

УДК 621.91.04

**АНАЛИЗ И РЕАЛИЗАЦИЯ СХЕМ ПОЛИГОНАЛЬНОГО ТОЧЕНИЯ  
МНОГОГРАННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ****А.А. ДАНИЛОВ***(Белорусский национальный технический университет, Минск)*

*Рассматриваются задачи проектирования и реализации операции полигонального точения многогранных поверхностей резцовыми головками внешнего касания по встречной схеме резания. На основе математической модели схемы профилирования показано влияние ее кинематических и геометрических параметров на формируемый профиль, определены условия совместного выполнения процессов формообразования и деления при полигональном точении многогранных поверхностей. Проанализированы технологические возможности этого метода обработки, показано влияние последовательности формирования граней на их профиль и конструкцию инструментами. Изложены рекомендации по определению рациональных значений настраиваемых геометрических и кинематических параметров схемы полигонального точения с учетом требований к точности формообразования граней и допускаемому изменению рабочих углов режущих зубьев. Рассмотрены станки и инструменты для реализации схемы полигонального точения многогранных поверхностей по встречной схеме резания, пути повышения их универсальности.*

**Ключевые слова:** многогранные поверхности, полигональное точение, технологические возможности, станки и инструменты.

**Введение.** Детали с многогранными поверхностями призматической и пирамидальной формы широко применяются в изделиях различного назначения для передачи крутящего момента как при выполнении сборочно-разборочных операций (детали типа гаек, штуцеров и др.), так и между деталями профильных моментопередающих соединений в трансмиссиях машин и механизмов. У деталей пирамидальной формы (ручки, наконечники и т.п.) такие поверхности обычно выполняют декоративную функцию. По длине грани могут иметь плоскую или винтовую форму.

По классической технологии многогранные поверхности указанных типов деталей обрабатывают фрезерованием с периодическим поворотом заготовки на угол между гранями после обработки каждой грани, что усложняет цикл изготовления детали, требует применения специального делительного устройства и отрицательно влияет на производительность из-за последовательного выполнения процессов формообразования и деления. Альтернативным фрезерованию выступает полигональное точение многогранных поверхностей, преимуществом которого является одновременное выполнение процессов профилирования и деления, благодаря чему повышается производительность обработки. Профилирование поверхностей с криволинейным профилем граней полигональным точением по сравнению с методом интерполяции посредством ЧПУ обеспечивает более высокую точность формообразования и проще в реализации. В этой связи актуальны исследования и практические разработки, направленные на расширение применения метода полигонального точения в машиностроении, создание соответствующих средств технологического оснащения. В рамках данной статьи изложены результаты исследований по этой проблеме, связанные с проектированием и реализацией операции полигонального точения многогранных поверхностей.

**Задачи анализа и моделирование схем полигонального точения многогранных поверхностей.** Полигональное точение основано на профилировании формируемой поверхности методом следа сложным исполнительным движением резания  $\Phi_v(B_1B_2)$ , образованным согласованными вращательными движениями  $B_1$  и  $B_2$  режущего элемента вокруг параллельных осей  $L_1$  и  $L_2$  (рис. 1) относительно неподвижной заготовки. Возможные схемы полигонального точения различаются типом режущего инструмента (внешнего или внутреннего касания), распределением вращательных движений между инструментом и заготовкой, соотношением направлений этих движений и расстоянием  $l$  между их осями, которое настраивается по формуле

$$l = r \pm R, \quad (1)$$

где знак «+» (знак «-») соответствует встречной (попутной) схеме резания;  $r$  – радиус окружности, вписанной в многогранную поверхность;  $R$  – радиус резцовой головки.

При решении задач проектирования и реализации операции полигонального точения практическое значение имеет анализ его технологических возможностей с точки зрения управления макрогеометрией формируемой многогранной поверхности [1], а также точности формообразования, изменения рабочих

углов режущей части инструмента в зависимости от параметров схемы обработки и др. Это связано с аналитическим описанием и исследованием схемы профилирования поверхности.

Рассмотрим эти задачи для более простой в реализации встречной схемы полигонального точения, реализация которой возможна: на универсальных многооперационных токарных станках и токарно-фрезерных станках при наличии у них инструментального шпинделя, функционально связанного со шпинделем заготовки; на широкоуниверсальном зубошлифозерном станке модели ВС50 Витебского станкостроительного завода «Вистан»; на станках-профиляторах фирмы «Wega» (Германия); на специализированных станках для полигонального точения, в частности фирмы Fastcut; на модернизированных токарных и других станках различного технологического назначения.

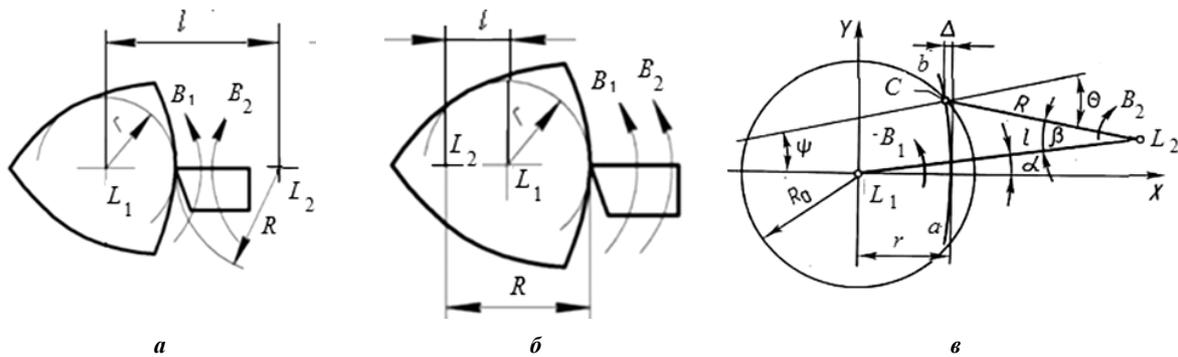


Рисунок 1. – Принципиальные схемы полигонального точения многогранных поверхностей при встречном (а) и попутном (б) резании и схема профилирования граней (в)

Известные в литературе рекомендации по заданию параметров полигонального точения относятся преимущественно к обработке многогранников с четным числом граней при отношении угловых скоростей инструмента и заготовки, равном 2.

Учитывая, что двумя согласованными вращениями может формироваться множество различных траекторий исполнительного движения и соответственно профилей многогранных поверхностей [2], целесообразно проводить анализ схем полигонального точения на основе математического моделирования, позволяющего определить параметры, необходимые для обработки поверхностей с различным профилем граней.

В общем случае траектория  $ab$  движения профилирования при полигональном точении многогранной поверхности по встречной схеме резания описывается в соответствии с рисунком 1, в относительно неподвижной заготовки системой уравнений:

$$\begin{cases} x = l \cos \alpha - R \cos \alpha(i-1), \\ y = l \sin \alpha + R \sin \alpha(i-1), \end{cases} \quad (2)$$

где  $i = \beta/\alpha$  – отношение частот вращательных движений резцовой головки и заготовки;  $\beta(\alpha)$  – угол поворота инструмента (заготовки).

Уравнения (2) задают множество циклоидальных кривых, которыми в зависимости от значения параметра  $i$  могут быть: окружность ( $i = 1$ ), эллипс ( $i = 2$ ) и другие линии.

Таким образом, параметром, определяющим тип контурной кривой, формирующей профиль граней поверхности при полигональном точении, является отношение  $i$  частот вращательных движений инструмента и заготовки. Изменение других параметров схемы обработки позволяет модифицировать (корректировать) профиль формируемых граней, например, управлять его кривизной, не изменяя тип контурной кривой. Множество возможных значений параметра  $i$  ограничено тем, что его реализуемое значение одновременно с формированием требуемого профиля должно обеспечивать получение заданного числа конгруэнтных, равномерно расположенных по окружности граней обработанной поверхности, так как процессы формообразования и деления при полигональном точении осуществляются одновременно.

Одновременное выполнение этих процессов при кинематическом профилировании поверхности с  $m$  гранями резцовой головкой, оснащенной  $z$  резцами, возможно при выполнении условия [1]:

$$i = m/pz, \quad (3)$$

где  $p$  – целое число, задающее последовательность обработки граней: при  $p = 1$  грани формируются последовательно, при  $p = 2$  – через одну, при  $p = 3$  – через две и т.д.

Условие (3) является исходным для определения числа  $z$  резцов режущего инструмента при проектировании операции полигонального точения.

**Анализ и обеспечение технологических возможностей полигонального точения многогранных поверхностей.** Технологические возможности полигонального точения по форме обрабатываемых многогранных поверхностей определяются параметрами схемы профилирования и схемы формообразования поверхности по длине, поэтому для их обеспечения конструкции станка и режущего инструмента должны обеспечивать настройку этих параметров с требуемой точностью.

Из уравнений (2) следует, что профиль отдельной грани зависит от следующих параметров: кинематического  $i$  и геометрических  $r, R, l$ . Профиль всей поверхности, определяемый количеством и формой граней, зависит от числа режущих элементов (рис. 2). Например, при  $i = 1$  формируется грань, очерченная по окружности, при этом количество граней  $m$  обработанной поверхности равно числу режущих элементов  $z$  резцовой головки. При  $i = 2$  на заготовке одним режущим элементом формируются две диаметрально противоположно расположенные грани, которые при определенном соотношении параметров  $r$  и  $R$  несущественно отличаются от плоских, что при оснащении инструмента определенным количеством  $z$  режущих элементов позволяет обрабатывать поверхности с четным числом граней:  $m = 4, m = 6, m = 8$  и т.д. соответственно при  $z = 2, z = 3, z = 4$  и т.д. При  $i < 2$  обработанная поверхность имеет выпуклые, а при  $i > 2$  – вогнутые грани независимо от числа режущих элементов.

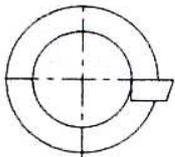
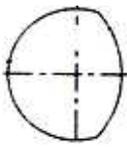
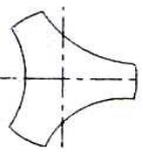
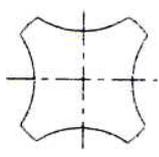
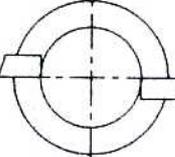
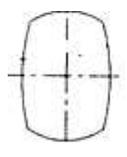
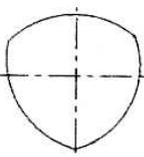
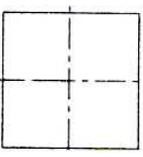
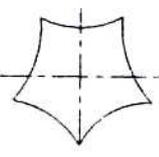
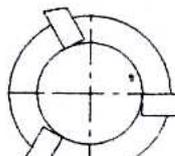
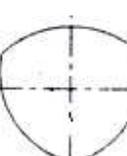
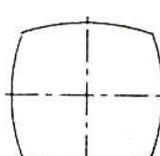
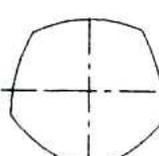
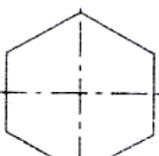
Тип инструмента	Профиль обработанной поверхности в зависимости от параметров $i$ и $z$			
$z = 1$ 	$i = 1$ 	$i = 2$ 	$i = 3$ 	$i = 4$ 
$z = 2$ 	$i = 1$ 	$i = 3/2$ 	$i = 2$ 	$i = 5/2$ 
$z = 3$ 	$i = 1$ 	$i = 4/3$ 	$i = 5/3$ 	$i = 2$ 

Рисунок 2. – Технологические возможности полигонального точения по форме обработанных многогранных поверхностей

Следует отметить, что в некоторых станках, реализующих функцию полигонального точения, не предусмотрен орган настройки параметра  $i$ . Конструктивным исполнением кинематической цепи между инструментом и заготовкой обеспечивается его значение, равное двум, что ограничивает технологические возможности таких станков обработкой только многогранных деталей с четным числом граней, спрофилированных по эллипсу.

Для расширения технологических возможностей станка по форме обрабатываемых поверхностей указанная кинематическая цепь должна содержать орган настройки отношения частот вращения инструмента и заготовки в зависимости от профиля обрабатываемых граней. Конструктивно эта цепь может быть механического, электромеханического или мехатронного типов [3]. Кинематические цепи первого и второго типов снабжают механическими органами настройки, например, в виде гитары сменных зубчатых колес, а цепи мехатронного типа, характерные для станков с ЧПУ, оснащают соответствующим электронным органом настройки отношения частот вращательных движений шпинделей, несущих режущий инструмент и заготовку.

Настраиваемое значение  $i$  должно соответствовать формируемому профилю и условию (3).

Изменением последовательности формирования граней поверхности (значения параметра  $p$ ) можно существенно расширить множество возможных схем полигонального точения поверхности с заданным числом граней  $m$  и их профилем, определяемым уравнениями (2) при требуемом значении  $i$ .

Рассмотрим это на примере обработки трехгранной поверхности ( $m = 3$ ) с выпуклыми гранями, профиль которых описывается уравнениями (2) при  $i = 3/4$  (рис. 3). Для указанных исходных данных условие (3) выполняется, когда  $pz = 4$ , что возможно в трех случаях:

- 1)  $p = 1$  (рис. 2, а) – грани обрабатываются в последовательности  $a-b-c-a-b-c$  и т.д. резцовой головкой, имеющей 4 равномерно расположенных по окружности резца ( $z = 4$ );
- 2)  $p = 2$  (рис. 2, б) – грани обрабатываются через одну в последовательности  $a-c-b-a-c-b$  и т.д. резцовой головкой с двумя диаметрально противоположно расположенными резцами ( $z = 2$ );
- 3)  $p = 4$  (рис. 2, в) – грани обрабатываются через три в последовательности  $a-b-c-a-b-c$  и т.д. односторонней резцовой головкой ( $z = 1$ ).

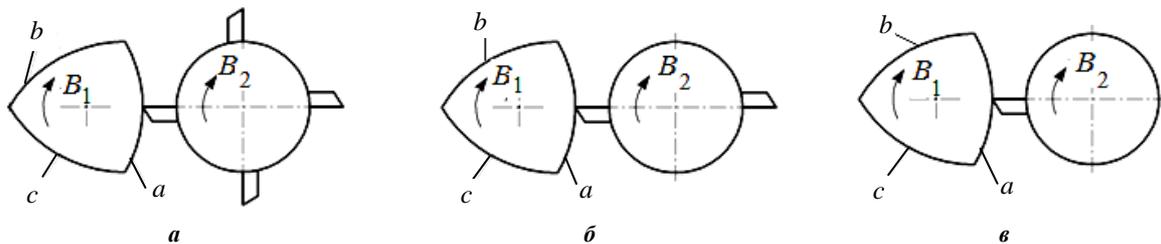


Рисунок 3. – Схемы полигонального точения трехгранной поверхности при различной последовательности формирования граней при  $p = 1$  (а); при  $p = 2$  (б); при  $p = 4$  (в)

Разница в последовательности формирования граней по первому и третьему вариантам заключается в следующем: если в первом случае за время одного оборота заготовки режущий инструмент контактирует со всеми тремя гранями  $a$ ,  $b$  и  $c$ , то в третьем случае за первый оборот резец формирует только одну грань, а со следующей гранью он вступает в контакт через 3 оборота заготовки. По этой причине производительность обработки по первой схеме выше, чем по второй и третьей схемам.

Рассмотренный пример показывает, что, изменяя последовательность обработки граней, один и тот же профиль многогранной поверхности ( $i = \text{const}$  во всех вариантах) можно обрабатывать резцовыми головками с различным числом резцов, что упрощает реализацию технологии полигонального точения за счет унификации резцовых головок.

Как следует из зависимости (3), каждой из возможных последовательностей формирования граней инструментом с заданным числом режущих зубьев  $z$  соответствует определенное значение величины  $i$ , а следовательно и соответствующая форма их профиля. Поэтому изменение последовательности формирования граней позволяет одним инструментом обрабатывать разные по форме многогранные поверхности, что обеспечивает его универсальность и широкие технологические возможности станка. Рассмотрим это на примере обработки пятигранной поверхности ( $m = 5$ ) однорезцовой головкой ( $z = 1$ ) для возможных последовательностей формирования граней:  $a, b, c, d, e, a, b$  и т.д. (при  $p = 1$ );  $a, c, e, b, d, a, c, e$  ( $p = 2$ );  $a, d, b, e, c, a, d$  и т.д. ( $p = 3$ );  $a, e, d, c, b, a, e$  ( $p = 4$ ).

Приведенным последовательностям формирования граней согласно зависимости (3) соответствуют следующие значения параметра  $i$ :  $i_1 = 5$ ;  $i_2 = 5/2$ ;  $i_3 = 5/3$ ;  $i_4 = 5/4$ , определяющие профиль граней. Во всех этих случаях траектория движения профилирования описывается системой уравнений (2), имея при  $i_1 = 5$  и  $i_2 = 5/2$  вогнутую, а при  $i_3 = 5/3$  и  $i_4 = 5/4$  – выпуклую форму. Таким образом, изменяя последовательность формирования граней, можно одним инструментом обрабатывать многогранные изделия с различным профилем и тем самым расширить технологические возможности полигонального точения многогранных поверхностей.

**Определение параметров схемы полигонального точения многогранных поверхностей.** Реализация операции полигонального точения многогранной поверхности связана с определением настраиваемых кинематических и геометрических параметров схемы формообразования, к которым относятся:

- отношение  $i$  угловых скоростей режущего инструмента и заготовки, определяющее профиль формируемых граней;
- радиус  $r$  вписанной в профиль окружности;
- радиус  $R$  и количество  $z$  режущих элементов резцовой головки;
- расстояния  $l$  между осями заготовки и резцовой головки.

Кроме этих параметров для выполнения операции полигонального точения требуется задать частоту вращения заготовки, направление и скорость движения подачи. Указанные параметры определяются при проектировании операции полигонального точения многогранной поверхности исходя из заданных чертежом формы и числа граней детали, радиуса вписанной в ее профиль окружности.

Задачу определения указанных параметров рассмотрим для встречной схемы резания при полигональном точении многогранных поверхностей резцовой головкой внешнего касания (см. рис. 1, а).

*Определение конструктивных параметров резцовой головки.* Основными конструктивными параметрами резцовой головки являются число режущих элементов  $z$  и радиус  $R$ . Количество  $z$  режущих элементов должно удовлетворять условию (3), чтобы обеспечить в процессе обработки одновременное выполнение процессов формообразования и деления. Поэтому значение  $z$  при проектировании или выборе резцовой головки должно соответствовать условию

$$z = m/ip. \quad (4)$$

Например, если  $m = 4$ ,  $i = 3/4$  и  $p = 1$ , резцовая головка должна иметь 4 режущих элемента (см. рис. 2, а), а при  $m = 4$ ,  $i = 2$  и  $p = 1 - 2$  режущих элемента (полигональное точение четырехгранника). При  $m = 3$ ,  $i = 3/4$  и  $p = 2$  головка имеет 2 резца (см. рис. 2, б) и т.д. Если условие (3) выполняется при различных значениях произведения  $p \cdot z$ , следует принимать более производительный вариант с максимальным значением  $z$ .

Значение  $R$ , как следует из уравнений (2), влияет на форму траектории исполнительного движения, а следовательно, и на профиль граней. За счет радиуса резцовой головки можно корректировать формируемый профиль с целью, например, обработки граней, близких к плоским, путем уменьшения погрешности  $\Delta$  (см. рис. 1, в), обусловленной схемой формообразования. Поэтому при проектировании операции полигонального точения поверхности с заданными числом и профилем граней и радиусом вписанной в профиль окружности необходимо определить радиус резцовой головки, при котором достигается требуемая плоскостность обработанных граней.

Таким образом, обеспечение требуемой точности профилирования граней является первым условием для определения радиуса резцовой головки. Рассмотрим эту задачу.

Погрешность  $\Delta$  схемы формообразования, как следует из рисунка 1, в, зависит от текущего значения угла  $\alpha$  поворота заготовки

$$\Delta = r(1 - \cos \alpha), \quad (5)$$

а ее максимальное значение имеет место в крайних точках профиля грани, в которых

$$\alpha \approx \arcsin \left( \sqrt{R_0^2 - r^2} / (2R + r) \right), \quad (6)$$

где  $R_0$  – радиус окружности, описанной вокруг профиля детали.

Уравнения (5) и (6) позволяют определить радиус  $R$  резцовой головки, при котором неплоскостность  $\Delta$  грани не превышает допускаемое значение  $[\Delta]$ :

$$R \geq \frac{r}{2\sqrt{2}} \left( \sqrt{\frac{r(R_0^2/r^2 - 1)}{[\Delta]} - 1} \right). \quad (7)$$

Настройка величины  $R$  по условию (7) обеспечивает формообразование граней при соблюдении требований к их плоскостности.

При полигональном точении от радиуса резцовой головки зависит также изменение переднего и заднего рабочих (кинематических) углов ее резцов, поэтому обеспечение допускаемого изменения этих углов является вторым условием для определения радиуса резцовой головки.

Текущее изменение  $\theta$  рабочих углов, согласно рисунку 1, в, составляет

$$\theta = \beta - \alpha + \psi,$$

где  $\psi$  – угол между осью абсцисс и нормалью к образуемой линии в рассматриваемой точке.

Поскольку  $\beta = \alpha m / (zp)$ , то

$$\theta = \alpha (m / (zp) - 1) + \psi. \quad (8)$$

При задании кривой в параметрической форме  $\psi = \arctg |x/y|$ , где координаты  $x$  и  $y$  в общем случае полигонального точения описываются уравнениями (2). Тогда

$$\psi = \arctg \left| \frac{l \cos \alpha - R \cos \alpha(i-1)}{l \sin \alpha + R \sin \alpha(i-1)} \right|; \quad (9)$$

$$\theta = \alpha(m/(zp) - 1) + \arctg \left| \frac{l \cos \alpha - R \cos \alpha(i-1)}{l \sin \alpha + R \sin \alpha(i-1)} \right|. \quad (10)$$

Уравнение (10) позволяет рассчитать изменение рабочих углов режущей части для реализуемой схемы полигонального точения. В частности, при  $i = 2$  (обработка граней, близких к плоским)

$$\theta = \alpha(m/(zp) - 1) + \arctg |rctg \alpha / (r + 2R)|. \quad (11)$$

Максимальное значение  $\theta$  имеет место в моменты входа резца в контакт с заготовкой и выхода из нее, когда значение угла  $\alpha$  определяется по уравнению (6) при значении  $R_0$ , равном радиусу заготовки. Так как  $\alpha$  и, следовательно,  $\theta$  зависят от  $R$ , то выражение (11) позволяет при  $\theta = \theta_{max} = [\theta]$ , где  $[\theta]$  – допускаемое изменение рабочих углов, определить минимальный радиус  $R$  резцовой головки, при котором рабочие углы резцов изменяются в допускаемом диапазоне. С учетом расчетного значения  $\theta$  задают углы заточки режущих зубьев резцовой головки.

Для обеспечения требуемой точности формообразования граней при заданных допускаемых значениях их неплоскостности и изменения рабочих углов резцов радиус  $R$  резцовой головки принимается равным большему из его значений, рассчитанных по уравнениям (7) и (11).

По заданному значению радиуса  $r$  вписанной в профиль окружности и расчетному значению радиуса  $R$  резцовой головки по формуле (1) определяется настраиваемое при наладке станка расстояние  $l$  между осями заготовки и резцовой головки.

*Определение частоты вращения заготовки.* Производительность формообразования пропорциональна частоте вращения заготовки  $n_1$ , определяемой исходя из того, что скорость резания  $v$  при полигональном точении по встречной схеме резания равна алгебраической сумме окружных скоростей резцовой головки и заготовки в зоне их контакта.

Для рассматриваемой схемы обработки

$$v = 2\pi R n_2 + 2\pi r n_1. \quad (12)$$

Так как  $n_2 = n_1 i$ , то при заданной скорости резания  $v$  настраиваемая частота вращения заготовки должна соответствовать условию:

$$n_1 \leq \frac{v}{2\pi(Ri + r)}. \quad (13)$$

Формообразование многогранных поверхностей полигональным точением в зависимости от длины детали может выполняться методами продольной и поперечной подач. В первом случае при обработке призматических деталей инструменту сообщается перемещение вдоль оси вращения с подачей, лимитируемой требуемой шероховатостью обработанной поверхности, как при обычном точении. При обработке же пирамидальных деталей движение подачи должно быть направлено под углом к оси вращения заготовки за счет сообщения инструменту относительно нее согласованных продольной и поперечной подач в соответствии с формой граней в продольном направлении, которая может быть как прямолинейной, так и криволинейной. В последнем случае предпочтительны станки для полигонального точения с ЧПУ.

Метод поперечной подачи (врезания) при полигональном точении позволяет обрабатывать относительно узкие открытые, полуоткрытые и закрытые (типа канавок) многогранные поверхности.

Из изложенного следует, что при проектировании операции полигонального точения многогранной поверхности по исходным данным, включающим заданное количество граней, форму их профиля и радиус вписанной в него окружности, необходимо дополнительно к общему алгоритму проектирования операции механической обработки решить следующие задачи:

- установить отношение  $i$  частот вращательных движений режущего инструмента и заготовки, обеспечивающее формирование заданного профиля граней;

- определить число зубьев режущего инструмента, при котором и установленном значении  $i$  обеспечивается формирование требуемого числа граней поверхности;
- определить радиус режущего инструмента, исходя из требуемой точности формообразования граней и допускового изменения рабочих углов его режущих зубьев, а также настраиваемое расстояние между осями инструмента и заготовки;
- определить настраиваемую частоту вращения заготовки с учетом схемы резания (встречная или попутная).

**Станки и инструменты для полигонального точения.** Конструктивной особенностью станков для полигонального точения многогранных поверхностей, исходя из реализуемой схемы обработки, является наличие кроме шпинделя, несущего заготовку, параллельно расположенного и кинематически связанного с ним инструментального шпинделя с соответствующим режущим инструментом. Из отечественных станков этому требованию отвечает широкоуниверсальный зубошлицефрезерный станок модели ВС50 [4], позволяющий обрабатывать многогранные поверхности методом полигонального точения. Для этого он имеет устанавливаемый на суппорте сменный обрабатывающий модуль, шпиндель которого параллелен шпинделю заготовки и может быть снабжен резцовой головкой внешнего касания.

Кинематическая структура этого станка при полигональном точении многогранных поверхностей с плоскими и винтовыми гранями (рис. 4) содержит кинематические группы профилирования и формирования обрабатываемой поверхности по длине.

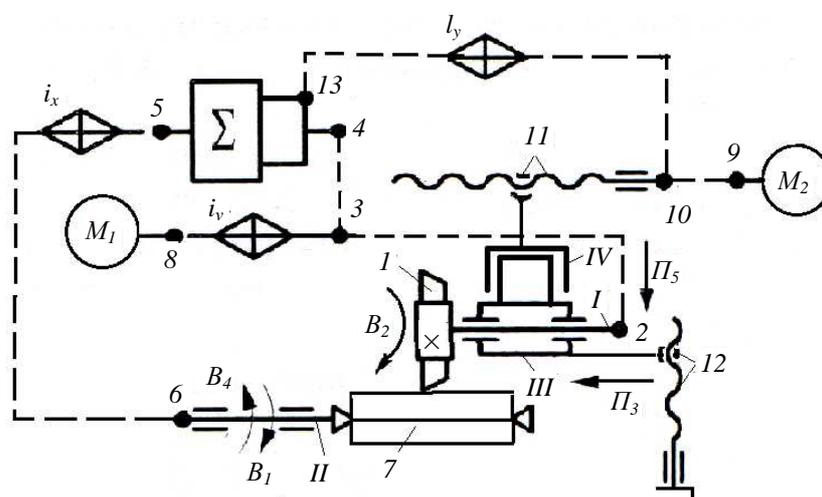


Рисунок 4. – Кинематическая структура станка модели ВС50 при полигональном точении многогранных поверхностей

Кинематическая группа движения профилирования сложная, обеспечивает его настройку на траекторию, скорость и направление.

Инструментальный шпиндель  $I$ , несущий резцовую головку  $I$ , соединен кинематической цепью внутренней связи (цепью профилирования)  $2 - 3 - 4 -$  суммирующий механизм  $\Sigma - 5 -$  гитара деления  $i_x - 6$  со шпинделем  $II$ , несущим заготовку  $7$ . Суммирующий механизм  $\Sigma$  в цепи профилирования служит для сообщения заготовке  $7$  дополнительного вращения  $B_4$  при обработке многогранных поверхностей с винтовыми гранями.

Настройка цепи профилирования производится по известной методике [5] согласно расчетным перемещениям  $1/z$  оборота шпинделя  $I$  соответствует  $p/m$  оборота шпинделя  $II$ , где  $p$  – число, определяющее последовательность формирования граней. Уравнение кинематического баланса цепи профилирования имеет вид:

$$\frac{p}{m} = \frac{1}{z} i_0 i_x,$$

откуда следует формула настройки органа  $i_x$ :

$$i_x = C_x \frac{z_p}{m}, \quad (14)$$

где  $C_x$  – постоянная данной кинематической цепи.

Благодаря наличию в цепи профилирования органа настройки  $i_x$  технологические возможности станка модели BC50 в отношении профиля граней существенно шире по сравнению со специализированными станками для полигонального точения, у которых этот орган настройки отсутствует. Внешняя связь  $8 - i_v - 3$  рассматриваемой кинематической группы обеспечивает настройку органом  $i_v$  скорости движения профилирования. Его направление задается двигателем  $M_1$ .

Для формообразования изделий по длине необходимо прямолинейное  $\Phi_s(P_3)$  или винтовое  $\Phi_s(P_3B_4)$  движение подачи соответственно при обработке многогранных поверхностей с плоскими или винтовыми гранями. Движение  $\Phi_s(P_3)$  создается простой кинематической группой, содержащей регулируемый двигатель  $M_2$ , связанный кинематической цепью 9-10 с тяговым устройством 11. Для создания движения  $\Phi_s(P_3B_4)$  при обработке многогранных поверхностей с винтовыми гранями используется сложная кинематическая группа, внутренняя связь которой 11 - 10 -  $i_y$  - 13 -  $\Sigma$  -  $i_x$  - 6 посредством органа настройки  $i_y$  обеспечивает согласование движений  $P_3$  и  $B_4$  соответственно каретки IV и шпинделя II в соответствии с шагом обработанной поверхности. Расчет настройки этой кинематической цепи производится как для обычной винторезной цепи токарно-винторезного станка. Скорость движения подачи в обоих случаях настраивается регулированием частоты вращения двигателя  $M_2$ . Тяговым устройством 12 создается движение  $P_5$  при настройке расстояния между осями шпинделей I и II.

Инструменты для полигонального точения в зависимости от геометрических параметров обрабатываемых изделий могут быть дискового или стержневого типа (рис. 5), а в зависимости от предъявляемых требований к схеме обработки в отношении универсальности – регулируемые (рис. 5, а) и нерегулируемые (рис. 5, б, в).

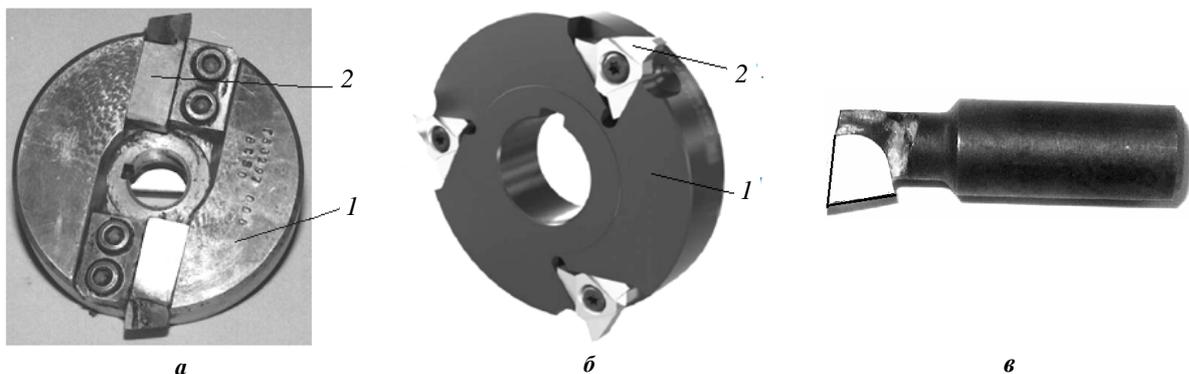


Рисунок 5. – Инструменты для полигонального точения дискового (а, б) и стержневого (в) типов

Дисковые инструменты (рис. 5, а, б) имеют режущие элементы в виде сменных пластинок или резцов, которые также могут быть оснащены сменными режущими пластинками. Для настройки радиуса инструмента  $R$  режущие элементы 2 (рис. 5, а) устанавливаются в корпусе 1 резцовой головки с возможностью перемещения в радиальном направлении, что позволяет управлять точностью профилирования многогранных поверхностей. Режущий инструмент такой конструкции применяется при обработке многогранных поверхностей на рассмотренном выше станке модели BC-50.

Особенностью инструмента для полигонального точения шестигранников (рис. 5, б) на специализированных станках, например, на станке модели FC-1540 фирмы Fastcut, является жесткое крепление режущих пластин 2 к корпусу 1, что упрощает его эксплуатацию, но исключает возможность управления точностью формообразования за счет настройки инструмента. Инструмент стержневого типа (рис. 5, в) в виде специального резца эффективен при полигональном точении граней на мелких деталях типа тел вращения.

**Заключение.** Из возможных схем полигонального точения многогранных поверхностей более простой в реализации является схема обработки резцовой головкой внешнего касания, основанная на сообщении ей и заготовке одинаково направленных вращательных движений вокруг параллельных осей. Необходимость одновременного выполнения процессов формообразования и деления ограничивает технологические возможности метода полигонального точения в отношении профиля обработанных граней, что необходимо учитывать при проектировании технологической операции. Задание различной последовательности формирования граней позволяет одну и ту же многогранную поверхность обрабатывать инструментами с различным числом режущих элементов, что упрощает реализацию технологии полигонального точения. Факторами, влияющими на диаметр резцовой головки для полигонального точения, являются требуемая точность формирования профиля грани и допустимое изменение рабочих углов режущей части. Возможность настройки этого параметра должна учитываться при конструировании ре-

жущего инструмента. Повышение универсальности станка для полигонального точения по форме поверхностей граней обеспечивается при введении в кинематическую цепь профилирования органа настройки отношения частот вращательных движений инструмента и заготовки.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Данилов, В.А. Анализ и реализация методов управления макрогеометрией сложных многогранных поверхностей при обработке резанием / В.А. Данилов, А.А. Данилов // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. В, Промышленность. Прикладные науки. – 2015. – № 11. – С. 2–9.
2. Карелин, Н.М. Бескопирная обработка цилиндрических деталей / Н.М. Карелин. – М. : Машиностроение, 1966. – 187 с.
3. Данилов, А.А. Синтез и анализ кинематической структуры станка для обработки некруглых валов / А.А. Данилов // Труды молодых специалистов Полоц. гос. ун-та. – 2014. – Вып. 75. Промышленность. – С. 84–87.
4. Данилов, В.А. Новые технологии формообразования профильных и прерывистых поверхностей резанием / В.А. Данилов // Инженер-механик. – 2003. – № 3 (20). – С. 26–31.
5. Федотенок, А.А. Кинематическая структура металлорежущих станков / А.А. Федотенок. – М. : Машиностроение, 1970. – 403 с.

Поступила 18.07.2016

#### ANALYSIS AND IMPLEMENTATION OF SCHEMES OF TURNING POLYGONAL POLYHEDRAL SURFACES

A. DANILOV

*The main task of designing and implementing the operation of turning polygonal polyhedral surfaces considered in this article. Based on the mathematical model shown an impact on the profile formed by the kinematic and geometrical parameters of the processing circuit. The conditions of simultaneous accomplishment of the processes of formation and division when turning polygon polyhedral surfaces are defined. The technological capabilities of the processing method are analyzed. The recommendations on the definition of rational values of the geometric and kinematic parameters of the circuit of polygonal turning are set out. Machines and tools for the implementation of the scheme of turning polygonal polyhedral surfaces are considered.*

**Keywords:** *technological opportunities, polyhedral surfaces, polygonal turning, technological opportunities, machines and tools.*