

МЕТОДИКА ВЫБОРА В «КОМПАС 3D» ПАРАМЕТРОВ ОПЕРАЦИИ ПОДТОЧКИ ПОПЕРЕЧНОЙ РЕЖУЩЕЙ КРОМКИ СПИРАЛЬНОГО СВЕРЛА

Е.И. Щурова, shchurovaei@susu.ru

Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия

Аннотация. Стандартные спиральные сверла имеют значительный конструктивный недостаток: передние углы на поперечной режущей кромке имеют существенные отрицательные значения. Минимизация этого недостатка связана с подточкой кромки абразивным инструментом. Выбор этого инструмента, его параметров и параметров установки относительно сверла определяет размеры подточки и величины передних углов на участке подточки. Трудности такого выбора обусловлены наличием у спиральных сверл винтовых стружечных канавок и их пересечением с главными задними поверхностями.

В работе показана методика определения указанных выше рациональных параметров с использованием классического твердотельного моделирования в программе «КОМПАС 3D». Среди параметров: диаметр абразивного круга, радиус его профиля, межосевое расстояние, расстояние от оси круга до начала режущей части сверла, угол скрещивания их осей и угол поворота базового торца круга относительно базовой осевой плоскости сверла. В качестве критерия выбора принято максимальное значение главного переднего угла сверла на участке подточки. Методика основана на создании параметрической модели стандартных сверл с автоматическим перестроением модели по их размерам из стандартов. Стружечная канавка моделируется винтовым движением исходной инструментальной поверхности стандартной фрезы. Методика предназначена для специалистов предприятий, занимающихся доводкой инструментов под конкретные производственные условия.

Ключевые слова: стандартное спиральное сверло, подточка поперечной режущей кромки, твердотельное моделирование, CAD, КОМПАС 3D

Для цитирования: Щурова Е.И. Методика выбора в «КОМПАС 3D» параметров операции подточки поперечной режущей кромки спирального сверла // Вестник ЮУрГУ. Серия «Машиностроение». 2024. Т. 24, № 1. С. 27–36. DOI: 10.14529/engin240103

Original article
DOI: 10.14529/engin240103

PARAMETER DETERMINATION METHOD FOR TWIST DRILL POINT THINNING USING “KOMPAS 3D”

E.I. Shchurova, shchurovaei@susu.ru

South Ural State University, Chelyabinsk, Russia

Abstract. Standard twist drills have significant design flaw: chisel edge rake angles have large negative values. Chisel shortening with abrasive tool is commonly used to minimize this disadvantage. The choice of such a tool, tool parameters and parameters of its location relative to the drill affect point thinning measure and rake angles of the thinned cutting edge. Difficulties of abrasive tool selection are related to the presence of drill helical flutes and their intersection with the major flanks.

The paper presents a method for determining rational parameters of point thinning based on classical solid modeling using “KOMPAS 3D” software. The method uses the following parameters: abrasive wheel diameter, wheel profile radius, inter-axial distance, distance between the wheel axis and the drill cutting part, angle of crossing of their axes and angle of the wheel base end rotation relative to the base axial plane

of the drill. The maximum value of the drill side rake in the considered drill part is taken as the selection criterion. The technique is based on developing a parametric model of standard drills, with automatic model updating according to drill dimensions specified in the standards. The chip flute is modeled using helical movement of the standard milling cutter surface. The technique is developed for industrial plants specialists who are involved in further tool development for specific production conditions.

Keywords: standard twist drill, drill point thinned, solid modeling, CAD, KOMPAS 3D

For citation: Shchurova E.I. Parameter determination method for twist drill point thinning using "KOMPAS 3D". *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Mechanical Engineering Industry*, 2024;24(1):27–36. (In Russ.) DOI: 10.14529/engin240103

Введение, цель и задачи работы

Широко применяемые для получения отверстий стандартные спиральные сверла имеют один важный конструктивный недостаток – их передние углы на поперечной режущей кромке имеют существенные отрицательные значения. В связи с этим с середины прошлого века на практике применяется подточка указанных поперечных кромок [1, 2]. По приведенной в 1945 г. в книге В.В. Лоскутова классификации выделяются три типа подточек: подточка поперечной кромки с одновременной подточкой части стружечной канавки на спинке соседнего пера, подточка в ограниченной окрестности поперечной кромки и подточка по всему профилю стружечной канавки [1]. По приведенной в 1970 г. в книге С.А. Попова классификации выделяются следующие типы подточек: подточка со стружкоотводящей канавкой; с увеличением передних углов на поперечной кромке; предыдущая подточка со срезанием затылочной части пера; подточка с полным срезанием поперечной кромки; предыдущий вариант с подточкой главных режущих кромок; подточка с углубленным прорезанием поперечной кромки [3]. Подобные исследования подточек сверл нашли отражение и в зарубежной литературе с середины прошлого века [4]. В настоящее время одним из современных классификаторов подточек является немецкий национальный стандарт DIN 1412:2001-03 Twist drills made of high-speed steel. Shapes of points, в котором рассматривается заточка сверл по формам с буквами от «А» до «М». Свои формы подточек определены и в российских национальных государственных стандартах.

Актуальность вопроса выбора формы и размеров подточек подтверждается и работами последних десятилетий. При этом в прошлом веке появились публикации по применению Computer Aided Design (CAD) систем для моделирования спиральных сверл. Статья с подобным названием появилась за рубежом, например, в 1993 году [5]. В статье рассмотрено численное решение задачи профилирования стружечной канавки сверла дисковым инструментом. Однако привычного использования коммерческих CAD для решения подобных геометрических задач в данной публикации обнаружить не удалось. Подобные исследования, связанные с влиянием подточки поперечной режущей кромки на силы резания, нашли отражение в другой зарубежной статье [6]. Однако и здесь коммерческие CAD-системы для моделирования не применялись. Аналитические решения, например, при исследовании геометрии сверла с обратным углом при вершине применялись и у отечественных авторов в 2010 году [7]. Но и эти решения были получены без применения CAD-систем. Все же в этот период были опубликованы и статьи по исследованию подточек поперечных кромок с использованием коммерческих CAD-систем. В частности, в известной публикации Д.С. Макашина показано изменение главного угла в плане сверла для варианта без подточки и с подточками поперечной кромки [8]. Однако в этой статье не было раскрыто, в какой коммерческой CAD-системе выполнялись эти исследования, и не отражено, как была получена сама твердотельная модель сверла. В частности, не отмечено, было ли применено моделирование стружечной канавки с использованием исходной инструментальной поверхности (ИИП) дисковой фрезы. Вообще говоря, необходимо отметить, что подобное моделирование в виде вырезания из заданного исходного трехмерного тела некоторого его объема путем протягивания по заданной траектории другого трехмерного тела появилось в коммерческих CAD-системах лишь только в период второго десятилетия нашего столетия. В частности, в известной программе Solidworks (Dassault) такая возможность появилась только в 2010 году. При этом данное моделирование ока-

зывается возможным, если второе тело имеет только выпуклый профиль, который должен быть составлен только из простых кривых (прямых линий и дуг окружностей).

Одним из вопросов подточки поперечной режущей кромки является не только ее форма и размеры, но и технология ее получения. Такие вопросы обсуждаются в соответствующих работах [3, 9]. В ранее упомянутой работе С.А. Попова отражены следующие формы профилей шлифовальных кругов для подточки: полукругло-выпуклый, на четверть кругло-выпуклый, прямой профиль и двухсторонний конический профиль [3]. Три из шести вариантов подточек реализуются инструментом с полукругло-выпуклым профилем. Такой же профиль отмечается и в другой работе [9].

Больше подробностей в описании применения коммерческих САД для моделирования сверл дается в работе [10] 2016 г. В этой работе ценным является отражение информации о том, что размеры сверл для их 3D-моделирования были получены измерением реальных сверл на микроскопе. В работе отмечается, что подробности моделирования можно найти в статьях, на которые в ней приведены ссылки – с 29-й по 31-ю. Однако изучение этих четырех работ показало, что в них не приводятся никакие сведения о коммерческих САД-системах, в которых выполняется какое-либо геометрическое моделирование. Данные работы содержат зависимости, характерные для решения задач профилирования традиционными аналитическими способами. В конечном счете рассматриваемая статья [10] посвящена моделированию процесса сверления методом конечных элементов. Аналогичная статья [11] посвящена моделированию фрезерования винтовых стружечных канавок концевых фрез. В статье обсуждаются параметры установки инструмента второго порядка, однако и здесь решение основано на традиционном аналитическом подходе.

Применение САД-системы обсуждается еще в одной зарубежной статье [12]. В данной статье отмечается, что модель сверла построена на основе NURBS сплайнов. Очевидно, что подбор коэффициентов сплайнов никак не связан с технологией получения сверла, например, получения его винтовых канавок дисковой фрезой. Соответственно, вопрос адекватности такой модели реальному сверлу всегда остается открытым. То же самое можно сказать и про моделирование сил резания на полученной таким образом модели сверла [13]. В работе [14], посвященной геометрическому моделированию спиральных сверл с использованием САД-систем, дается следующий подход: моделируется профиль стружечной канавки в радиальном сечении сверла, который протягивается по цилиндрической заготовке инструмента. Очевидно, что расчет такого профиля – самостоятельная задача профилирования, которая в данной статье не раскрывается. Аналогичный подход использован и в следующей зарубежной публикации, здесь для моделирования стружечных канавок был использован В-сплайн, построенный по 6 узловым точкам [15].

Таким образом, публикаций по использованию коммерческих САД-систем для адекватного моделирования спиральных сверл обнаружить не удалось. Вместе с тем вопрос рационального выбора формы и особенностей поверхности для подточки поперечной режущей кромки является все еще актуальным. Это показано как в авторитетных монографиях последнего времени [16], так и в отдельных статьях [17–20], опубликованных в 2016 и в 2023 гг. Актуальность этого вопроса характеризуется тем фактом, что в монографии 2010 г. описанию различных форм подточек посвящено 45 страниц. Необходимо отметить, что классическое твердотельное моделирование сверл с использованием аналитической геометрии имеет очевидные недостатки: для получения линий и точек пересечения смежных поверхностей необходимо решать системы из множества сложных уравнений с периодическими тригонометрическими функциями. Так, смежными у спирального сверла являются поверхности: спиральная коническая поверхность стружечных канавок, полученная как огибающая семейство тел дискового фасонного инструмента; плоская, коническая, цилиндрическая или винтовая главная задняя поверхность; коническая поверхность ленточек сверла. Решение системы их уравнений зачастую оказывается невозможным, что выражается в отказе коммерческих САД-систем выполнить построение. По этой причине в последние десятилетия получило применение дискретное твердотельное моделирование на основе алгебры множеств с использованием воксельного моделирования. Такое моделирование сверл не имеет никаких ограничений по сложности применяемых для их изготовления инструментов второго порядка и их формообразующих движений. Дискретизация области пространства, занимаемой сверлом, на множество элементарных подобластей – вокселей, позволяет моделировать сверло не только по номинальным размерам, но и моделировать погрешности его изготовления,

например, прогиб продольной оси сверла, несимметричность его перьев, моделировать износ и налипание. Подобная модель сверла была разработана автором данной публикации еще в 2020 г. [20]. Несмотря на достоинства такого численного подхода, он, как и все численные методы (МКР, МКЭ, SPH, SPG), имеет присущий им всем недостаток: высокие требования к компьютерам и длительность расчетов. Компьютерные программы с использованием такого метода дискретного твердотельного моделирования все еще носят исследовательский характер, подобных коммерческих программ обнаружить пока не удалось. В связи с этим разработка для практического применения адекватных процессу изготовления 3D-моделей стандартных спиральных сверл на базе классического твердотельного моделирования в CAD-программах и оценка на этой основе параметров данных сверл, особенно в окрестностях подточки поперечной режущей кромки, все еще остается актуальной задачей машиностроения. **Целью данного исследования было создание методики автоматизированного параметрического твердотельного моделирования в CAD-системе стандартных спиральных сверл с подточкой их поперечных режущих кромок и возможностей анализа геометрических параметров лезвий для выбора рациональных параметров абразивного инструмента и его положения для получения этих подточек.** Для достижения этой цели необходимо было решить следующие задачи. Во-первых, разработать параметрическую твердотельную модель спиральных сверл с подточкой их поперечной режущей кромки. Во-вторых, разработать порядок варьирования параметров абразивных инструментов и параметров их установки с учетом анализа геометрических параметров главной режущей кромки, образованной указанной подточкой. Данные задачи последовательно рассматриваются в следующем разделе статьи.

Методика разработки параметрической твердотельной модели спирального сверла и выбора параметров операции подточки поперечной режущей кромки

1. Разработка параметрической твердотельной модели стандартного спирального сверла. Данная модель была разработана в коммерческой CAD-программе «КОМПАС 3D». В качестве основополагающего принципа моделирования был положен принцип соответствия математических операций технологическим операциям производства сверла. Поскольку предусматривалось построение параметрической модели сверла, то для построения опорной модели было выбрано произвольное сверло 2300-0858 ГОСТ 19543-74 диаметром 6 мм. Профиль шлифовального круга выбран полукругло-выпуклым. На первом этапе была смоделирована цилиндрическая заготовка сверла. Далее на некотором расстоянии от рабочего торца сверла была построена плоскость под углом наклона его винтовых стружечных канавок. В этой плоскости был построен профиль дисковой фасонной фрезы с размерами из табл. 2 приложения вышеуказанного стандарта (рис. 1). Построение профиля включало в себя не только параметризованные размеры фрезы, но параметризованные размеры ее установки относительно оси сверла.

Далее профиль был использован для создания ИИП фрезы и семейства ее тел при ее винтовом формообразующем движении (рис. 2, а), при этом по разработанным формулам определялись параметры конической винтовой линии, включая ее длину во взаимосвязи с длиной рабочей части сверла. После построения спинки с ленточками и построения главных задних поверхностей с заточкой по плоскости была построена очередная плоскость под углом к оси сверла, в которой, в свою очередь, был построен профиль шлифовального круга (рис. 2, б). Как и в предыдущем случае, параметризован не только шлифовальный круг, но и параметры его установки: межосевое расстояние, угол между вертикальной осью Y сверла и базовым торцом круга, а также угол разворота ранее упомянутой плоскости построения.

Полученная параметризованная твердотельная модель спиральных сверл позволяет считывать в «КОМПАС 3D» таблицу – ранее созданный excel-файл с введенными в него заранее параметрами сверл из государственных стандартов. Выбор строки из такой таблицы позволяет автоматически построить трехмерную модель сверла любых заданных размеров. Поскольку в стандартах нет точных размеров и параметров расположения поверхностей подточек, то такие параметры пришлось вводить в ручном режиме. Изменение параметров шлифовального круга и его установки позволило получить различные формы и размеры подточек в требуемых моделях сверл.

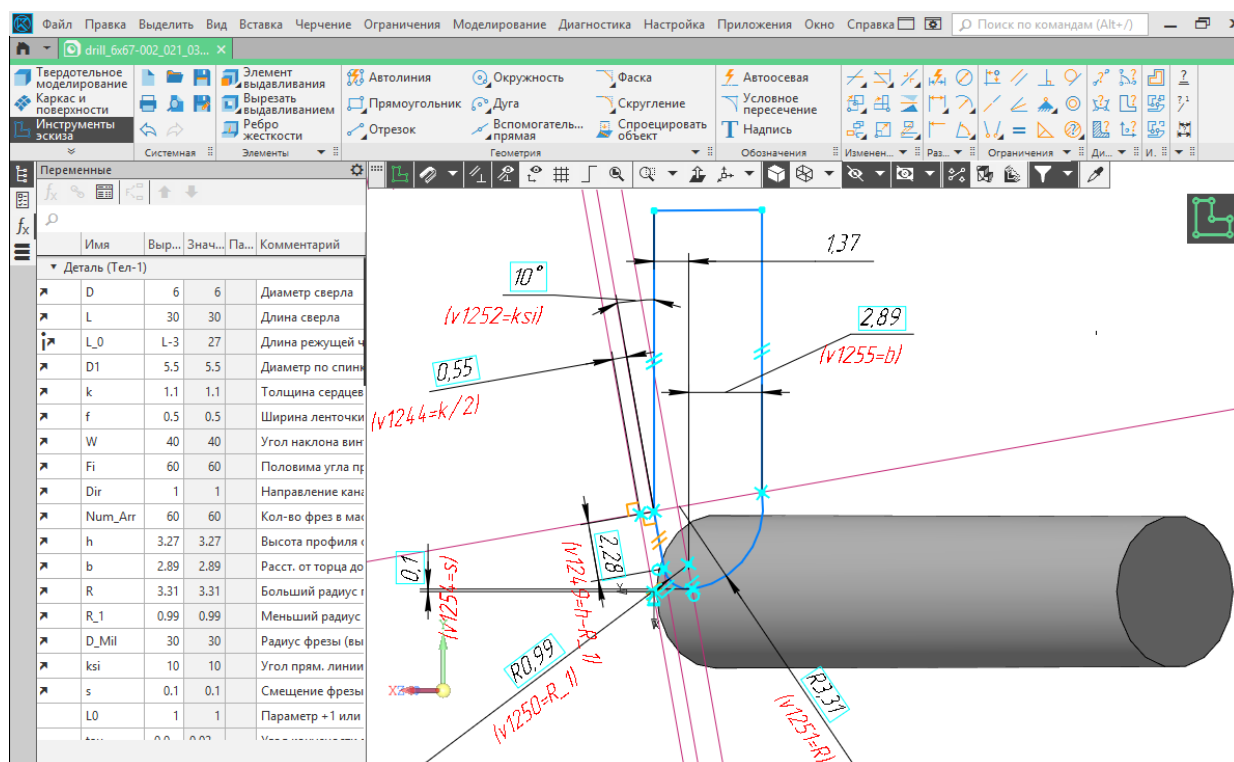


Рис. 1. Построение осевого профиля дисковой фасонной фрезы
Fig. 1. Drawing of the convex milling cutter axial profile

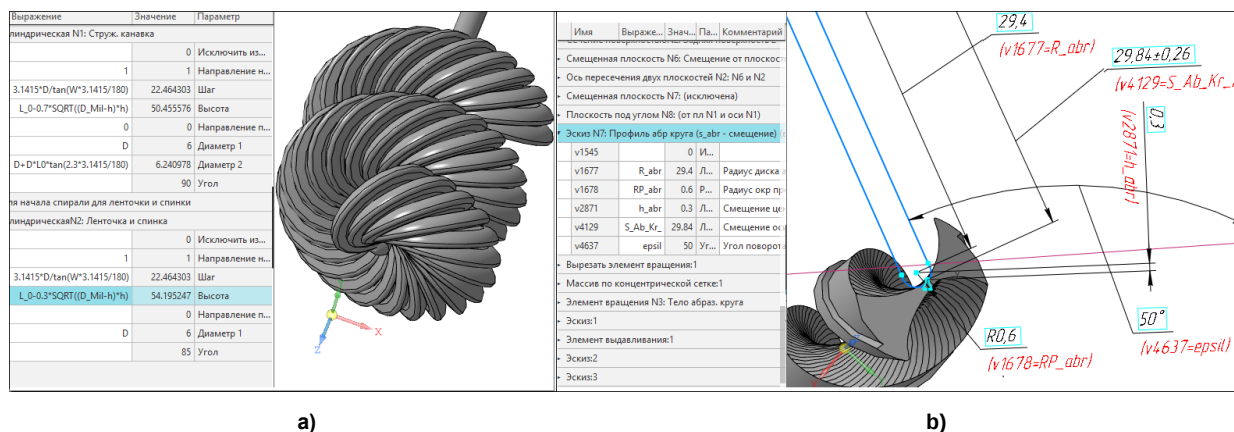


Рис. 2. Семейство ИИП фрезы (а) и профиль шлифовального круга для подточки поперечной кромки (б)
Fig. 2. Family of cutting tool surfaces (a) and grinding wheel profile for thinned cutting edge (b)

2. Методика выбора параметров шлифовального круга и его установки для получения рациональных параметров режущего лезвия сверла. К параметрам шлифовального круга относятся: его диаметр D_{abr} , его толщина, связанная с радиусом RP_{abr} его полуокругло-выпуклого профиля. К параметрам установки, как было отмечено выше, относятся межосевое расстояние S_{abr} , угол скрещивания осей W_{abr} , угол поворота торца круга $epsil$. Для смещения поверхности подточки был введен четвертый параметр – смещение круга в перпендикулярном к межосевой линии направлении h_{abr} . Поскольку данный круг, в отличие от дисковой фасонной фрезы, не совершает длительного винтового движения, а определяет геометрию лезвия в своем конечном положении, то для этого был введен и пятый параметр установки – смещение круга вдоль оси сверла t_{abr} . Таким образом, для выбранного профиля шлифовального круга имеется семь параметров, определяющих положение и форму поверхности подточки, и передний угол на образованной ею кромке сверла.

В качестве первого изменяемого параметра был выбран диаметр шлифовального круга. Ценностью модели сверла, полученной адекватно технологии его изготовления, является точная форма стружечной канавки. Для моделирования подточки было выбрано сверло с достаточно большим углом наклона винтовой стружечной канавки, равным 40° . Компьютерным моделированием было установлено, что увеличение диаметра круга до привычных размеров не приводит к его касанию периферией кромки спинки сверла или режущей кромок этого сверла. Таким образом, можно выбрать необходимую величину диаметра круга с учетом практических соображений его эксплуатации. В данном примере диаметр был принят равным примерно $D_{abr} = 62$ мм. Вторым параметром в рассматриваемой методике была выбрана толщина абразивного круга. Очевидно, что такая толщина влияет на ширину поверхности подточки вдоль главной режущей кромки. Геометрия последней является рациональной для данных условий обработки и следует из конструкции сверла и угла наклона его винтовой стружечной канавки. Таким образом, увеличение поверхности подточки может привести к сокращению главной режущей кромки и ухудшению работы сверла. Поэтому ширина круга также выбирается минимально возможной, исходя из условий рациональной эксплуатации круга. В данном случае такая ширина была принята равной $2 \cdot RP_{abr} = 1,2$ мм (аналог ISO 603–15 1 F – $63 \times 1,25 \times 10$).

На следующем этапе было предложено определяться со смещением круга перпендикулярно межосевой линии примерно вдоль главной режущей кромки сверла (ось X) – h_{abr} . На первом этапе предложено этот параметр устанавливать так, чтобы срединная радиальная плоскость круга (плоскость его симметрии) проходила через ось сверла. В этом случае подточка поперечной режущей кромки будет максимальной, а сокращение главной режущей кромки примерно равным подточке пера у спинки. Далее было предложено определяться с межосевым расстоянием S_{abr} . Этот параметр определяет длину поперечной режущей кромки. Его величина выбирается, исходя из минимизации такой длины, при этом с сохранением достаточной прочности сверла у данной кромки. Вслед за этим было предложено определяться с углом скрещивания осей круга и сверла W_{abr} . В первом приближении его можно принять равным углу наклона винтовых стружечных канавок. Наконец, на последнем этапе необходимо определиться с углом поворота базовой плоскости круга относительно вертикальной оси сверла ϵ . От этого угла, как и от предыдущего, зависит исключение касания торцом круга кромок сверла. В дальнейшем вышеуказанные параметры можно снова варьировать во втором приближении, получая приемлемую переднюю поверхность (с лучшими условиями схода стружки), необходимую длину поперечной режущей кромки и при этом исключая касание кругом кромок сверла. После этого следует изменить последний, седьмой параметр t_{abr} для увеличения переднего угла.

Примеры вышеуказанных построений показаны на рис. 3. После второй итерации были выбраны следующие параметры установки: $\epsilon = 50^\circ$, $W_{abr} = 20^\circ$, что позволило получить передний угол $\gamma_{oc} = 3^\circ 50''$ в осевой плоскости сверла на расстоянии 0,35 мм и угол $\gamma_{oc} = 7^\circ 50''$ на расстоянии 0,70 мм. Данные значения оказались наибольшими среди других опробованных построений. Приближение шлифовального круга к хвостовику не привело к существенным изменениям переднего угла, что связано с относительно большим диаметром этого круга.

Рассматриваемая методика, как и все подобные методики геометрического CAD-моделирования выбора на этой основе рациональных параметров, имеет присущий ей недостаток: имеются трудности с решением оптимизационной задачи выбора размеров в условиях заданных ограничений для получения максимального рабочего параметра. Однако данная методика является достаточной для использования в условиях промышленных предприятий с целью получения наилучших характеристик сверла с исключением его подрезания абразивным инструментом. При этом ценным является определение всех параметров установки, которые следует реализовать при наладке станка, при этом получить заданную поверхность подточки и исключить подрезание вспомогательных режущих кромок и кромок на спинке сверла.

Выводы

1. Задача определения рациональных форм поверхностей подточек поперечной режущей кромки стандартных спиральных сверл, определения параметров абразивных кругов и параметров их установки относительно сверл с определением наилучших рабочих параметров этих сверл все еще остается актуальной задачей металлообработки.

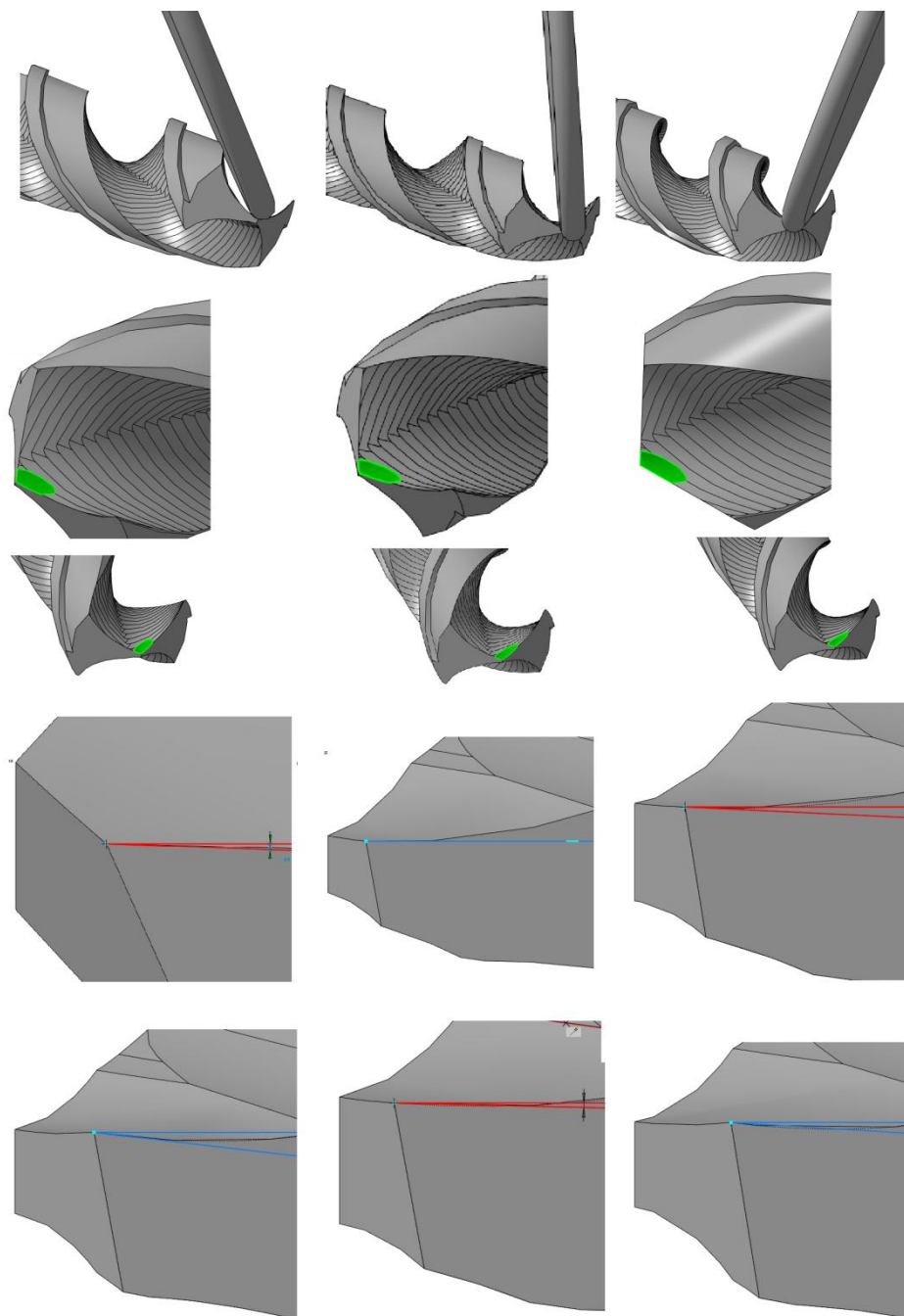


Рис. 3. Результаты моделирования с поворотом абразивного круга на угол ϵ , равный (слева направо): 105° , 70° и 40° . Внизу показаны соответствующие таким поворотам передние углы в осевых плоскостях, удаленных от оси сверла (сверху вниз) на 0,35 и 0,70 мм

Fig. 3. Simulation results considering the rotation of the abrasive wheel at an angle ϵ equal to (from left to right): 105° , 70° and 40° . Rake angles corresponding to such rotations in axial planes, remote from the drill axis (top to bottom) by 0.35 and 0.70 mm, are shown below

2. Классическое твердотельное моделирование, основанное на методах аналитической геометрии, позволяет с использованием коммерческих CAD-программ создавать параметрические модели спиральных сверл, адекватные технологии их изготовления.

3. Предложенная методика определения в CAD-системе параметров операции подточки поперечной режущей кромки не дала оптимального решения, однако итерационным подбором позволила определить параметры шлифовального круга и его установки для получения наибольших среди прочего передних углов на кромке, образованной такой подточкой.

Список литературы

1. Лоскутов В.В., Загребский П.П. Памятка заточника режущего инструмента. М.: Машгиз, 1945. 89 с.
2. Родин П.Р. Геометрия режущей части спирального сверла. Киев: Техніка, 1971. 136 с.
3. Попов С.А., Дибнер Л.Г., Каменкович А.С. Заточка режущего инструмента. М.: Высшая школа, 1970. 320 с.
4. Kennedy R.G. Some Experiments on the Influence of Various Factors on Drill Performance // Trans. ASME. 1957. P. 224–231.
5. Kang S.K., Ehmann K.E., Lin C. A CAD approach to helical groove machining. Part 2 Numerical evaluation and sensitivity analysis // Int. J. Mach. Tools Manufact. 1997. Vol. 37, No. 1. P. 101–117. DOI: 10.1016/0890-6955(95)00039-9.
6. Armarego E.J.A., Zhao H., Predictive Force Models for Point-Thinned and Circular Centre Edge Twist Drill Designs // CIRP Annals. 1996. Vol. 45, Iss. 1. P. 65–70. DOI: 10.1016/S0007-8506(07)63018-2.
7. Мартыненко К.Ф., Тихонов Д.А. Геометрия режущей кромки спирального сверла с обратным углом при вершине // Вестник СГТУ. 2010. № 1. С. 1–4.
8. Макашин Д.С. Влияние вида подточки поперечной режущей кромки на отклонение от цилиндричности при сверлении титанового сплава // Омский научный вестник. 2011. № 3 (103). С. 90–95.
9. Малышев В.И. Технология изготовления режущего инструмента. Тольятти: Изд-во ТГУ, 2012. 368 с.
10. Abdelhafeez A.M., Soo S.L., Aspiwall D. A Coupled Eulerian Lagrangian Finite Element Model of Drilling Titanium and Aluminium Alloys // SAE Int. J. Aerosp. 2016. V. 9(1). P. 198–207. DOI: 10.4271/2016-01-2126.
11. Nguyen V-H., Ko S-L. A New Method for Determination of Wheel Location in Machining Helical Flute of End Mill // J. of Manufacturing Science and Engineering, 2016, V. 138(11). P. 111003-1–111003-11. DOI: 10.1115/1.4033232.
12. Sambhav K., Tandon P., Dhande S.G. Geometric modeling and validation of twist drills with a generic point profile // Applied Mathematical Modelling. 2012. V. 36, P. 2384–2403. DOI: 10.1016/j.apm.2011.08.034.
13. Sambhav K., Dhande S.G., Tandon P. CAD Based Mechanistic Modeling of Forces for Generic Drill Point Geometry // Computer-Aided Design and Applications. 2010. V. 7(6). P. 809–819. DOI: 10.3722/cadaps.2010.809-819.
14. Jovanovic J.D., Spaic O. Geometric modeling of twist drills // 16th Int. Research/Expert Conf. “Trends in the Development of Machinery and Associated Technology”. 2012, Dubai, UAE. P. 115–118.
15. Abele E., Fajara M. Simulation-based twist drill design and geometry optimization // CIRP Annals. 2010. Vol. 59, Iss. 1. P. 145–150. DOI: 10.1016/j.cirp.2010.03.063.
16. Astakhov V. Geometry of Single-point Turning Tools and Drills. Springer-Verlag London Limited, 2010. 584 p. DOI: 10.1007/978-1-84996-053-3.
17. Ma Y., Liang Z., Wan K. Development of a New Micro Drilling Tool with H-Shaped Chisel Edge // Metals. 2023. Vol. 13(608). P. 1–14. DOI: 10.3390/met13030608.
18. Sorgato M., Bertolini R., Ghiotti A. Tool wear assessment when drilling AISI H13 tool steel multilayered claddings // Wear. 2023. Vol. 524–525, 204853. P. 2–12. DOI: 10.1016/j.wear.2023.204853.
19. Дерябин И.П., Павлючук С.И., Чернышев С.В. Экспериментальные исследования влияния подточки перемычки спиральных сверл на точность обработки отверстий // Наука ЮУрГУ: материалы 67-й научной конференции. Секции технических наук. Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ. 2015. С. 1278–1281.
20. Shchurova E.I. Voxel and Finite Element Modeling of Twist Drill // Proceedings of the 5th International Conference on Industrial Engineering (ICIE 2019). Lecture Notes in Mechanical Engineering. 2019. P. 181–190. DOI: 10.1007/978-3-030-22063-1_20.

References

1. Loskutov V.V., Zagretsky P.P. *Pamyatka zatochnika rezhushhego instrumenta* [Memo for sharpening cutting tools]. Moscow, 1945. 89 p.
2. Rodin P.R. *Geometriya rezhushhej chasti spiral'nogo sverla* [Geometry of the cutting part of a twist drill]. Kyiv, 1971. 136 p.
3. Popov S.A., Dibner L.G., Kamenkovich A.S. *Zatochka rezhushhego instrumenta* [Sharpening cutting tools]. Moscow, 1970. 320 p.
4. Kennedy R.G. Some Experiments on the Influence of Various Factors on Drill Performance. *Trans. ASME*, 1957, pp. 224–231.
5. Kang S.K., Ehmann K.E., Lin C. A CAD approach to helical groove machining. Part 2 Numerical evaluation and sensitivity analysis. *Int. J. Mach. Tools Manufact.*, 1997, vol. 37, no. 1, pp. 101–117. DOI: 10.1016/0890-6955(95)00039-9.
6. Armarego E.J.A., Zhao H. Predictive Force Models for Point-Thinned and Circular Centre Edge Twist Drill Designs. *CIRP Annals*, 1996, vol. 45, iss. 1, pp. 65–70. DOI: 10.1016/S0007-8506(07)63018-2
7. Martynenko K.F., Tikhonov D.A. Geometry of the cutting edge of a twist drill with a reverse angle at the tip. *Bulletin of SSTU*, 2010, no. 1, pp. 1–4. (In Russ.)
8. Makashin D.S. Influence of the type of point of the transverse cutting edge on the deviation from cylindricity when drilling a titanium alloy. *Omsk Scientific Bulletin*, 2011, no. 3 (103), pp. 90–95. (In Russ.)
9. Malyshev V.I. *Tekhnologiya izgotovleniya rezhushchego instrumenta* [Cutting tool manufacturing technology]. Togliatti, 2012. 368 p.
10. Abdelhafeez A.M., Soo S.L., Aspiwall D.A Coupled Eulerian Lagrangian Finite Element Model of Drilling Titanium and Aluminium Alloys. *SAE Int. J. Aerosp.*, 2016, vol. 9(1), pp. 198–207. DOI: 10.4271/2016-01-2126.
11. Nguyen V-H., Ko S-L. A New Method for Determination of Wheel Location in Machining Helical Flute of End Mill. *J. of Manufacturing Science and Engineering*, 2016, vol. 138(11), pp. 111003-1–111003-11. DOI: 10.1115/1.4033232.
12. Sambhav K., Tandon P., Dhande S.G. Geometric modeling and validation of twist drills with a generic point profile. *Applied Mathematical Modelling*, 2012, vol. 36, pp. 2384–2403. DOI: 10.1016/j.apm.2011.08.034.
13. Sambhav K., Dhande S.G., Tandon P. CAD Based Mechanistic Modeling of Forces for Generic Drill Point Geometry *Computer-Aided Design and Applications*, 2010, vol. 7(6), pp. 809–819. DOI: 10.3722/cadaps.2010.809-819.
14. Jovanovic J.D., Spaic O. Geometric modeling of twist drills. *16th Int. Research/Expert Conf. "Trends in the Development of Machinery and Associated Technology"*, Dubai, UAE, 2012, pp. 115–118.
15. Abele E., Fajara M. Simulation-based twist drill design and geometry optimization. *CIRP Annals*, 2010, vol. 59, iss. 1, pp. 145–150. DOI: 10.1016/j.cirp.2010.03.063.
16. Astakhov V. *Geometry of Single-point Turning Tools and Drills*. Springer-Verlag London Limited, 2010. 584 p. DOI: 10.1007/978-1-84996-053-3.
17. Ma Y., Liang Z., Wan K. Development of a New Micro Drilling Tool with H-Shaped Chisel Edge *Metals*, 2023, vol. 13 (608), pp. 1–14. DOI: 10.3390/met13030608.
18. Sorgato M., Bertolini R., Ghiotti A. Tool wear assessment when drilling AISI H13 tool steel multilayered claddings. *Wear*, 2023, vol. 524–525, 204853, pp. 2–12. DOI: 10.1016/j.wear.2023.204853
19. Deryabin I.P., Pavlyuchuk S.I., Chernyshev S.V. Experimental studies of the influence of the point of the jumper of twist drills on the accuracy of hole machining. *Science SUSU: materials of the 67th scientific conference. Sections of technical sciences. Chelyabinsk: SUSU*. 2015. pp. 1278–1281.
20. Shchurova E.I. Voxel and Finite Element Modeling of Twist Drill. *Proceedings of the 5th International Conference on Industrial Engineering (ICIE 2019). Lecture Notes in Mechanical Engineering*, 2019, pp. 181–190. DOI: 10.1007/978-3-030-22063-1_20.

Информация об авторе

Щурова Екатерина Игоревна, к.т.н., старший преподаватель кафедры «Технология автоматизированного машиностроения», Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия; shchurovaei@susu.ru

Information about the author

Ekaterina I. Shchurova, Candidate of engineering science, senior teacher of Automated machine-building technology department, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia; shchurovaei@susu.ru

Статья поступила в редакцию 25.12.2023; принята к публикации 14.01.2024.

The article was submitted 25.12.2023; accepted for publication 14.01.2024.