruirovaniye i osnashcheniye tekhnologicheskikh kompleksov: monografiya = Design and equipment of technological complexes: monograph*. Ed. by A.M. Rusetskiy. Minsk: Belarusskaya nauka, 2014:315. (In Russ.)
2. Popok N.N. Methodology for studying the process of cutting materials in modern conditions of mechanical engineering development. *Vestnik Polotskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya V. Promyshlennost'. Prikladnye nauki = Bulletin of Polotsk State University. Series 5. Industry. Applied sciences*. 2019;(3):21–30. (In Russ.)
3. Popok N.N., Anisimov V.S. Kinematics of machining the surfaces of parts using a rotating cutting tool with tangential movement of the cutting edge. *Vestnik Polotskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya V. Promyshlennost'. Prikladnye nauki = Bulletin of Polotsk State University. Series 5. Industry. Applied sciences*. 2019;(11):31–38. (In Russ.)
4. Popok N.N., Anisimov V.S. Deformation and chip formation when processing flat and curved surfaces of parts with a rotating cutting tool on CNC lathes and milling machines. *Vestnik Polotskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya V. Promyshlennost'. Prikladnye nauki = Bulletin of Polotsk State University. Series 5. Industry. Applied sciences*. 2020;(3):28–34. (In Russ.)
5. Zvontsov I.F., Ivanov K.M., Serebrenitskiy P.P. *Razrabotka upravlyayushchikh programm dlya oborudovaniya s ChPU: ucheb. posobie = Development of control programs for CNC equipment: textbook*. Saint Petersburg: Lan', 2017:588. (In Russ.)

### Информация об авторах / Information about the authors

#### **Николай Николаевич Попок**

доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии и оборудования машиностроительного производства, Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой (Республика Беларусь, г. Новополоцк, ул. Блохина, 29)

E-mail: n.popok@psu.by

#### **Nikolay N. Popok**

Doctor of engineering sciences, professor, head of the sub-department of technology and equipment of machine-building production, Euphrosyne Polotskaya State University of Polotsk (29 Blokhina street, Novopolotsk, Republic of Belarus)

#### **Виталий Сергеевич Анисимов**

инженер-исследователь, заведующий лабораториями кафедры технологии и оборудования машиностроительного производства, Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой (Республика Беларусь, г. Новополоцк, ул. Блохина, 29)

E-mail: v.anisimov@psu.by

#### **Vitaliy S. Anisimov**

Research engineer, head of the laboratories of the sub-department of technology and equipment of machine-building production, Euphrosyne Polotskaya State University of Polotsk (29 Blokhina street, Novopolotsk, Republic of Belarus)

**Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The authors declare no conflicts of interests.**

**Поступила в редакцию / Received 20.06.2023**

**Поступила после рецензирования и доработки / Revised 17.08.2023**

**Принята к публикации / Accepted 02.10.2023**