

05.02.01
6

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ СССР

ЧЕЛЯБИНСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
им. ЛЕНИНСКОГО КОМСОМОЛА

На правах рукописи

ИСТОМИН ВИКТОР МИХАЙЛОВИЧ

УДК.621.919.2

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ВИНТОВЫХ
ПРОТЯЖЕК ДЛЯ ОБРАБОТКИ СВЕРЛЮЩИХ ОТВЕРСТИЙ

Специальность 05.03.01

"Процессы и машины обработки материалов резанием;
автоматические линии"

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Челябинск - 1982

Работа выполнена на кафедре "Станки и инструмент"
Челябинского политехнического института им. Ленинского
комсомола

Научный руководитель:

доктор технических наук, профессор Д.К.МАРГУЛИС

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор Т.А.СУЛТАНОВ

Кандидат технических наук В.И.СИНИЦИН

Ведущее предприятие:

Производственное объединение "Завод им. Орджоникидзе"
(г. Челябинск)

Защита состоится " 27 " октября 1982 г. в _____ часов
на заседании специализированного Совета Д 053.13.02
Челябинского политехнического института им. Ленинского
комсомола, 454044, Челябинск, проспект В.И.Ленина, 76.
Ученый Совет.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Автореферат разослан " 24 " сентября 1982 г.

Ученый секретарь
специализированного Совета

кандидат технических наук, доцент

 Д.Н.СВИРИДОВ

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

АКТУАЛЬНОСТЬ: Директивы XXVI съезда КПСС по пятилетнему плану развития народного хозяйства СССР на 1981 - 1985 г.г. предусматривают непрерывный рост производства, который является закономерностью развития социалистического машиностроения. Увеличение объема производства продукции машиностроения и металлообработки не менее, чем в 1,4 раза, намеченное программой КПСС в XI пятилетке, возможна на базе широкого использования производительных технологических процессов и применения современных конструкций режущих инструментов, обеспечивающих получение высокого качества продукции и повышение производительности обработки.

Одним из таких производительных и точных процессов обработки металлов резанием является протягивание винтовыми протяжками. Винтовые протяжки используются при обработке коротких, глубоких и сверхглубоких отверстий. Процесс обработки сверхглубоких отверстий (L/D 60-100 и более) протягиванием является наиболее сложным и наименее изученным. Обработка сверхглубоких отверстий производится на низких скоростях резания (1 - 2 м/мин) с применением протяжек из дефицитных быстрорежущих сталей. При этом жаропрочный материал имеет высокие механические характеристики, в частности, большую вязкость, что затрудняет получение необходимой шероховатости поверхности и высокой стойкости протяжек. А низкая стойкость протяжек из быстрорежущих сталей приводит к повышенному расходу инструмента, в результате чего растет расход дефицитных элементов вольфрама и кобальта, содержащихся в составе быстрорежущих сталей, увеличиваются затраты вспомогательного времени на смену и заточку протяжек.

Так как добиться значительного улучшения характеристик быстрорежущей стали в настоящее время уже трудно, актуальной задачей на пути повышения эксплуатационных характеристик винтовых протяжек становится совершенствование их конструкции. Одними из основных элементов, оказывающими решающее влияние на качество обрабатываемой поверхности, работоспособность, производительность и прочность протяжек, являются геометрия их зубьев, угол наклона, форма и размеры винтовых стружечных каналов. Условия размещения и движения стружки по стружечным каналам ограничивают работоспособность винтовых протяжек, особенно при обработке сверхглубоких отверстий. Несмотря на значительное развитие теории конструирования металлорежущих инструментов, до сих пор не-

достаточно исследований по определению и обоснованному назначению конструктивных и геометрических параметров винтовых протяжек. Полностью отсутствуют какие-либо аналитические исследования по определению формы и размеров винтовых стружечных канавок из условия беспрепятственного вывода стружки из зоны резания.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ. Совершенствование конструкции винтовых протяжек для обработки сверхглубоких отверстий, обеспечивающих получение высокого качества обработанных поверхностей и повышение производительности обработки.

НАУЧНАЯ НОВИЗНА. Разработаны улучшенная форма стружкоразделительных канавок с несимметричным профилем и способ ее выполнения. Впервые теоретически и экспериментально исследованы условия движения стружки по винтовым стружечным каналам в плоскости схода стружки. На базе аналитических исследований обоснован выбор угла наклона винтовых зубьев, величина которого должна быть не более $41^{\circ}46'$.

Впервые получена расчетная формула для определения площади проходного сечения стружечной канавки, которая показывает, что выбор площади канавки не зависит от длины протягивания. Определена форма стружечной канавки и разработана методика расчета ее размеров из условий обеспечения требуемой площади проходного сечения и беспрепятственного движения стружки по стружечным каналам.

На основании экспериментальных исследований установлены геометрические и конструктивные параметры винтовых протяжек для обработки сверхглубоких отверстий, обеспечивающих максимальную стойкость инструмента. Получены зависимости для определения удельной силы резания.

Впервые разработана методика аналитического расчета винтовых протяжек для обработки сверхглубоких отверстий.

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЦЕННОСТЬ РАБОТЫ И ЕЕ РЕАЛИЗАЦИЯ. Для заточки винтовых протяжек по передней и задней поверхностям модернизирован универсально-заточной станок мод. ЗБ342. Спроектированы и изготовлены приспособления для заточки и доводки протяжек и правки шлифовального круга.

Изготовление стружкоразделительных канавок несимметричной формы с углом наклона 7° на винтовых протяжках обеспечивает получение положительных задних углов на вспомогательных режущих кромках. Их изготовление позволяет применять круги большего диаметра, чем при изготовлении осевых канавок. Преимущества стружкоразде-

дательных канавок несимметричной формы могут быть распространены на протяжки всех видов для внутреннего и наружного протягивания.

Разработан алгоритм расчета комплекта винтовых протяжек для обработки сверхглубоких отверстий, а также размеров и параметров установки шлифовального круга, применяемого при заточке по передней поверхности. Конструкция протяжки защищена авторским свидетельством.

Результаты исследований прошли производственную проверку и внедрены на Златоустовском машиностроительном заводе. Применение винтовых протяжек усовершенствованной конструкции с рациональными геометрическими параметрами при соответствующем качестве заточки режущих лезвий позволило увеличить стойкость их в 1,6 раза, сократить число протяжек в комплекте и повысить производительность процесса обработки на 30%.

Экономический эффект от внедрения протяжек составил 30000 рублей в год.

АГРОБАЦИЯ РАБОТЫ. Основные результаты работы докладывались и обсуждались на XXX, XXXI, XXXIII научно-технических конференциях Челябинского политехнического института им. Ленинского комсомола (1977, 1978, 1980 г.г.), на научно-технической конференции "Пути и методы совершенствования процессов резания металлов на предприятиях области" (г. Свердловск) в 1977 г., на научно-техническом семинаре "Прогрессивные конструкции и технология изготовления режущего инструмента" (г. Киев) в 1977 г., на IX научно-технической конференции инструментальщиков Западного Урала в г. Перми в 1977 г., на II Всесоюзной научно-технической конференции "Пути повышения эффективности обработки протягиванием" г. Челябинск в 1978 г., на научно-техническом семинаре ИДНТИ "Обработка материалов резанием" (г. Москва) в 1979 г.

ПУБЛИКАЦИИ. По результатам выполненных теоретических и экспериментальных исследований опубликовано 6 работ и получено одно авторское свидетельство.

ОБЪЕМ РАБОТЫ. Работа состоит из введения, шести разделов, списка литературы и приложений. Диссертация включает 108 страниц машинописного текста, 57 рисунков, 20 таблиц, список литературы из 78 наименований.

е

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

I. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА ОБРАБОТКИ СВЕРХГЛУБОКИХ ОТВЕРСТИЙ ВИНТОВЫМИ ПРОТЯЖКАМИ

Представлен обзор работ, посвященных описанию конструкции, геометрии винтовых протяжек, их проектированию и изготовлению. Проанализировано состояние проблемы повышения производительности и обеспечения высокого качества обработанных поверхностей.

Особенности обработки глубоких и сверхглубоких отверстий гладкого профиля в жаропрочных сталях, относящихся к одной группе обрабатываемости, протяжками с винтовыми зубьями описаны в работах М.Г.Арефьева, Е.Д.Баклунова, И.Е.Бурштейна, Н.И.Жагалко, П.Г.Камева, С.А. Черничкина и других авторов. Однако данные по конструкции, геометрии, стойкостным и силовым зависимостям, приводимые в литературе, существенно отличаются друг от друга. При проектировании винтовых протяжек ими нельзя воспользоваться.

Из анализа литературных источников и работы протяжек в производственных условиях следует, что при изготовлении винтовых протяжек имеются трудности по качественной заточке режущих лезвий. Измерения показывают, что в производстве не обеспечивается заданная чертежом величина переднего угла. Имеет место значительная шероховатость на передних и задних поверхностях винтовых режущих лезвий, что снижает стойкость протяжек. Выяснено, что для качественной заточки винтовых протяжек необходимо обеспечение эквидистантного расположения следов обработки на передней поверхности режущему лезвию и механизация операций заточки и доводки.

Стружкоразделительные канавки традиционных U и V образных форм, выложенные вдоль оси в шахматном порядке, не обеспечивают требуемой геометрии на вспомогательных режущих кромках. Необходимо отметить, что общая методика аналитического расчета винтовых протяжек в литературе не разработана. Угол наклона винтовых зубьев, профиль и глубину стружечных канавок большинство авторов рекомендуют назначать конструктивно, без учета условий разматывания и движения стружки по канавке.

В связи с вышесказанным, в данной работе поставлены следующие задачи:

I. Усовершенствовать операции заточки, доводки винтовых зубьев

- протяжек и выполнения стружкоразделительных канавок.
2. Аналитически и экспериментально исследовать условия размещения и движения стружки по винтовым канавкам.
 3. Установить силовые и стойкостные зависимости при работе винтовыми протяжками.
 4. Разработать методику аналитического расчета винтовых протяжек для обработки сверхглубоких отверстий.
 5. Внедрить результаты работы в производство.

2. УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОПЕРАЦИЙ ЗАТОЧКИ, ДОВОДКИ ВИНТОВЫХ ЗУБЬЕВ ПРОТЯЖЕК И ВЫПОЛНЕНИЯ СТРУЖКОРАЗДЕЛИТЕЛЬНЫХ КАНАВОК

Раздел посвящен описанию модернизации универсально-заточного станка ЗБ642, обеспечивающей заточку и доводку винтовых протяжек по передней и задней поверхностям, и разработке улучшенной формы стружкоразделительных канавок.

Для заточки винтовых протяжек было разработано и изготовлено приспособление для заточки, которое устанавливается на столе станка ЗБ642. Для проточки крута, используемого при заточке протяжек по передней поверхности, было изготовлено приспособление для правки. Приспособление устанавливается на направляющих или фовальной головке и позволяет производить правку крута по двум радиусам и прямой алмазным карандашом типа Ц.

Заточка винтовых протяжек по передней поверхности заправленным крутом с использованием приспособлений обеспечивает эквидистантное расположение следов обработки на передней поверхности. Это позволяет получать значительно меньшую зазубренность режущего лезвия (до 0,03 мм), чем при заточке по старой технологии.

Доводка задних поверхностей винтовых протяжек осуществляется также на станке ЗБ642 при помощи доводочного приспособления, устанавливаемого в шпиндель станка. Для доводки применялись притиры чашечной формы.

Доводка винтовых протяжек плоскими притирами с использованием доводочного приспособления позволяет получать шероховатость задних поверхностей в пределах R_a 0,32 - 0,16 мкм, против R_a 1,25 мкм по старой технологии.

Известно, что стойкость винтовых протяжек со стружкоразделительными канавками зависит от наличия положительных задних

углов на вспомогательных режущих кромках, образовавшихся при выполнении канавок на задних поверхностях винтовых зубьев. Для получения положительных задних углов на вспомогательных кромках в работе было предложено стружкоразделительные канавки выполнять на винтовой линии, угол наклона ω_1 , которой меньше, чем угол наклона винтовых зубьев ω .

Анализ геометрии вспомогательных режущих кромок у протяжек, имеющих U и V-образные формы стружкоразделительных канавок, показал, что при выполнении их даже на винтовой линии, на одной из кромок получается отрицательный передний угол.

С учетом этого предложена форма (рис. 1) V-образной канавки, одна из сторон которой составляет прямой угол с плоскостью резания.

Из условия расположения стружкоразделительных канавок на задних поверхностях зубьев в шахматном порядке угол наклона ω_1 , их определяется по формуле

$$\omega_1 = \alpha \operatorname{arctg} \frac{n \cdot \operatorname{tg} \omega}{2m} \quad (1)$$

где n - число стружечных канавок,

m - число стружкоразделительных канавок.

При выполнении стружкоразделительных канавок с направлением, противоположным направлению стружечных, во время работы у протяжек уменьшается окружная составляющая силы резания. Это происходит за счет того, что окружная сила на вспомогательных режущих кромках направлена в противоположную сторону относительно основной окружной составляющей силы резания.

Выполнение винтовых стружкоразделительных канавок может быть осуществлено на универсально-заточных станках с применением делительной головки с копирной линейкой. Инструмент должен иметь профиль, соответствующий профилю канавки. Этому условию отвечают абразивные круги формы 14К, у которых $\varphi = 65^\circ$. Для того, чтобы задний угол на вспомогательной режущей кромке СД был в пределах $3^\circ - 6^\circ$, угол ω , наклона винтовых стружкоразделительных канавок должен быть $6^\circ 30' - 13^\circ$. Тогда число канавок можно будет определить как

$$m = (2,16 \dots 4,38) \cdot n \cdot \operatorname{tg} \omega \quad (2)$$

Как и при выполнении осевых канавок абразивный круг при

прорезании винтовых стружкоразделительных канавок в конце хода не должен повреждать следующий зуб. В работе представлен расчет определения максимально допустимого диаметра абразивного круга, необходимого для прорезания винтовых стружкоразделительных канавок. Расчет показал, что для выполнения винтовых стружкоразделительных канавок таких же размеров, что и осевых, диаметр круга должен быть в 1,4 раза больше.

Таким образом, при выполнении стружкоразделительных канавок несимметричной формы на винтовой линии обеспечиваются положительные задние углы на вспомогательных режущих кромках. Изготовление их позволяет применять абразивные круги большего диаметра, чем при прорезании осевых канавок.

3. АНАЛИТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ФОРМЫ И РАЗМЕРОВ ВИНТОВЫХ СТРУЖЕЧНЫХ КАНАВОК

В технической литературе, посвященной обработке сверхглубоких отверстий, указывается, что на форму и размеры стружечных канавок большое влияние оказывает длина и материал обрабатываемых деталей. В связи с этим рекомендуются три формы: двухрадиусная, удлиненная с радиусной спинкой зуба и удлиненная с прямолинейной спинкой зуба. В производстве применяются протяжки, имеющие двухрадиусную форму канавки. Разнообразие форм стружечных канавок обуславливается видом стружки, получаемой при обработке различных материалов. Форма и размеры канавки выбираются из условия, что вся стружка, срезаемая за рабочий ход инструмента, помещается в канавке. При этом не учитывается влияние угла наклона режущих зубьев на непрерывный отвод стружки из зоны резания.

Для изучения процесса заполнения и движения стружки по винтовым каналам были выполнены шлифы винтовых протяжек, остановленных на различных участках рабочего хода. Установлено, что заполнение стружечных канавок при нормальной работе идет до определенной плотности. После достижения ее плотность заполнения на оставшемся участке пути остается практически постоянной - стружка "течет" по каналу в обработанное отверстие за протяжку. Стружка достаточно заполняет сечение канавки. В зоне спинки зуба и обработанной поверхности наблюдается скопление большого числа тонких стружек. Плотность их намного больше, чем в остальной части ка-

навки. Стружка после выхода протяжки из обработанного отверстия имеет рыхлую винтообразную форму и легко разрушается. Было сделано предположение, что продвижение стружки по канавке сдерживает заторможенная и опрессованная в зоне спилки зуба и обработанной поверхности стружка. В результате течения основной массы стружки по каналу происходит отрыв ее от заторможенной части, на что затрачивается соответствующая часть усилия протягивания. Из этого следует вывод, что двухрадиусная форма стружечных канавок при рекомендуемых в работах С.А.Черничкина, П.Г.Кацева, Н.И.Жагалко и других авторов соотношениях ее геометрических размеров не удовлетворяет условиям беспрепятственного течения стружки по винтовому каналу.

В связи с этим была поставлена задача теоретического изучения условий течения стружки и установления геометрических форм стружечных канавок для выполнения этих условий.

Известно, что при косоугольном резании передний угол в процессе резания значительно больше, чем в статике, а угол схода стружки φ практически мало отличается от угла наклона λ режущего лезвия относительно перпендикуляра к вектору скорости. Приняв последнее за основу, в работе были рассмотрены профили винтовых канавок в плоскости схода стружки и возможные движения стружки в этой плоскости.

Для установления профиля стружечного канала в плоскости схода стружки необходимо выполнить сечение винтовой канавки плоскостью N (рис. 2), проходящей через вершину зуба и направлении схода стружки по передней поверхности.

Профиль винтовой канавки в плоскости схода стружки $X, \Delta Z$, определяется уравнением

$$(f_1 \cdot \sin V + f_2 \cdot \cos V - R \cdot \sin V_n) \cdot \sin W_1 + [f_3 + P(V - V_n)] \cdot \cos W_1 = 0, \quad (3)$$

где $f_1; f_2; f_3$ - координаты точек по осям Ox, Oy, Oz профиля винтовой канавки;

V - угловая координата точек профиля.

Данное уравнение является трансцендентным относительно параметра V и решается методом последовательных приближений.

Угол наклона касательной к профилю в рассматриваемых точках

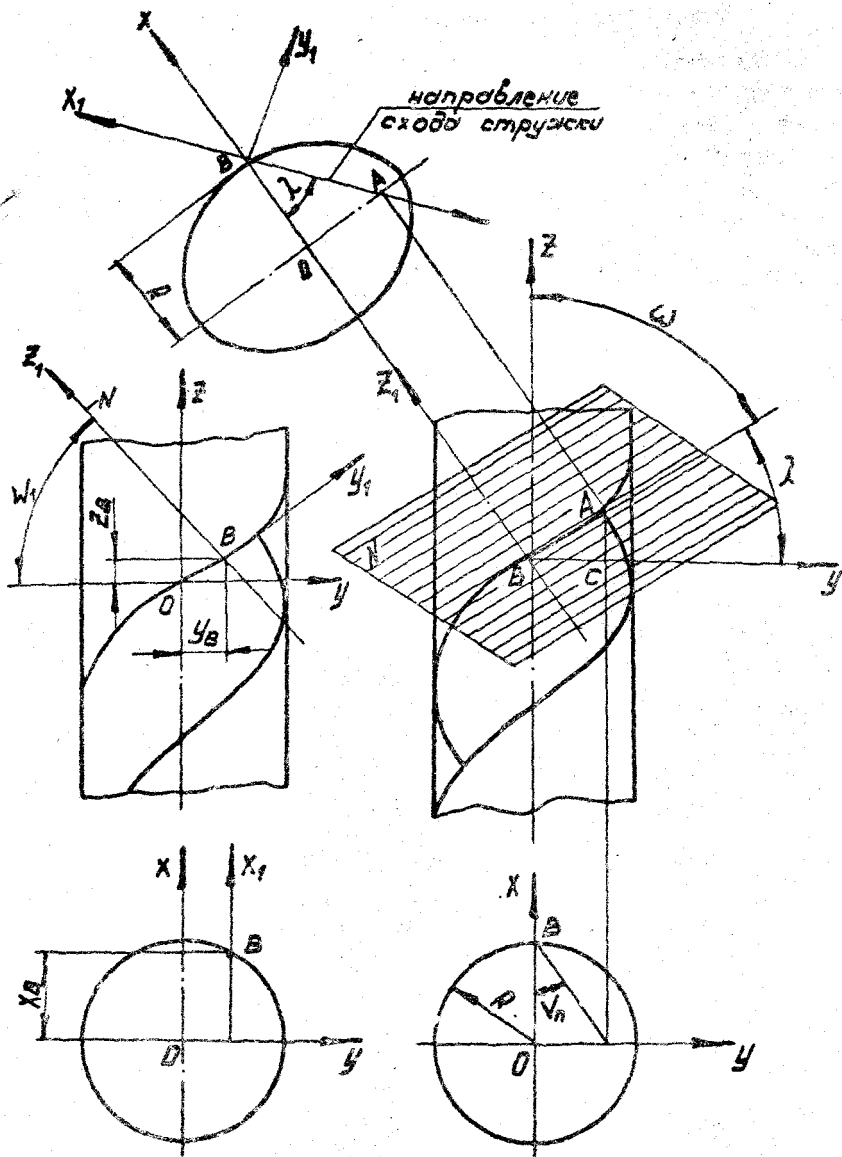


Рис. 2. К определению положения плоскости схода стружки

в плоскости схода стружки определяется по формуле

$$\varphi = -\alpha \operatorname{arctg} \left(\frac{\partial x_1}{\partial V} \cdot \frac{\partial y_1}{\partial V} \right), \quad (4)$$

где частные производные:

$$\frac{\partial x_1}{\partial V} = -f_1 \cdot \sin V - f_2 \cdot \cos V; \quad (5)$$

$$\frac{\partial y_1}{\partial V} = (f_1 \cdot \cos V - f_2 \cdot \sin V) \cdot \sin W_1 + P \cdot \cos W_1.$$

Разработаны программы на ЭВМ "Наир-К", по которым произведен расчет координат профиля винтовой канавки в плоскости схода стружки и соответствующих углов наклона касательных в рассматриваемых точках стружечного канала.

Проведя анализ всех трех профилей стружечных канавок для изделия с $\omega = 39^\circ$, было установлено, что ни один из представленных в технической литературе профилей не соответствует нормальному течению стружки по каналу. Это связано с тем, что в зоне сгинки канавки и обработанной поверхности образуются узкие каналы с углами наклона в направлении перпендикулярном к плоскости схода стружки, которые создают стесненные условия для движения стружки. Это обстоятельство и объясняет уплотнение стружки в указанной зоне канавки, наблюдаемое на шлифах стружечных канавок. Для исключения возможности заклинивания стружки в стружечном канале необходимо в первую очередь исключить образование узких каналов за счет уменьшения ширины канавок в осевом сечении. Предложено производить уменьшение ширины канавок до зоны, где имеет место максимальный угол наклона касательной в плоскости схода стружки. Установлено, что при этом условия беспрепятственное движение стружки возможно при углах наклона винтовых зубьев меньше $41^\circ 48'$. При больших углах наклона стружечных канавок движение стружки также возможно, но при этом она будет двигаться в основном за счет сил, которые создает сама стружка, скользящая по передней поверхности винтового зуба.

Установлено, что ширина стружечной канавки ξ_m , соответствующая φ_{max} , должна быть не более $0,589 \xi_{ос}$.

Анализируя изменение наклона винтовой поверхности в плоскости схода стружки по передней поверхности, можно отметить, что она

является препятствием для движения стружки. Влияние это может быть уменьшено путем создания вертикальной или выпуклой поверхности в плоскости схода стружки.

Максимально допустимая глубина канавки из условия беспрепятственного схода стружки по передней поверхности винтового зуба будет

$$\hat{h}_m = R(1 - \sin V_n) + Z_1 \cos W_1 \quad (6)$$

Зная максимально допустимую ширину канавки ℓ_m и ее глубину \hat{h}_m , в работе определены параметры аппроксимирующей окружности и координаты профиля стружечной канавки в осевом сечении (рис.3), а также ее фактическая площадь $F_{\text{ф}}$. Последняя сравнивалась с $F_{\text{ос}}$ расчетной.

$$F_{\text{ф}} = \ell_K \cdot y_R + \frac{1}{2} \left[R_K^2 \left(\alpha \arcsin \frac{\ell_K - X_R}{R_K} + \alpha \arcsin \frac{X_R}{R_K} \right) + X_R \sqrt{R_K^2 - X_R^2} - y_R (\ell_K - X_R) \right] \quad (7)$$

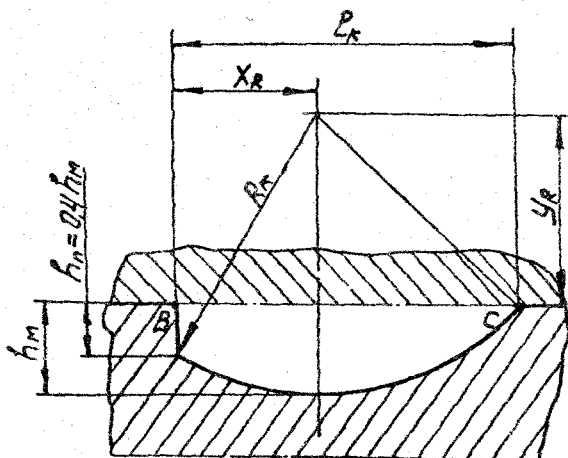


Рис. 3 Профиль канавки в осевом сечении

Если окажется, что $F_{ос} < F_{ф}$, то необходимо уменьшить подачу и соответственно диаметр D_0 винтовой протяжки в начале режущей части. Если $F_{ос} > F_{ф}$, то есть возможность уменьшить размеры канавки и тем самым увеличить жесткость и прочность винтового стебля протяжки.

Площадь проходного сечения канавки для пропуска в канал за протяжку всего объема срезаемой стружки определяется

$$F_{ос} = \frac{f \cdot K_c \cdot t_{ос} \cdot (D_k^2 - D_0^2)}{4 \cdot K_e \cdot H \cdot \sin \omega}, \quad (8)$$

где $t_{ос}$ - осевой шаг между соседними зубьями;
 H - шаг винтовых зубьев;
 D_k - диаметр калибрующих зубьев протяжки;
 D_0 - диаметр зубьев в начале режущей части протяжки;
 K_c - коэффициент проходного сечения, учитывающий неплотное прилегание стружек в канале;
 K_e - коэффициент, показывающий изменение длины стружечного валика относительно длины протягиваемого отверстия.

Коэффициенты K_c и K_e определялись экспериментально.

Для двухзаходных протяжек $\frac{H}{t_{ос}} = 2$, тогда

$$F_{ос} = \frac{f \cdot K_c \cdot (D_k^2 - D_0^2)}{8 \cdot K_e \cdot \sin \omega}. \quad (9)$$

Полученная формула показывает, что выбор площади канавки не зависит от длины обрабатываемого отверстия. Этим она существенно отличается от зависимостей, имеющих в технической литературе (В.Ф.Бобров, Н.И.Мигалко), посвященной обработке отверстий винтовыми протяжками.

Изучение шлифов протяжек, имеющих размеры и профиль стружечных канавок, близкие к расчетным, показало, что заполнение стружечных канавок в процессе работы у таких протяжек происходит менее плотно, чем у протяжек, применяемых в производстве. В зоне спинки зуба и обработанной поверхности отсутствует скопление тонких стружек. Это подтверждает справедливость принятых положений при аналитических исследованиях по определению формы и размеров стружечных канавок.

4. МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Экспериментальные исследования проводились на 2-х стороннем горизонтально-протяжном станке мод. "Праг Витней" при одной скорости протягивания 1 м/мин. В качестве СОС использовали водно-мыльную эмульсию.

Эксперименты проводились на деталях из стали 30ХНМФА по ГОСТ 1560-70 твердостью 255-269НВ, предел прочности - $\sigma_s = 90 \text{ кгс/мм}^2$. Номинальный диаметр протягиваемого отверстия 7,79 мм, длина - 740 мм.

Требования к отверстию после выполнения предварительной обработки ружейными сверлами:

1. Допускаемый эксцентриситет отверстия относительно наружного диаметра до 1,5 мм.
2. Разбивка отверстия в пределах 0,3 мм.
3. Шероховатость поверхности - R_z 80 мкм.

Кривизна детали на ее длине после правки не должна превышать 0,1 мм.

Требования к окончательно обработанному отверстию после протягивания следующие:

1. Разбивка отверстия, кривизна не должны превышать 0,06 мм.
2. Шероховатость поверхности - не выше R_{a1} 1,25 мкм по ГОСТ 2789-73.

В качестве режущего инструмента использовались двухзаходные винтовые протяжки, изготовленные из быстрорежущей стали P18. Основные технические требования на изготовление протяжек назначались по ГОСТ 9126-76.

На основании анализа литературных источников и предварительных исследований был выбран диапазон варьирования конструктивных и геометрических параметров протяжек:

- по переднему углу γ в пределах $-10^\circ - +10^\circ$
- по ширине ленточки на режущих зубьях $f_{\text{рез}} - 0 - 0,15 \text{ мм}$
- по ширине ленточки на калибрующих зубьях $f_{\text{кал}} - 0,1 - 0,3 \text{ мм}$
- по величине подъемов на зуб $S_z - 0,006 - 0,02 \text{ мм}$.

На черновых протяжках наносились стружкоразделительные канавки с углом наклона $\omega_1 = 7^\circ$, как с правым, так и левым направлением. Для испытаний протяжки изготавливались с двумя формами стружечных канавок: обычной двухрадиусной и удлиненной двухрадиусной без наклонной стенки.

Стойкость протяжек определялась количеством обработанных деталей, за критерий затупления принимался технологический фактор - шероховатость обработанной поверхности, соответствующая $R_a 1,25$ мкм по ГОСТ 2783-73. Шероховатость обработанной поверхности изучалась на микроскопе МИС-11 и профилографе-профилометре модели 201.

В процессе исследования величины передних углов и подъем на зуб замерялись на инструментальном микроскопе БМИ на шлифах продольного сечения протяжек после обработки деталей.

Радиус округления режущих кромок измерялся в двух-трех точках как режущих, так и калибрующих зубьев с помощью микроскопов УИМ-23 и ММР-2Р по отпечаткам на латунной фольге толщиной 0,15 мм. Отпечаток режущего лезвия либо проектировался на экран микроскопа (увеличение $\times 400$) УИМ-23 и вычерчивался на кальке, либо фотографировался на микроскопе ММР-2Р, а затем величина радиуса округления определялась путем сравнения изображения с эталонированными радиусами.

Величина зазубренности режущих лезвий протяжек со стороны задней поверхности измерялась после фотографирования на микроскопах УИМ-21 и МММ-8.

Процесс стружкоразмещения при работе винтовыми протяжками изучался на образцах, изготовленных следующим образом: образец вырезался из детали вместе с протяжкой, оставленной в отверстии на определенной глубине, промывался в ацетоне, заливался эпоксидной смолой ЭД-20, шлифовался до середины, полировался и травился. Раствор для травления - 4% спиртовой раствор азотной кислоты.

Усилия протягивания измерялись при помощи проволочных тензодатчиков типа ЗПКБ-10-200 ГВ, наклеенных на поверхность тяга, в которую крепится протяжка. Сигнал от тензодатчиков усиливался тензостанцией типа УТЧ-1 и подавался на осциллограф Н-117, где регистрировался на фотобумаге типа УФ-67.

Испытания винтовых протяжек на прочность проводились на разрывной машине типа Р5 0-5000 кгс.

В работе использованы статистические методы планирования и обработки результатов экспериментов. Нахождение коэффициентов аппроксимирующих моделей при определении значений сил проводилось на ЭВМ "Минск-22".

5. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Влияние геометрии инструмента на его стойкость. Экспериментальные исследования при работе винтовыми протяжками с заточенными режущими зубьями на остро показали, что после протягивания деталей такими протяжками на обработанных поверхностях появляется волнистость, которая является недопустимой. Появление волнистости на обработанной поверхности при протягивании протяжками, заточенными на остро, объясняется тем, что в производственных условиях невозможно довести винтовые режущие лезвия без смятия. Это связано с неравномерностью съема металла по задней поверхности при доводке разных заходов, с погрешностями изготовления центров, с искривлением оси протяжки под действием внутренних напряжений и др. причинами. В процессе работы такими протяжками возникают неуравновешенные радиальные силы, и, как следствие, обработанная поверхность получается волнистой.

С целью исключения явления волнистости при протягивании винтовыми протяжками в производственных условиях была изготовлена партия протяжек с оставлением ленточки на режущих зубьях величиной от 0,02 до 0,15 мм.

Установлено, что максимальная стойкость получается у протяжек, заточенных с величиной ленточки на режущей части от 0,02 до 0,09 мм, при этом величина ленточки на калибрующей части колеблется в пределах от 0,1 до 0,2 мм. Волнистость обработанной поверхности при обработке такими протяжками отсутствует.

Выяснено, что увеличение стойкости происходит при незначительном увеличении переднего угла. Максимальная стойкость получается при значениях γ от 3° до 6° . В производственных условиях протяжки работают и при отрицательных значениях переднего угла. Это связано с тем, что при изменении переднего угла $\gamma_{\text{ос}}$ в статике в пределах от -20° до 5° кинематический угол изменяется от 28° до $39,7^\circ$. Следует отметить, что отрицательный передний угол затрудняет получение минимального значения радиуса округления режущего лезвия, который оказывает максимальное влияние на стойкость протяжек. Наибольшую стойкость показывают протяжки, имеющие радиус округления режущего лезвия не более 0,01 мм. При этом установлено, что при подъемах на зуб S_z в пределах от 0,006 до 0,015 мм, как максимальных, так и минимальных его значениях, стойкость протяжек получается разной. В результате эксце-

риментальных исследований и математической обработки результатов экспериментов установлено, что в исследуемом диапазоне подъемов на зуб, на стойкость протяжки превалирующее влияние оказывает не величина подъема на зуб, а радиус округления режущего лезвия и качество заточки режущего лезвия зуба. То есть, увеличив величину подъема на зуб до максимального значения, обеспечив качество заточки режущих лезвий у протяжек (минимальный радиус округления, эквидистантное расположение следов обработки на передней поверхности, минимальную зазубренность, необходимую шероховатость на передней, задней поверхностях и ленточке), можно получить максимальную стойкость.

Установлено, что для получения шероховатости R_a 1,25 мкм подъем на зуб у чистовых протяжек можно назначать не более 0,011 мм а для получения R_a 2,5 мкм у черновых протяжек подъем на зуб можно назначать не более 0,02 мм. Увеличение подъема на зуб до 0,010 мм (против 0,006 мм по старой технологии) у чистовых протяжек и до 0,018 мм у черновых позволило объединить две черновые протяжки в одну и сократить количество протяжек в комплекте с трех до двух. Результаты экспериментальных исследований показали, что стойкость протяжек в комплекте из трех штук, изготовленных по усовершенствованной технологии с рациональными геометрическими параметрами увеличилась по сравнению с протяжками, изготовленными по старой технологии, с 10 до 16 деталей. Стойкость протяжек в комплекте из двух штук при обеспечении шероховатости R_a 1,25 мкм также составила в среднем 16 деталей (11,84 м), при этом производительность процесса протягивания увеличилась на 30%.

Исследование силовых зависимостей. Зависимости для расчета осевой удельной силы резания, приходящейся на 1 мм длины режущей кромки, получены методом полного факторного эксперимента типа 2^3 при следующих значениях нижнего и верхнего уровней варьирования действующих факторов: передний угол $-6^\circ - 6^\circ$, подъем на зуб 0,0075 - 0,02 мм, ширина ленточки на режущих зубьях протяжки - 0,02 - 0,1 мм. После обработки результатов на ЭВМ "Минск-22" получено уравнение для удельной силы резания

$$q_0 = -0,56 - 0,039\gamma + 552S_2 + 64,91f_{рез.} - \quad (10)$$

$$- 35,07\gamma \cdot S_2 - 3480S_2 \cdot f_{рез.}$$

Из анализа осциллограмм осевой силы $P_{ос}$ и крутящего момента $M_{кр}$ получены зависимости

$$P_{ос} = P_p + P_c + P_k, \quad (II)$$

$$M_{кр} = M_p + M_c + M_k,$$

где индексы показывают составляющие от резания (p), трения стружки (c) и трения калибрующей части протяжки (k). Обработка результатов экспериментов дала следующие соотношения составляющих по силовым зависимостям:

$$P_c = (0,05 - 0,28) \cdot P_{ос}; \quad P_k = (0,008 - 0,03) \cdot P_{ос}; \quad (I2)$$

$$M_c = (0,1 - 0,2) \cdot M_{кр}; \quad M_k = (0,009 - 0,03) \cdot M_{кр}.$$

Из формул следует, что на долю трения стружки о протяжку и обрабатываемую деталь при протягивании сверхглубоких отверстий приходится до 28% результирующего осевого усилия и до 20% результирующего крутящего момента. Крутящий момент, действующий на протяжку, по результатам исследований получается

$$M_{кр} = K_M \cdot \frac{P_{ос} \cdot D}{2 \cdot \tan \omega}, \quad (I3)$$

где D — номинальный диаметр протяжки;

ω — угол наклона винтовой линии;

K_M — коэффициент пропорциональности, $K_M = 0,3 - 0,4$.

Зависимость для осевой силы резания $P_{ос}$ может быть представлена в виде

$$P_{ос} = q_0 \cdot \ell_p \cdot K_{ро} \cdot K_{гс}, \quad (I4)$$

где ℓ_p — суммарная длина режущих кромок в проекции на торцевую плоскость;

$K_{ро}$ — поправочный коэффициент, зависящий от наличия разделения и направления стружкоразделительных канавок.

Экспериментально установлено, что наличие стружкоразделительных канавок при протягивании уменьшает осевую силу резания на 20–30% и увеличивает крутящий момент на 15–20% для протяжек, имеющих направление стружкоразделительных канавок в одну сторону.

В результате обработки экспериментальных данных установлено,

что удельная сила резания q_p при работе винтовых протяжек на 30% меньше, чем при прямоугольном резании по работам Д.К. Маргулса. Эти результаты согласуются с исследованиями В.Ф. Боброва, Н.Н. Зорева при косоугольном резании с углами наклона режущей кромки близкими к 45° .

Исследования показали, что протяжки с оптимальными параметрами стружечной канавки, выбранными из условия обеспечения требуемой площади проходного сечения, имеют больший диаметр сердцевины и более мощный зуб за счет уменьшения ширины стружечной канавки чем протяжки, изготовленные по старой технологии. Испытания на прочность показали, что наиболее опасным сечением во всех случаях оказывается резьбовой хвостовик. Следовательно, отпадает необходимость расчета винтовой части протяжки, учета ее крутильной жесткости при расчете на прочность. А для расчета на прочность резьбового хвостовика можно использовать известные формулы из сопротивления материалов.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Усовершенствованы операции заточки и доводки винтовых протяжек, обеспечивающие требуемую геометрию и минимальную шероховатость режущих лезвий.
2. Разработаны улучшенные формы стружкоразделительных канавок и способ ее выполнения. Стружкоразделительные канавки, выполненные на винтовой линии с несимметричным V-образным профилем, обеспечивают положительные задние углы на вспомогательных режущих кромках.
3. На базе аналитических исследований из условия беспрерывного движения стружки по стружечному каналу установлена необходимость применения протяжек с углом наклона винтовых зубьев не менее $41^\circ 48'$.
4. Получена расчетная формула для определения площади проходного сечения стружечной канавки, которая показывает независимость ее от длины протягивания.
5. Разработаны аналитические зависимости для расчета диаметров стружечной канавки из условия обеспечения требуемой площади проходного сечения.

6. На основании экспериментальных исследований установлены геометрические и конструктивные параметры винтовых протяжек, обеспечивающие повышение стойкости их в 1,6 раза. Применение протяжек с рациональными геометрическими параметрами при соответствующем качестве заточки режущих лезвий позволило сократить число протяжек в комплекте и повысить производительность процесса обработки на 30%.

7. Установлены зависимости удельной силы резания от геометрических и конструктивных параметров винтовой протяжки.

8. Впервые разработана методика аналитического расчета комплекта винтовых протяжек. Алгоритм расчета реализован на ЭВМ.

9. Внедрение результатов исследования в производство дало экономический эффект 30 000 руб. в год.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

1. Гаврилов В.Н., Гаврилов Ю.В., Истомина В.М. Винтовые протяжки. - В сб.: Прогрессивная технология чистовой и отделочной обработки № 211. Челябинск: ЧПИ, 1978, с. 163-164.
2. Гаврилов Ю.В., Истомина В.М. Винтовые протяжки и технологические особенности их изготовления. - В сб.: Пути повышения эффективности инструментального производства и качества инструмента. Тезисы докладов IX научно-технической конференции инструментальщиков Западного Урала (12 - 13 мая 1977 г.). Пермь: ПИИ, 1977, с. 29-30.
3. Гаврилов Ю.В., Истомина В.М. Инструмент для обработки глубоких отверстий. - В сб.: Прогрессивные конструкции и технология изготовления режущего инструмента. Киев: Машиностроение, 1977, с. 11-12.
4. Гаврилов Ю.В., Истомина В.М. Работа винтовых протяжек при глубоком протягивании. - В сб.: Повышение эффективности обработки металлов протягиванием. Тезисы докладов II Всесоюзной научно-технической конференции. (г. Челябинск 18-19 октября 1978г.) М.: ЦНТО Машпром, 1978, с. 73-76.
5. Истомина В.М., Гаврилов Ю.В. Совершенствование конструкции винтовых протяжек для обработки сверхглубоких отверстий. - В сб.: Обработка металлов резанием. М: МНТИ, 1979, с. 129-132.

5. Маргулис Д.К., Гаврилов Ю.В., Истомина В.М. Стружкоразделительные устройства винтовых протяжек. - В сб.: Пути и методы совершенствования процессов резания металлов на предприятиях области. Свердловск: Свердловское областное управление НТО Машпром, 1977, с. 15.
7. Маргулис Д.К., Гаврилов В.Н., Гаврилов Ю.В., Истомина В.М., Матыгин С.А. Круглая протяжка с винтовыми зубьями. А.С. № 739788. Бюллетень изобретений, 1980, № 21.