

УДК 621.91.002

DOI: 10.30987/article\_5ca3030a04dfd7.72889986

**В.В. Истоцкий**, к.т.н.,  
(ООО НПП «РИТ-Инжиниринг», 142300, Россия, Московская обл., г. Чехов, ул. Чехова, 20В),  
**В.Б. Протасьев**, д.т.н.  
(Тульский государственный университет, 300012, Россия, г. Тула, пр. Ленина, 92)  
E-mail: v\_ist@mail.ru; avprotacev@mail.ru

### Научоёмкая технология производства фасонных твердосплавных инструментов с винтовыми зубьями

*В статье рассмотрены вопросы получения качественных заготовок для производства твердосплавных инструментов. Проанализированы возможности изготовления режущей части из твердосплавных прутковых заготовок, фасонных заготовок с номинальной твердостью HRA 88 и с использованием пластифицированных заготовок. Показана ошибочность общепринятых методов проектирования винтовых зубьев с аксиально-радиальным переменным шагом и предложена методика целенаправленного проектирования с новым вариантом исходной информации. Показаны возможности технологического 3D моделирования для оценки проектируемого инструмента.*

**Ключевые слова:** заготовки фасонных режущих инструментов; порошковая металлургия; спекание твердых сплавов; шлифовально-заточные станки с ЧПУ; проектирование винтовых поверхностей; технологическая 3D модель.

**V.V. Istotsky**, Can.Sc. Tech.,  
(PC SPC «RIT-Engineering», 20V, Chekhov Str., Chekhov, Moscow Region, Russia 142300),  
**V.B. Protasiev**<sup>2</sup>, Dr.Sc.Tech.  
(Tula State University, Department «IMS», 92, Lenin Avenue, Tula, Russia, 300012)

### Science intensive technology of manufacturing profile hard-alloy tools with screw teeth

*The paper reports the consideration of problems regarding obtaining qualitative blanks for manufacturing hard-alloy tools. There are analyzed potentialities for manufacturing a cutting part made of hard-alloy bar stocks, profile blanks with HRA88 rated hardness and with the use of flexible blanks. The impropriety of common methods of designing screw teeth with an axial-radial varied pitch is shown and a method of purposeful designing with a new version of initial information is shown. The potentialities of 3D technological modeling for the assessment of the tool designed are shown.*

**Keywords:** profile cutter blanks; powder metallurgy; hard alloy sintering; NC grinding-sharpening machines; design of screw surfaces; 3D technological model.

Производство твердосплавных заготовок для режущих инструментов методом порошковой металлургии во многом определяет степень развития инструментального обеспечения машиностроения.

В СССР, как правило, большинство машиностроительных предприятий использовало технологию получения твердосплавных заготовок для изготовления простых режущих инструментов типа резцов, а специализированные фирмы производили заготовки и для

сложных фасонных инструментов, в том числе и с винтовыми зубьями, а также изготавливали такие инструменты.

Относительно невысокое качество производства осевых режущих инструментов объяснялось отсутствием оборудования для финишной шлифовальной обработки и недостаточным развитием теории формирования фасонных винтовых поверхностей с аксиально-радиальным переменным шагом, которые используются для формирования режущей

части фасонных инструментов.

К сожалению, в РФ и в настоящее время не уделяется достаточного внимания этим вопросам, также как и совершенству самой технологии порошковой металлургии [1].

В данной работе рассматриваются вопросы технического совершенства заготовок для твердосплавного инструмента и процессов формирования зубьев на режущей части с целью определения рациональной технологии производства этих инструментов и различных ее вариантов в соответствии с предъявляемыми требованиями потребителей.

На рис. 1 показан вариант изготовления осевых твердосплавных фасонных инструментов. Заготовка (рис. 1, а) в виде цилиндра длиной  $l$  и диаметром  $d$  получается методом экструдирования пластифицированной твердосплавной смеси на специальных машинах с последующим спеканием до номинальной твердости не менее HRA 88 (в зависимости от марки сплава и параметров исходной шихты) и шлифованием по наружной поверхности.

Заготовки, получаемые таким способом, отличаются равномерностью свойств, что положительно сказывается на качестве инструментов в целом.

Нарезание зубьев (рис. 1, б) выполняется на шлифовально-заточных многокоординатных станках с ЧПУ алмазными шлифовальными кругами. Это современное оборудование с высокими технологическими возможностями обеспечило качественный рывок, как в производительности, так и в конструктивном совершенстве режущих инструментов.

Существенным недостатком такого варианта изготовления режущего инструмента являются избыточные припуски в ряде сечений, и, как следствие, повышенный расход шлифовальных кругов, увеличение времени на восстановление их режущей способности, а также основного времени производства изделия, за счет снижения величин рабочих подач.

Прутковые заготовки, несмотря на отмеченные недостатки, широко используются при изготовлении сверл, разверток, зенкеров, где производящая поверхность инструментов приближена к форме круглого цилиндра.

Порошковая металлургия характерна тем, что она позволяет влиять на форму и плотность изделия и последовательно повышать твердость заготовок. С ее применением возможно получение так называемых пластифицированных заготовок, которые позволяют формировать на них зубья, а затем допекать их до требуемой твердости и при дальнейшем

соединении с хвостовиком получать различные инструменты, в том числе и фасонные с винтовыми зубьями.

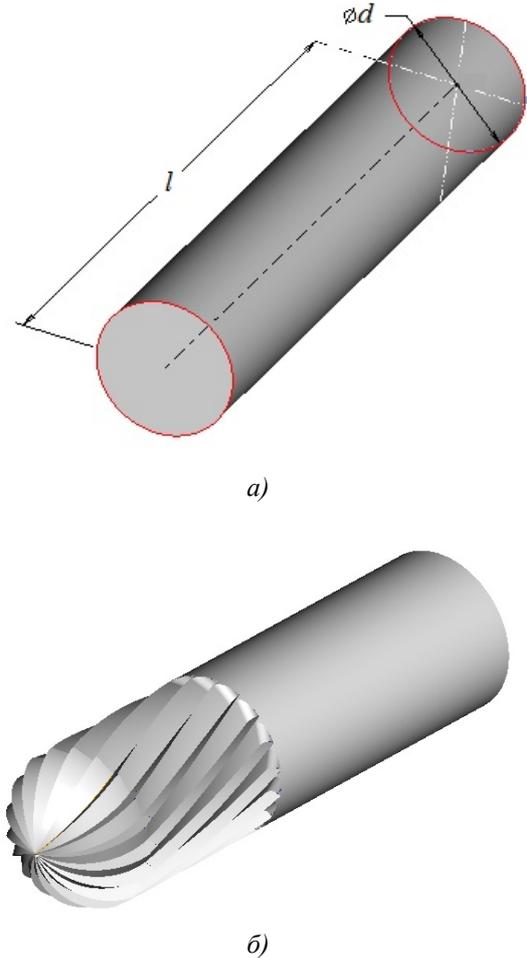


Рис. 1. Получение инструментов из прутковой заготовки

Заготовки в этом случае получают путем прессования пластифицированной смеси с использованием пресс-форм. Размеры и форма заготовок позволяют минимизировать припуски для нарезания зубьев режущей части. Для обеспечения базирования в зажимной технологической оснастке готовая режущая часть припаивается к хвостовику. Благодаря такой конструкции снижается расход дорого сырья – твердого сплава – по сравнению с изготовлением инструмента из прутковых заготовок.

При применении прессованных заготовок, дальнейшая обработка возможна по двум схемам (рис. 2), использование которых зависит от условий эксплуатации инструментов, предъявляемых требований по точности и шероховатости режущих поверхностей, а также технических и производственных возможнос-

той предприятия-изготовителя.

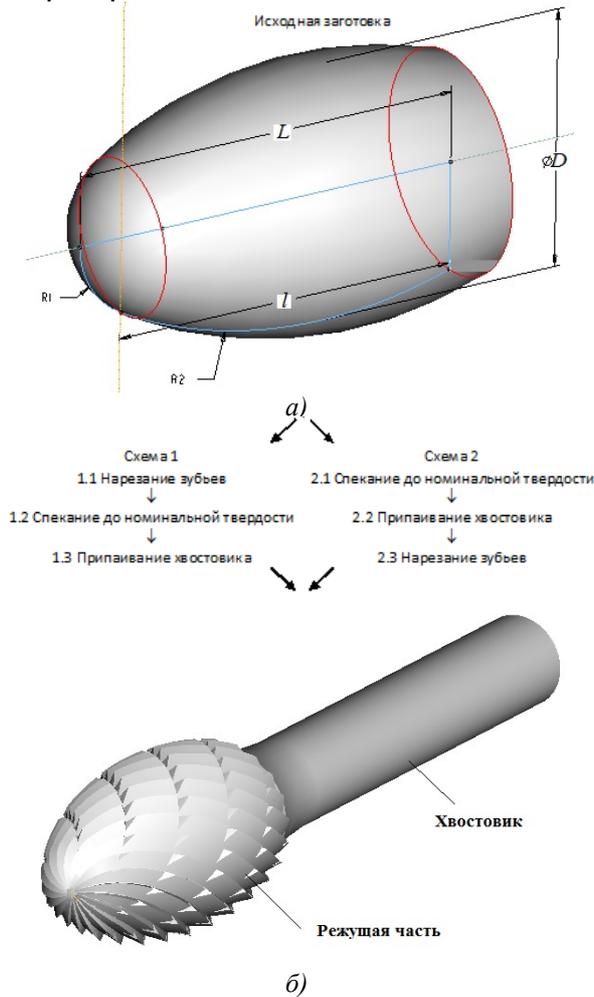


Рис. 2. Схемы изготовления твердосплавных инструментов из заготовок, полученных прессованием

Схема 1 (см. рис. 2) широко применялась в СССР при изготовлении «черных» твердосплавных инструментов на многих машиностроительных заводах. Её особенность в том, что при отсутствии многокоординатных шлифовально-заточных станков, дефиците алмазных шлифовальных кругов и отсутствии эффективных способов их правки формирование зубьев выполнялось с помощью специальных копировальных приспособлений на универсально заточных станках, а вместо алмазных кругов зачастую использовались малоразмерные многозубые фрезы, изготовленные из инструментальных или быстрорежущих сталей.

Малые размеры фрез ( $d = 20...30$  мм) позволяли избегать подрезов при обработке винтовых зубьев, а относительно невысокие механические свойства пластифицированных твердосплавных заготовок позволяли с достаточной производительностью и точностью формировать зубья на режущей части.

Далее заготовки спекались до номинальной

твердости, и к ним припаивался хвостовик (рис. 2, б). Полученный инструмент успешно использовался при выполнении окончательных отделочных операций: обработке усиленных сварных швов; удалении заусенцев; очистке поверхностей деталей, получаемых литьем в песок; зачистке мест локальных закруглений и т.п.

Техническое совершенство инструментов, изготавливаемых по схеме 1 (см. рис. 2), определялось качеством всех составляющих, но особенно спеканием до получения номинальной твердости и механической обработкой стружечных канавок.

Исследования, выполненные в ООО НПП «РИТ-Инжиниринг» показали, что острота режущих кромок зависит не только от величины исходного скругления режущей кромки, полученной на операции нарезания зубьев на пластифицированных заготовках (см. рис. 2, поз. 1.1), а также от геометрии режущего клина и размера зерен исходного порошка.

При предварительном спекании, необходимом для придания начальной твердости изделию, кобальтовая составляющая (для сплавов WC+Co) порошка не расплавляется. Это происходит при окончательном спекании, и при этом важно, чтобы обеспечивалось краевое смачивание [2] режущей кромки расплавленной фазой.

Если это происходит – режущая кромка сохраняет и даже увеличивает исходную остроту, а если краевое смачивание не происходит – инструмент приобретает «тупые» зубья, и, как следствие, низкую работоспособность. Наличие фаски (рис. 3, а) на задней поверхности недопустимо, т.к. резко возрастают усилия резания, что особенно нежелательно при проведении ручных работ. На рис. 3 показаны варианты выполнения и невыполнения краевого смачивания и последствия этого процесса.

Анализ технической литературы показал отсутствие данных по выполнению краевого смачивания. Это позволяет заключить, что исследования, выполненные фирмой «РИТ-Инжиниринг» проведены впервые и их результаты позволили существенно повысить качество инструментов, изготавливаемых по схеме 1 (см. рис. 2).

При использовании первой схемы изготовления инструментов определенные трудности вызывает операция припаивания хвостовика (см. рис. 2, поз. 1.3) к окончательно сформированной режущей части. Обеспечение требований радиального биения зубьев становится возможным при точном центрировании со-

единяемых пайкой частей инструмента и использования стыка в виде плоскости  $Q$  (рис. 4), допускающей корректировку взаимного положения режущей части и хвостовика в специальных центровочных приспособлениях. Во внутренней полости при этом обеспечивается зазор, заполняемый припоем.

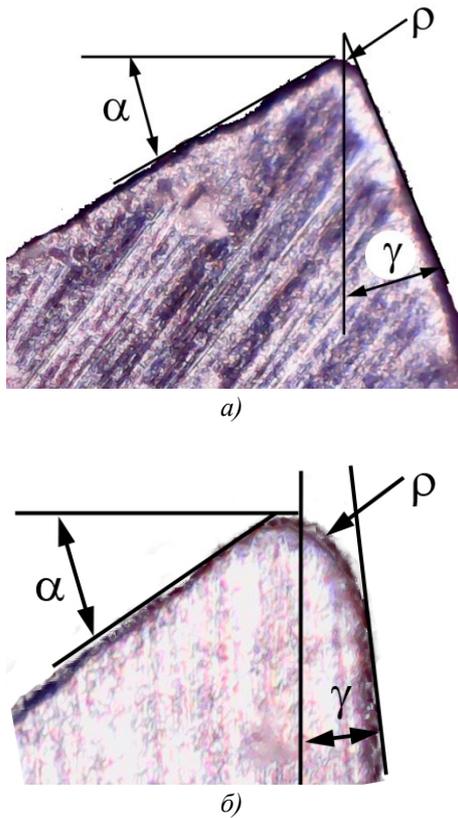


Рис. 3. Форма режущего клина при невыполнении (а) и выполнении (б) краевого смачивания

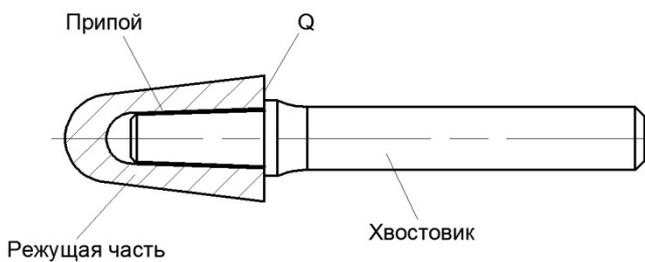


Рис. 4. Соединение режущей части и хвостовика методом пайки с использованием посадочных отверстий

Использование посадочных поверхностей (см. рис. 4) для соединений режущей части и хвостовика при выполнении операции пайки не позволяет в полной мере снизить радиальное биение режущей части, поскольку не обеспечивает радиальной компенсации. Дальнейшая механическая обработка хвостовика

от совместных с режущей частью баз компенсирует этот недостаток и обеспечивает значение радиального биения в допусках, достаточных для эксплуатации такого типа инструментов.

Схема 1 (см. рис. 2) имеет резерв повышения производительности. Он заключается в том, что нарезание зубьев на пластифицированной заготовке может выполняться не на малопроизводительных координатных приспособлениях, а на специализированных многокоординатных станках с ЧПУ.

Так, на формирование режущей части инструмента с габаритами  $\varnothing 15 \times 30$  и числом зубьев 24 по практическому замеру в реальном производстве требуется не более 70 с. Такая производительность в 12–15 раз выше, чем при нарезании зубьев с применением технологий глубинного шлифования на заготовках, имеющих номинальную твердость.

ООО НПФ «РИТ-Инжиниринг» располагает всем объемом исследований, необходимым для реализации схемы 1 (см. рис. 2) при производстве «черных» инструментов для потребителей, которых удовлетворяет качество инструментов, изготовленных с применением этой технологии, и интересует их более низкая цена (по сравнению с вариантом схема 2, рис. 2).

Как вывод можно отметить, что схема 1 при реализации отмеченных новаций, повышающих ее эффективность, обеспечивает решение ряда важных производственных задач при снижении себестоимости, и, как следствие, цены инструментов.

Схема 2 используется, как и схема 1, для производства фасонных инструментов с винтовыми зубьями из пресованных заготовок, но с предварительной пайкой хвостовика и заготовки режущей части, имеющей номинальную твердость, с последующим формированием режущих кромок с применением технологий шлифования «по целому».

Такие инструменты в производственных условиях получили название «светлых» и имеют минимальное радиальное биение режущих кромок (0,005...0,02 мм) и предназначаются для выполнения самых разнообразных и ответственных финишных операций [3].

Среди общих требований к параметрам исходных заготовок можно выделить следующие:

- изготовление порошков с требуемым уровнем зернистости;
- изготовление пластифицированных заготовок с сохранением их качественных характеристик;
- соблюдение технологических режимов

спекания твердосплавных изделий.

Зернистость порошков [4] у зарубежных производителей разделяется на семь уровней, начиная от размера  $> 6$  мкм и доходя до т.н. нанозерен  $< 0,2$  мкм, а отечественные производители обеспечивают зернистость по техническим заданиям без научного обоснования уровня этого параметра в зависимости от изготавливаемого инструмента и условий эксплуатации [15]. Такая ситуация не способствует повышению качества инструментов и решению задач импортозамещения.

Длительное хранение пластифицированных заготовок (смесей), в зависимости от его сроков, снижает качество конечных изделий – это требует либо регламента сроков их поставки, либо совершенствования технологии хранения.

Не менее сложной является задача формирования зубьев на заготовках, имеющих номинальную твердость, с использованием многокоординатных шлифовально-заточных станков с ЧПУ и технологий глубинного шлифования.

В РФ имеется программно-методический комплекс (ПМК) по автоматизированной подготовке управляющих программ (УП) при производстве инструментов с фасонной производящей поверхностью и винтовыми режущими зубьями. Этот ПМК, разработанный в инициативном порядке фирмой ООО НПП «РИТ-Инжиниринг», доказал свою состоятельность и работоспособность на ряде некоторых предприятий, и имеет некоторые отличительные особенности, превосходящие зарубежные аналоги.

ПМК базируется на теоретических основах, суть которых состоит в следующем. По мнению авторов, режущая часть фасонных инструментов с винтовыми зубьями должна быть результатом положительного синтеза [5, 6, 7] входных параметров, правильной последовательности расчетов, выполнения условий профилирования, учета технологических особенностей и возможностей оборудования и инструментов второго порядка. Синтез отмеченных параметров представляет собой строгую систему исходной информации, математического аппарата, средств оценки полученных результатов и целенаправленных корректирующих воздействий.

В работе [5] приведен алгоритм графоаналитического синтеза фасонных режущих инструментов с винтовыми зубьями и необходимые пояснения к его использованию. Поэтому остановимся на ключевых элементах разрабо-

танного ПМК, в котором использованы два нетрадиционных решения: 1) применение инструментов второго порядка максимально простой формы с назначением точек контакта их производящей поверхности и обрабатываемой заготовки; 2) применение технологических 3D-моделей.

*Первое* из них заключается в том, что в базовой работе по профилированию винтовых поверхностей [8] предлагалось при решении всех задач формообразования назначать параметры установки инструментов второго порядка (дисковых фрез и шлифовальных кругов) относительно обрабатываемой поверхности. Такой порядок при решении прямых задач, когда по заданному профилю винтовой поверхности определялся профиль инструмента второго порядка, приводил к появлению трансцендентных уравнений даже при формообразовании винтовых поверхностей постоянного шага. В обратных задачах, когда по заданному профилю инструмента второго порядка определялся профиль обработанной поверхности, в уравнениях второго порядка возникали трудности в выборе действительных корней.

При формировании винтовых поверхностей с аксиально-радиальным переменным шагом трудности многократно вырастали, а результаты профилирования можно было получить методом сложнейшего итерационного поиска. Аналогичная ситуация наблюдается при анализе зарубежных работ [9, 10, 11]. Данную проблему успешно решают в ООО НПП «РИТ-Инжиниринг».

С теоретических позиций, по мнению авторов, назначение в качестве исходной информации параметров установки является ошибочным решением, т.е. необходимо конкретизировать задачу формообразования.

Точки контакта инструментов второго порядка с обрабатываемой винтовой поверхностью необходимо не рассчитывать исходя из параметров установки, а априорно назначать исходя из здравого смысла.

В основополагающей работе [8] наиболее проблемной точкой является самая нижняя точка  $M$  во впадине винтовой канавки (рис. 5) – именно массив таких точек, расположенных в разных торцовых сечениях и нужно задавать в качестве исходной информации.

Каждая точка  $M$  должна координироваться радиусом  $r$ , вспомогательной координатой  $a$ , задаваемыми в торцовых сечениях, и углом наклона профиля  $\theta$ , задаваемым в осевом сечении (на рис. 5 – это сечение А–А. В сечении

А–А производящая поверхность, на которой расположены точки  $P$ , не показана). В этом же осевом сечении координата  $l$  определяет расположение торцового сечения относительно исходного. В итоге каждая точка  $M$  координируется параметрами  $l, r, a, \theta$ .

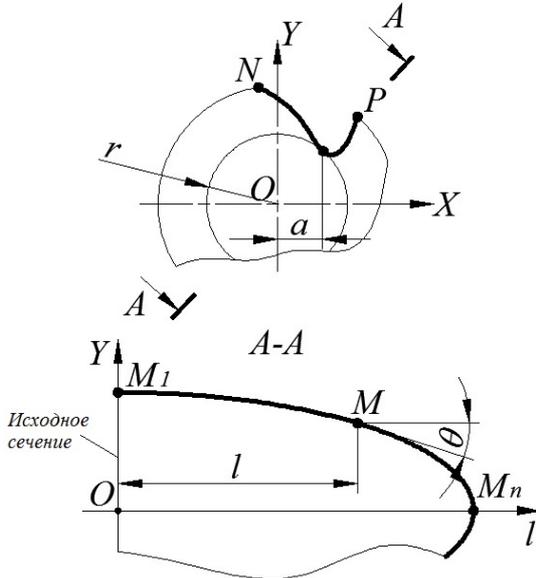


Рис. 5. Формирование массива точек контакта

В современных фирмах-производителях

режущего инструмента с винтовыми зубьями, фасонные шлифовальные круги для обработки стружечных канавок практически не применяются.

В большинстве решаемых задач по профилированию поверхностей режущих инструментов применяются шлифовальные круги с прямолинейными профилями, облегчающими процессы их правки для восстановления формы профиля и режущих свойств (рис. 6).

Одноугольная (рис. 6, а) двухугольная (рис. 6, б) и плоская форма (рис. 6, в) позволяют успешно обрабатывать стружечные канавки на подавляющем большинстве режущих инструментов.

Для решения кинематической задачи, целью которой является определение координат центра инструмента второго порядка  $O_u$  в системе координат детали, авторами предлагается решать задачу касания точек  $M$  (см. рис. 5) с окружностью обобщающего (максимального) радиуса шлифовального круга  $R_u$  (рис. 6, з). Такая задача решается без трансцендентных уравнений, хорошо визуализируется и доступна для понимания программистов станков с ЧПУ [12].

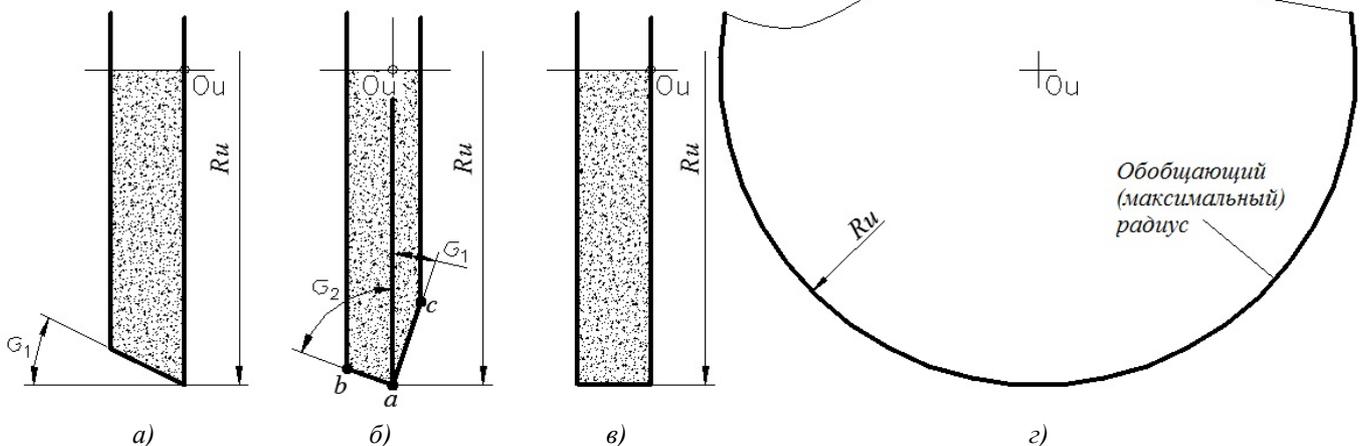


Рис. 6. Формы используемых шлифовальных кругов

Поясним, какие функции выполняют различные участки профиля шлифовальных кругов (рис. 6). Вся передняя поверхность стружечной канавки (см. рис. 5, участок  $MP$ ) формируется точкой  $a$  (рис. 6, б), т.е. вершиной шлифовального круга. Участок  $ac$  на рис. 6, расположенный под углом  $\sigma_1$  играет роль заборного конуса, который облегчает работу точки  $a$  на вершине круга. Участок  $ab$  под углом  $\sigma_2$  (рис. 6) формирует выпуклую спинку зуба (см. рис. 5, участок  $MN$ ). В итоге формируется стружечная канавка с функциональной

архитектурой и с возможностью получения нужных передних углов  $\gamma$  в точке  $P$ , т.е. на режущей кромке инструмента.

В работе [12] рассмотрены вопросы обработки задних поверхностей и задачи формирования зубьев в полюсных зонах инструментов, там, где размещение большого числа зубьев проблематично и требуется либо удалять некоторые из них, либо использовать т.н. группирование зубьев.

Вторым ключевым моментом является использование технологических 3D-моделей для

оценки параметров инструментов на стадии его проектирования, иначе в современных условиях невозможно производить прогрессивные конструкции режущих инструментов.

Разработанный для этого ПМК, позволяет получать виртуальные аналоги режущих инструментов [13, 14]. Заготовки (см. рис. 1, 2) и шлифовальные круги (см. рис. 6) представляются в виде 3D-моделей. Далее, используя реальные управляющие программы (УП) путем покадрового взаимного перемещения этих моделей, имитируется взаимодействие заготовки и инструмента второго порядка. В итоге такого взаимодействия получается 3D-модель изготавливаемого инструмента, которую назвали технологической. Она визуализирует все изъятия процесса формообразования режущей части и позволяет вносить необходимые корректировки, обеспечиваемые системами ЧПУ и математическим аппаратом формообразования.

Полезным свойством технологических 3D-моделей является возможность измерения размеров и параметров инструмента на стадии его проектирования, а также – не анализировать параметры путем сложных итерационных вычислений, а измерять их средствами компьютерной графики.

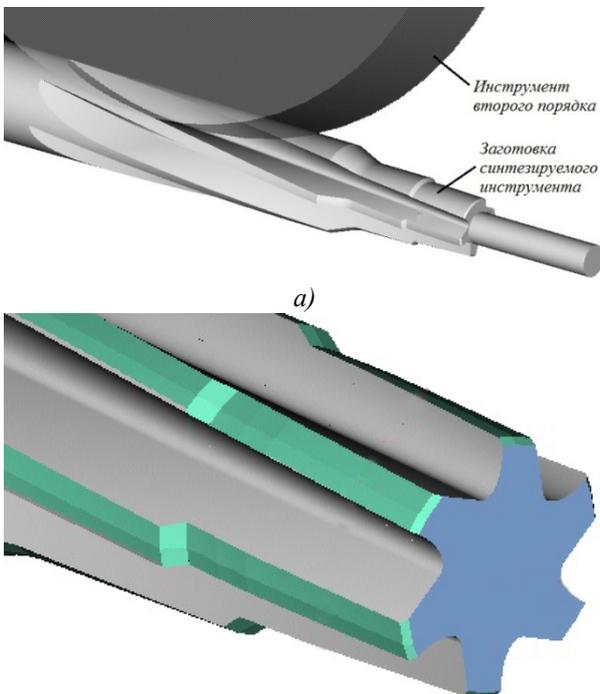


Рис. 7. Технологическая модель многоступенчатой развертки

На рис. 7 и рис. 8 показаны результаты технологического 3D моделирования. На рис. 7, а приведено мгновенное положение контакта в процессе взаимодействия виртуальной за-

готовки и шлифовального круга, а на рис. 7, б – произвольное торцовое сечение полученной технологической модели многоступенчатой развертки с винтовыми зубьями. Рис. 8 отображает результат успешного синтезирования параметров при проектировании фасонной фрезы с алмазной гранью, т.е. разделением режущих кромок на отдельные режущие элементы.

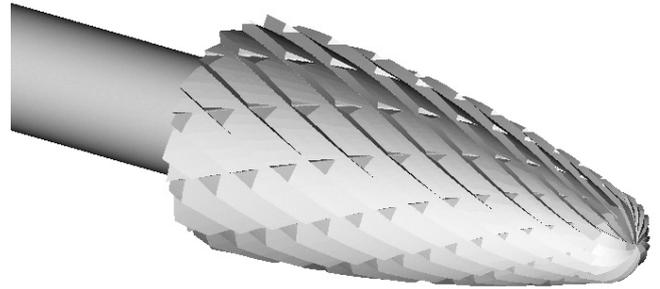


Рис. 8. Результат успешного синтезирования параметров при проектировании фасонной фрезы с алмазной гранью

В качестве общего вывода отметим, что с использованием описанных выше ключевых принципов возможно изготовление различных осевых инструментов, например таких как сверла, в том числе многоступенчатые, зенкеры и развертки, метчики и резбобфрезы, роутеры для обработки пластиков и углепластиков, резцовые вставки, резцы для формирования периодического профиля на прокатных валках, борфрезы по двум описанным в настоящей статье схемам, комбинированные инструменты и мелко модульные червячные фрезы. Концевые фрезы прогрессивных конструкций, изготовленные с применением описанных принципов, позволяют эффективно обрабатывать нержавеющие, высоколегированные, жаропрочные стали и сплавы. Конструкция и технология всех изготавливаемых инструментов максимально ориентирована на их применение с высокой производительностью и обеспечению высокой точности и качества поверхности при обработке резанием.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Истоцкий, В.В. Основные направления развития инструментального производства в современных условиях // Журнал ИТО. – 2007. – № 5. – С. 82-83.
2. Протопопов А.В. Лекции по коллоидной химии.// Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, каф. ТППиЭ. 2013. 104 с.
3. Истоцкий, В.В. Современный инструмент для прогрессивной обработки легких сплавов на основе алюминия // Инженерный журнал справочник. – 2012. – №4(181). – С. 29-30.

4. Протасьев, В.Б., Истоцкий, В.В. Состояние производства современного металлорежущего инструмента в России // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2013. – № 8. – С. 223-231.

5. Истоцкий, В.В. Алгоритм графоаналитического синтеза фасонных инструментов с винтовыми зубьями // Черные металлы. 2019. №1(1045). С. 72-77.

6. Istotskiy V., Protasev V. Increasing the level of technical perfection technology manufacture of cutting tools // Norwegian Journal of development of the International Science №11/2017, Vol. 1. – p. 61-70 (In Russian).

7. Истоцкий, В.В. Протасьев, В.Б. Принципы современного проектирования режущей части фасонных инструментов с учетом особенностей их изготовления на точных станках с ЧПУ // Известия ТулГУ. (Технология машиностроения). – 2006. – № 2. – С. 102-107.

8. Лашнев, С.И., Юликов, М.И. Расчет и конструирование металлорежущих инструментов с применением ЭВМ. М.: Машиностроение, 1975. – 392 с.

9. Hien Nguyen, Sung-Lim Ko A mathematical model for simulating and manufacturing ball end mill // Computer-Aided Design 50 (2014) 16–26.

10. Shuai Li Modeling and Simulation Research of Ball End Mill Rake Face// CHEMICAL ENGINEERING TRANSACTIONS VOL. 51, 2016. pp. 1237-1242.

11. Chen, F., Hu, S., Yin, S. A novel mathematical model for grinding ball-end milling cutter with equal rake and clearance angle, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 63, 2012, 109–116.

12. Протасьев, В.Б., Истоцкий, В.В. Проектирование фасонных инструментов, изготавливаемых с использованием шлифовально-заточных станков с ЧПУ. – (Научная мысль). – М.: ИНФРА-М, 2011.

13. Истоцкий, В.В., Протасьев, В.Б. Проектирование режущей части фасонных инструментов с использованием виртуальных аналогов шлифовально-заточных станков с ЧПУ, основанных на положениях булевой алгебры // Известия ТулГУ. Вып.2: Труды Междунар. юбил. научн.-техн. конф. «Проблемы формообразования деталей при обработке резанием», 29-30 января 2007 г. – Тула: Изд-во ТулГУ, 2006. – (Инструментальные и метрологические системы). – С. 170-174.

14. Протасьев, В.Б., Истоцкий, В.В. Решение задач формообразования винтовых поверхностей инструментов при использовании шлифовально-заточных станков с ЧПУ // Сборник «Технические науки: интеграция науки и практики». – 2014. – С. 7-15.

15. ТУ 48-4205-112-2017 «Смеси твердосплавные товарные. Технические условия».

2. Protopopov, A.V. *Lectures on Colloid Chemistry* // Polzunov State Technical University of Altay, Department “TPP&E”. 2013. – pp. 104.

3. Istotsky, V.V. Modern tool for aluminum based light alloy efficient machining // *Engineering Journal Reference Book*. – 2012. – No.4(181). – pp. 29-30.

4. Protasiev, V.B., Istotsky, V.V. State of modern metal-cutting tool manufacturing in Russia // *Proceedings of Tula State University. Engineering Sciences*. – 2013. – No.8. – pp. 223-231.

5. Istotsky, V.V. Algorithm of Graphical-analytical synthesis of shaped tools with screw teeth // *Ferrous Metals*. 2019. No.1(1045). – pp. 72-77.

6. Istotskiy V., Protasev V. Increasing the level of technical perfection technology manufacture of cutting tools // Norwegian Journal of development of the International Science №11/2017, Vol. 1. – p. 61-70 (In Russian).

7. Istotsky, V.V. Protasiev, V.B. Modern design principles of shaped tool cutting part taking into account peculiarities of their manufacturing on NC sharpening machines // *Proceedings Of TulaSU (Engineering Technique)*. – 2006. – No.2. – pp. 102-107.

8. Lashnev, S.I., Yulikov, M.I. *Computation and Computer Design of Metal-Cutting Tools*. М.: Mechanical Engineering, 1975. – pp. 392.

9. Hien Nguyen, Sung-Lim Ko A mathematical model for simulating and manufacturing ball end mill // Computer-Aided Design 50 (2014) 16–26.

10. Shuai Li Modeling and Simulation Research of Ball End Mill Rake Face// CHEMICAL ENGINEERING TRANSACTIONS VOL. 51, 2016. pp. 1237-1242.

11. Chen, F., Hu, S., Yin, S. A novel mathematical model for grinding ball-end milling cutter with equal rake and clearance angle, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 63, 2012, 109–116.

12. Protasiev, V.B., Istotsky, V.V. Design of Shaped Tools Manufactured Using NC Grinding-Sharpener Machines. – (Scientific Idea). – М.: INFRA-M, 2011.

13. Istotsky, V.V., Protasiev, V.B. Design of shaped tool cutting area using virtual analogues of NC grinding-sharpening machines based on Boolean Mathematics regulations // *Proceedings of TulaSU. Edition 2: Proceedings of the Inter. Jubilee Scientif.-Tech. Conf. “Problems of Parts Shaping at Cutting”*, January 29-30, 2007. – Tula: TulaSU Publishing House, 2006. – (Tool and Metrological Systems). - pp. 170-174.

14. Protasiev, V.B., Istotsky, V.V. Problem solutions on shaping of tool screw surfaces using NC grinding-sharpening machines // *Proceedings “Engineering Sciences: Integration of Science and Practice”*. – 2014. - pp. 7-15.

15. ES 48-4205-112-2017 “Commodity Hard-alloy Mixtures. Engineering Specifications”.

Рецензент д.т.н. А.В. Хандошко

## REFERENCES

1. Istotsky, V.V. Basic directions in tool manufacturing development under current conditions// *ITO Journal*. – 2007. – No.5. – pp. 82-83.