

5.02.08

148

Государственный комитет СССР по народному образованию
Челябинский политехнический институт
имени Ленинского комсомола

На правах рукописи

Вакурова Валентина Александровна

УДК 621.919

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОПЕРАЦИИ
ПРОТЯГИВАНИЯ ФАСОННЫХ ОТВЕРСТИЙ

Специальности 05.02.08 - "Технология машиностроения",

05.03.01 - "Процессы механической
и физико-химической обработки,
станки и инструмент"

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Челябинск
1988

Работа выполнена на кафедре "Металлорежущие станки и инструменты" Челябинского политехнического института имени Ленинского комсомола.

Научный руководитель -
кандидат технических наук,
доцент

Шаламов В.Г.

Официальные оппоненты:
доктор технических наук,
профессор

Ямников А.С.,

кандидат технических наук,
доцент

Коноплев В.Н.

Ведущее предприятие - Челябинский тракторный завод им. В.И.Ленина.

Зашита состоится " " 1988 г., в часов, на
заседании специализированного совета К 053.13.01 Челябинского
политехнического института имени Ленинского комсомола.

Адрес института: 454044, г. Челябинск, пр. им. В.И.Ленина, 76,
ауд. 226.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Просим Вас принять участие в обсуждении работы и направить
свои отзывы, заверенные гербовой печатью организации, по выше-
указанному адресу на имя ученого секретаря совета.

Автореферат разослан " " 1988 г.

Ученый секретарь
специализированного совета,
доктор технических наук,

профессор

Мирнов И.Я.

Мирнов И.Я.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ



Актуальность темы. В "Основных направлениях экономического и социального развития СССР на 1986-1990 гг. и на период до 2000 г." поставлены задачи опережающего развития машиностроительного комплекса, снижения себестоимости продукции машиностроения на 9...11 процентов. Предполагается значительно увеличить применение новых видов эффективного металлорежущего инструмента, внедрение автоматизированных систем в различные сферы хозяйственной деятельности, в частности, в проектирование технологических процессов.

В машиностроении широко используются фасонные отверстия с плоскими гранями. Это многогранные, прямоугольные, шлицевые отверстия с прямобочными и треугольными шлицами, отверстия с лысками. Практически единственным видом обработки таких отверстий является протягивание. Однако протяжки являются одним из самых металлоемких, трудоемких и дорогостоящих инструментов. Фасонные протяжки применяемых конструкций имеют пониженную надежность. Существующие методики оптимизации операции протягивания не обеспечивают выбор наиболее экономичных режимов резания. Это обуславливает наличие резервов снижения затрат на обработку фасонных отверстий. Поэтому повышение эффективности операции протягивания фасонных отверстий является актуальной задачей технологии машиностроения.

Цель и задачи работы. Целью работы является повышение эффективности операции протягивания фасонных отверстий с плоскими гранями на основе оптимизации режима резания и конструктивно-технологических параметров инструмента с учетом обеспечения заданных выходных характеристик отверстия. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи.

1. Определить условия получения заданных форм и размеров фасонных отверстий на основе установления взаимосвязи параметров отверстия и конструктивно-технологических параметров инструмента.

2. Выявить возможности и закономерности технологического обеспечения заданных параметров шероховатости плоских граней и точности формы фасонных отверстий.

3. Разработать методику оптимизации операции протягивания фасонных отверстий, позволяющую минимизировать затраты на операцию с учетом системы технологических ограничений.

4. Провести эксплуатационные испытания и внедрить результаты исследований в производство.

Положения, выносимые на защиту

- Метод обеспечения заданных формы и размеров фасонных отверстий с плоскими гранями, основанный на установленной взаимосвязи параметров профиля отверстия и конструктивно-технологических параметров протяжки.
- Зависимости для определения шероховатости плоских граней и точности формы фасонных отверстий.
- Методика оптимизации операции протягивания фасонных отверстий.

Общая методика исследования

Теоретические исследования базировались на основных положениях технологии машиностроения и науки о резании металлов. Использовались методы аналитической геометрии, дифференциального и интегрального исчисления, численные методы. Все расчеты, в том числе обработка экспериментальных данных, выполнялись на ЭВМ. Экспериментальные исследования проводились с целью проверки теоретических выводов и рекомендаций. Использовались современные приборы, оборудование и аппаратура.

Научная новизна

Впервые выполнено комплексное исследование технологической операции протягивания фасонных отверстий с плоскими гранями корректированными протяжками. Установлена взаимосвязь параметров профиля отверстия и конструктивно-технологических параметров протяжки, обеспечивающая получение заданных формы и размеров отверстия. Новизна данной взаимосвязи подтверждена изобретениями (а.с. II35570, II51382, II72658).

Аналитически определены и экспериментально подтверждены показатели качества фасонных отверстий. Обоснованы достижимые параметры шероховатости плоских граней и точности формы отверстий.

Установленная взаимосвязь обусловила двухуровневость оптимизации операции протягивания фасонных отверстий с плоскими гранями. При структурной оптимизации производится выбор образующей, при параметрической – расчет оптимальных значений параметров режима резания. Длина и число зубьев представлены в виде однозначных функций подъема зубьев. Учтены зависимости затрат на инструментальный материал от длины протяжки, затрат на изготовление и повторные заточки инструмента – от числа зубьев режущей части.

Практическая ценность

На основе теоретических и экспериментальных исследований разработана методика автоматизированного проектирования и оптимизации операции протягивания фасонных отверстий, адаптированная для ЭВМ различных типов (ЕС, СМ, ПК). Результаты работы позволяют повысить показатели надежности протяжек в 1,2...1,5 раза при обеспечении шероховатости плоских граней до $R_z \leq 1,6$ и точности до 6-9-го квалитета, повысить производительность труда, снизить расход инструментального материала, уменьшить затраты на операцию.

Реализация работы

Результаты работы внедрены на ряде машиностроительных предприятий. Суммарный фактический годовой экономический эффект от внедрения составил 13541 руб., ожидаемый - 20784 руб.

Материалы диссертации использованы при разработке "Единых нормативных материалов по расчету режимов резания и конструктивных элементов различных типов протяжного инструмента".

Апробация работы

Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на научно-технических конференциях Челябинского политехнического института (Челябинск, 1979-1988 гг.), отраслевых семинарах "Оптимизация режимов обработки на металлорежущих станках" и "Автоматизация расчетов металлорежущих инструментов с помощью ЭВМ" (Челябинск, 1984 г.), зональной конференции "Пути повышения производительности и качества механообработки деталей на машиностроительных предприятиях Урала" (Свердловск, 1984 г.), научно-технической конференции "Высокопроизводительное протягивание и автоматизация проектирования инструмента" (Челябинск, 1985 г.), XII научно-технической конференции инструментальщиков Урала (Пермь, 1985 г.), научных семинарах кафедры "Металлорежущие станки и инструмент" Челябинского политехнического института (1983-1988 гг.), НИИТИМ (Ростов-на-Дону, 1988 г.).

Публикации

По теме диссертации опубликовано 13 печатных работ, депонирована 1 рукопись и получено 3 авторских свидетельства.

Структура и объем работы

Диссертация состоит из введения, семи разделов, выводов, списка литературы из 122 наименований, 18 приложений. Содержит 140 страниц основного текста, 60 рисунков, 16 таблиц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Пути повышения эффективности операции протягивания фасонных отверстий. Особенностью операции протягивания является то, что форма и размеры протянутого отверстия определяются преимущественно конструктивно-технологическими параметрами рабочей части протяжки. При протягивании фасонных отверстий заданный профиль формируется по генераторной схеме, поэтому точность обработки зависит от размеров всех зубьев. Для получения требуемого профиля многих видов фасонных отверстий с плоскими гранями ввиду отсутствия аналитического описания взаимосвязи между выходными характеристиками отверстия и конструктивно-технологическими параметрами протяжки принято оставлять на вспомогательных режущих кромках зубьев ленточки с нулевым или крайне малым задним углом. Это приводит к снижению надежности инструмента и ухудшению качества обработанных поверхностей вследствие надиров, чешуйчатости и других дефектов. Проблемой определения указанной взаимосвязи занимались Балюра П.Г., Маргулис Д.К., Синицын Б.И., Комарь Н.В. и др. Однако, существующие методики корректирования протяжек носят частный характер и, как правило, являются приближенными.

Необходимым условием эффективности операции является обеспечение требуемого качества обработки. Основными показателями качества фасонных отверстий являются шероховатость плоских граней и точность формы. Для удовлетворения требований к качеству необходимо установить зависимости параметров точности и шероховатости от конструктивно-технологических параметров протяжек. До настоящего времени практически не исследовано влияние корректирования протяжек на шероховатость и точность обработанных поверхностей. Не исследовано влияние погрешностей конструктивно-технологических параметров протяжки, возникавших при ее изготовлении и эксплуатации, на точность протянутых отверстий.

Важнейшим показателем эффективности операции являются приведенные затраты. Для минимизации приведенных затрат на операцию протягивания необходимо осуществить оптимизацию режима резания и конструкции инструмента. Данное направление исследований операции

протягивания представлено в работах Горецкой З.Д., Маргулиса Д.К., Максимова М.А., Кудинова Е.И., Тверского М.М. и др. Все известные методики оптимизации операции протягивания являются многовариантными, большинство - многокритериальными. При определении затрат стоимость инструмента принимается постоянной, в то время как она зависит от длины и числа зубьев рабочей части. Не учитываются особенности операции протягивания фасонных отверстий. Эти недостатки обусловливают необходимость дополнительного исследования и совершенствования методов оптимизации операции протягивания.

Взаимосвязь форм фасонного отверстия и конструктивно-технологических параметров протяжки. Для получения зависимостей, общих для всех видов фасонных отверстий с плоскими гранями, введен обобщенный профиль фасонного отверстия (рис. I). Параметрами профиля являются диаметр вписанной окружности D_B , полуширина основания паза β , угол наклона плоской грани α . При $\alpha = 0$ данная форма трансформируется в отверстия типа граневых, при $\alpha > 0$, $\beta = 0$ - в острошлиевые, при $\alpha > 0$, $\beta > 0$ - в шлицевые прямобочные.

Обобщенный профиль фасонного отверстия

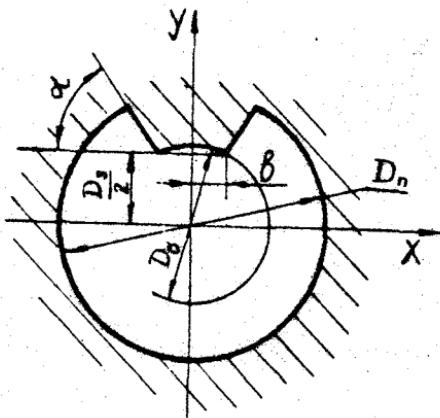


Рис. I

Конструктивно-технологическими параметрами протяжки, влияющими на положение вершин зубьев, являются профиль вспомогательных задних поверхностей и диаметры зубьев, подъем заднего центра. Для по-

лучения заданной формы профиля обработанного отверстия необходимо обеспечить расположение вершин зубьев протяжки на поверхностях, соответствующих фасонным поверхностям отверстия.

Требуемое положение вершин зубьев достигается при взаимосвязи параметров профиля отверстия и указанных конструктивно-технологических параметров протяжки, выражющейся системой уравнений (рис. 2):

$$\left. \begin{aligned} X^2 + \left(\frac{D_s}{2} + (X-B) \operatorname{tg} \alpha \right)^2 &= \frac{D^2(Z)}{4} \\ Z \sin \psi + (X-B) \operatorname{tg} \alpha &= F(X), \end{aligned} \right\} \quad (I)$$

где $D(Z)$ - диаметр зуба, который находится на расстоянии Z от первого зуба (с диаметром D_s);

ψ - угол подъема оси протяжки;

X - координата вершины зуба;

$F(X)$ - функция, описывающая профиль вспомогательных задних поверхностей зубьев.

Расчетная схема

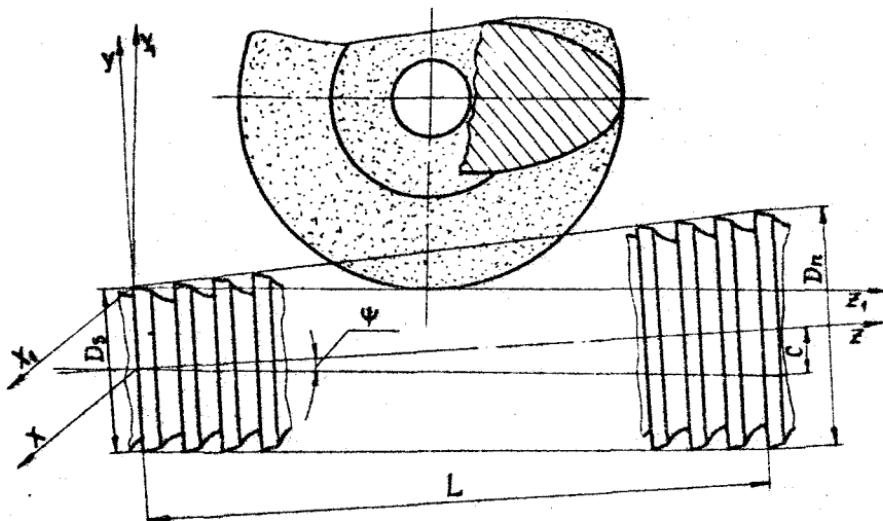


Рис. 2

Из системы уравнений (I) следует, что для получения заданного профиля отверстия необходимо, чтобы изменение диаметров зубьев вдоль режущей части (образующая) протяжки подчинялось определенной закономерности, вид которой зависит от параметров отверстия и профиля вспомогательных задних поверхностей зубьев. Для фасонных отверстий с плоскими гранями практически применимы три вида образующей протяжки: гиперболическая, эллиптическая, прямолинейная (табл. I).

Таблица I

Основные характеристики
образующих

Образующая	График функции $D(z)$	Характер изменения подъемов зубьев вдоль режущей части	Профиль вспомогательных задних поверхностей зубьев
Гиперболическая	Дуга гиперболы	Возрастание	Прямолинейный
Эллиптическая	Часть эллипса	Убывание	Дуга окружности
Прямолинейная	Отрезок прямой	Постоянство	Дуга гиперболы

Установлены зависимости для определения конструктивно-технологических параметров корректированных протяжек: диаметров зубьев, параметров профиля вспомогательных задних поверхностей зубьев, числа зубьев, высоты подъема заднего центра, вспомогательных заднего и в плане углов. Использование этих зависимостей позволяет обеспечить получение требуемых формы и размеров протянутых отверстий и повышение надежности инструмента.

Исследование качества плоских граней фасонных отверстий, обработанных корригированными протяжками. При положительных вспомогательных углах в плане на обработанной поверхности остаются микронеровности (рис. 3).

На основании экспериментальных исследований Исаевым А.И. и др. установлено, что вспомогательный угол в плане влияет на шероховатость обработанной поверхности чисто геометрически. Следуя ГОСТ 2789-73, в качестве расчетной шероховатости принята средняя высота неровностей профиля. Определены зависимости для высоты микронеровностей, определяемых отдельными зубьями протяжки, и средней высоты микронеровностей H_{φ_1} .

Высота микронеровности, оставленной
 i - м зубом

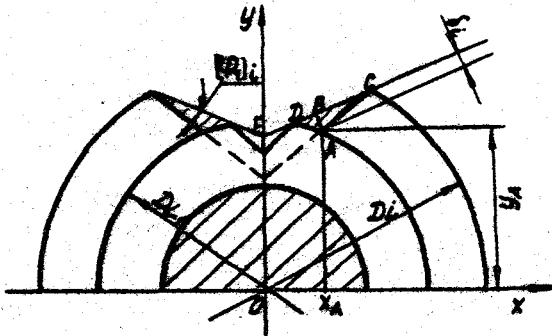


Рис. 3

При изготовлении протяжек возможны погрешности выполнения шагов Δt_i и диаметров зубьев ΔD_i , подъема заднего центра ΔC , радиуса профиля инструмента второго порядка $\Delta \vartheta$, угла при вершине профиля инструмента второго порядка $\Delta \varphi$, а также смещение направления движения инструмента второго порядка относительно оси протяжки в горизонтальной плоскости при обработке вспомогательных задних поверхностей зубьев ϵ , ε . Кроме того, при повторных заточках происходит уменьшение диаметров зубьев ΔD и изменение положения главных режущих кромок ΔZ .

Все эти погрешности вызывают смещение вершин зубьев из номинального положения (рис. 4). Величина погрешностей выполнения шагов и диаметров зубьев изменяется от зуба к зубу случайным образом, поэтому эти погрешности влияют на шероховатость плоских граней отверстия.

На основе анализа смещений вершин зубьев определены составляющие расчетной шероховатости H_t , обусловленная погрешностями выполнения шагов зубьев, и H_D , обусловленная погрешностями выполнения диаметров зубьев. Суммарная расчетная шероховатость определялась в соответствии с правилами сложения случайных и систематических погрешностей:

$$H_{\text{расч.}} = H_\varphi + 1.2 \sqrt{H_t^2 + H_D^2}. \quad (2)$$

Отклонение вершины зуба
от номинальной поверхности

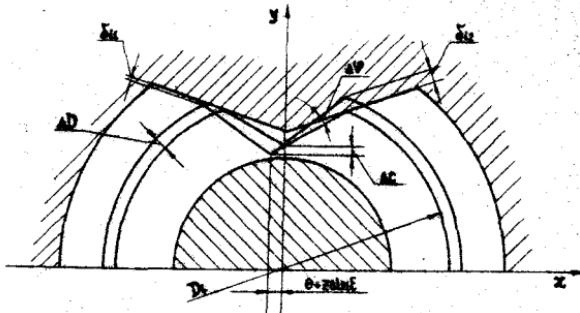


Рис. 4

Полученные зависимости использованы для оценки достижимых значений параметра шероховатости R_z (табл. 2). При расчетах принято $\varPhi_1 = 3^\circ$, $S = 0,04$ мм, погрешности выполнения шагов и диаметров зубьев не превышают допустимых по ГОСТ 16492-70.

Остальные из перечисленных выше погрешностей вызывают закономерное смещение вершин всех зубьев. Такие систематические смещения зубьев приводят к появлению отклонения от прямолинейности плоских граней отверстия. Это отклонение равно наибольшему из смещений вершин зубьев. Определены составляющие отклонения от прямолинейности, обусловленные каждой из указанных погрешностей.

Погрешности $\Delta \Psi$, $\Delta \varPhi$, ΔC , ϵ , ε являются случайными по отношению к данной протяжке, а изменение диаметров и положение зубьев при повторных заточках представляют собой систематические погрешности. Поэтому суммарное отклонение от прямолинейности может быть определено по формуле:

Таблица 2

Достигимая шероховатость плоских граней
фасонных отверстий

D_s , мм	Параметр шероховатости R_z , мкм				
	гиперболическая образующая		эллиптическая образующая		
	$\alpha \leq 10^\circ$	$10^\circ < \alpha \leq 30^\circ$	$\alpha > 30^\circ$	$\alpha \leq 10^\circ$	$10^\circ < \alpha \leq 30^\circ$
до 20	10	3,2	1,6	3,2	3,2
св. 20	10	6,3	1,6	6,3	3,2

$$\Delta = \Delta_{\text{пер}} + 1,2 \sqrt{\Delta_{y,\varphi}^2 + \Delta_c^2 + \Delta_{cm}^2}, \quad (3)$$

где $\Delta_{\text{пер}}$, $\Delta_{y,\varphi}$, Δ_c , Δ_{cm} – составляющие отклонения от прямолинейности, обусловленные, соответственно, повторными заточками протяжки, погрешностями профиля инструмента второго порядка, погрешностью высоты подъема заднего центра, смещением оси протяжки. Определена точность фасонных отверстий (табл. 3), достигимая при условии, что погрешности конструктивно-технологических параметров протяжек не превышают следующих величин:

$$\Delta \varphi \leq 0,5^\circ, \quad \Delta c \leq 0,02 \text{ мм}, \quad e + L \sin \varepsilon \leq 0,02 \text{ мм},$$

$\Delta \rho \leq 0,5$ мм, величина стачивания приблизительно равна наибольшей взятой по "Общемашинстроительным нормативам режимов резания, износа и расхода шлицевых протяжек".

Таблица 3

Достижимый квалитет точности фасонных
отверстий

D_s , мм	гиперболическая образующая			эллиптическая образующая	
	$d \leq 10^\circ$	$10^\circ < d \leq 30^\circ$	$d > 30^\circ$	$d \leq 10^\circ$	$10^\circ < d \leq 30^\circ$
10	12	9	9	8	10
20	12	9	8	7	10
40	11	8	8	7	9
60	11	7	7	6	9
80	10	7	7	6	9
100	10	7	7	6	10

При необходимости получения более высокого качества фасонного отверстия следует проектировать протяжку с чистовыми зубьями, работающими по профильной схеме резания.

Многогранные отверстия. Экспериментальные исследования. Полученные результаты были проверены на примере многогранных отверстий. Протяжки для обработки граничных отверстий ввиду отсутствия точной методики корректирования выполнялись до настоящего времени только с ленточками по вспомогательным режущим кромкам. На основе полученных в работе зависимостей были изготовлены, испытаны и внедрены протяжки с разными образующими. Обрабатывались отверстия с различным числом граней, значительно отличающиеся по размерам и по требуемой точности и шероховатости. На основе произведенных измерений поперечной шероховатости плоских граней протянутых отверстий установлено, что расчетные и экспериментальные значения различаются незначимо. Для сравнения действительной и прогнозируемой точности проводились измерения погрешностей изготовления протяжек и погрешностей формы протянутых отверстий. Статистический анализ экспериментальных данных показал адекватность их теоретическим зависимостям. Эксплуатационные испытания показали также повышение средней наработки между отказами в 1,2-1,5 раза при сокращении длины инструмента в среднем на 10%, увеличение общего ресурса инструмента и в большинстве случаев - некоторое улучшение качества обработки по сравнению с протяжками существующих конструкций.

Оптимизация операции протягивания фасонных отверстий. В качестве критерия оптимальности принята переменная часть приведенных

затрат на обработку одной детали. При определении стоимости инструмента учитывались затраты на инструментальный материал и изготовление протяжки. Была определена зависимость стоимости изготовления протяжки от числа зубьев. Учтена также стоимость повторных заточек протяжки. В результате получена целевая функция:

$$Q(v, S) = \frac{A_1 L_p(S)}{v} + \frac{A_2}{v} + \frac{A_3}{T(v, S)} + \frac{A_4 L_p(S)}{T(v, S)} + \frac{A_5 n_p(S)}{T(v, S)}, \quad (4)$$

где A_1, A_2, A_3, A_4, A_5 - коэффициенты, зависящие от конкретных условий процесса протягивания;

v - скорость протягивания;

$L_p(S)$ - длина режущей части;

$n_p(S)$ - число зубьев;

$T(v, S)$ - наработка протяжки между отказами.

Наработка протяжки в практически используемом интервале скоростей резания и подъемов зубьев может быть представлена эмпирической зависимостью

$$T(v, S) = \frac{C_T}{S^{x_t} v^{z_t} e^{z_{ss} S}}. \quad (5)$$

Длина и число зубьев режущей части являются неоднозначными функциями подъема зубьев вследствие того, что при одном и том же подъеме зубьев возможны варианты режущей части с разным шагом зубьев t , глубиной стружечной канавки h , числом зубьев в группе Z_c . Очевидно, при фиксированном S значение целевой функции (4) будет минимально для варианта с наименьшими возможными $L_p(S)$ и $n_p(S)$. Анализ возможных вариантов режущей части позволил выбрать из них вариант с наименьшими $L_p(S)$ и $n_p(S)$. При отсутствии ограничения на силу резания это вариант с наименьшими допустимыми t , h , Z_c . При активном ограничении на силу резания наилучшим является вариант с увеличенным шагом зубьев. Таким образом, были получены однозначные зависимости $L_p(S)$ и $n_p(S)$, целевая функция представлена в виде однозначной функции параметров режима резания v и S .

На операции протягивания фасонных отверстий качество обработки, длина и число зубьев режущей части протяжки зависят от вида образующей. Поэтому оптимизация операции разделяется на структурную и параметрическую. Структурная оптимизация заключается в выборе образующей протяжки. Установлено, что для обработки шлицевых отверстий

следует применять протяжки с гиперболической образующей: отверстий прямоугольных и с лысками – эллиптической или прямолинейной. При обработке многогранных отверстий можно использовать все три вида образующей, но число зубьев и длина режущей части будут различны. Длина главных режущих кромок зубьев граничных протяжек убывает с увеличением номера зuba, поэтому при групповой схеме резания часть зубьев может быть выполнена с подъемом на каждый зуб. При гиперболической образующей это позволяет значительно уменьшить число зубьев. При выполнении условия

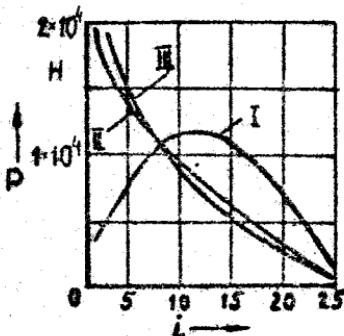
$$D_c \leq \sqrt{\frac{D_s(D_s + D_n)}{2}}, \quad (6)$$

где D_c – диаметр, начиная с которого зубья выполняются с подъемом на каждый зуб, протяжка с гиперболической образующей будет иметь меньшее количество зубьев.

Кроме того, каждой образующей соответствует определенный характер изменения силы резания во время протягивания (рис. 5), причем наибольшее значение силы резания при гиперболической образующей оказывается меньшим, чем при прямолинейной или эллиптической при одинаковом числе зубьев. Поэтому при активном ограничении на силу резания в определенных случаях гиперболическая образующая оказывается выгоднее.

В работе приводится критерий выбора гиперболической образующей при активном ограничении на силу резания.

Изменение силы резания во время протягивания многогранных отверстий



I – гиперболическая образующая, II – эллиптическая образующая,
III – прямолинейная образующая, l – номер зuba

Рис. 5

0194946

Второй этап оптимизации - параметрическая оптимизация - представляет собой расчет оптимальных значений параметров режима резания $V_{\text{опт}}$ и $S_{\text{опт}}$.

Подъем зубьев $S_{\text{опт}}$ определяется путем решения трансцендентного уравнения

$$A_1 L_p' S X_T (A_3 + A_4 L_p S + A_0) + (A_1 L_p + A_2) [(A_4 L_p' S^2 - A_0) + (S Z_S + Y_T) (A_3 S + A_4 L_p S + A_0)] = 0, \quad (7)$$

где $A_0 = A_5 W \Delta$, Δ - припуск на обработку, W - параметр, зависящий от вида образующей протяжки.

Зависимость для определения скорости резания $V_{\text{опт}}$ имеет вид

$$V_{\text{опт}} = \left[\frac{(A_3 S_{\text{опт}} + A_4 S_{\text{опт}} L_p (S_{\text{опт}}) + A_5) X_T S_{\text{опт}}^{T-1} e^{Z_S S_{\text{опт}}}}{C_T (A_1 L_p (S_{\text{опт}}) + A_2)} \right]^{\frac{1}{T+1}}. \quad (8)$$

При расчетах учитываются ограничения: кинематические, по числу одновременно работающих зубьев, по шероховатости, точности, производительности, стойкости и прочности протяжки. На основе представленных выше зависимостей разработана методика оптимального проектирования операции протягивания фасонных отверстий. На основе данной методики созданы алгоритм и программное обеспечение на языке ФОРТРАН. Программа реализована на ЭВМ типа ЕС, СМ и ПК.

Общие выводы по работе

1. Соответствие формы и размеров обработанных фасонных отверстий требуемым и повышение надежности инструмента за счет положительных вспомогательных задних углов зубьев достигаются при выполнении установленной взаимосвязи между параметрами профиля отверстия и конструктивно-технологическими параметрами протяжки.

2. Качество обработанных отверстий и производительность операции протягивания зависят от вида образующей протяжки. Возможны три вида образующей, которые определяются особенностями технологии

изготовления протяжек: гиперболическая, эллиптическая и прямолинейная. Для шлицевых отверстий предпочтительна гиперболическая образующая, прямоугольных и с лысками - эллиптическая. При обработке многогранных отверстий эффективность образующих определяется параметрами отверстия. Выбор осуществляется в соответствии с установленными критериями.

3. Шероховатость плоских граней отверстий обусловлена преимущественно наличием ненулевых вспомогательных углов в плане зубьев протяжки. Кроме того, шероховатость зависит от погрешностей выполнения шагов и диаметров зубьев. Высота микронеровностей изменяется вдоль плоских граней протянутых отверстий. Получены зависимости для определения средней высоты неровностей. Статистический анализ экспериментальных данных подтвердил адекватность их расчетным зависимостям.

4. Погрешность формы фасонных отверстий определяется погрешностями выполнения конструктивно-технологических параметров протяжки и изменением их в результате повторных заточек. Получены зависимости для расчета отклонения от прямолинейности отверстий. Расчетные зависимости подтверждены результатами экспериментальных исследований.

5. Установленная взаимосвязь параметров фасонного отверстия с плоскими гранями и конструктивно-технологических параметров протяжки обусловила разделение оптимизации операции протягивания на структурную и параметрическую. При структурной оптимизации производится выбор образующей протяжки, при параметрической - определение оптимальных значений подъема зубьев и скорости резания с учетом технологических ограничений.

6. Целевая функция приведенных затрат представлена в виде однозначной функции подачи и скорости резания. Получены аналитические зависимости для определения оптимальных значений параметров оптимизации.

7. Разработана методика автоматизированного проектирования и оптимизации операции протягивания фасонных отверстий с плоскими гранями. Методика реализована на ЭВМ типа ЕС, СМ, ПК и внедрена на ряде машиностроительных предприятий. Внедрены многогранные протяжки нескольких типоразмеров. Годовой фактический экономический эффект составил 13541 руб., ожидаемый - 20784 руб.

Результаты работы использованы при разработке "Единых нормативных материалов по расчету режимов резания и конструктивных элементов различных типов протяжного инструмента".

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНЫ
В РАБОТАХ:

1. Вакурова В.А. Автоматизация расчета многограных протяжек// Автоматизация расчетов металлорежущих инструментов с помощью ЭВМ: Тез. докл. производств.-техн. семинара. - Челябинск, 1984. - С. 10-II.
2. Вакурова В.А. Оптимальное проектирование гранных протяжек// Пути повышения производительности труда и качества механообработки деталей на машиностроительных предприятиях Урала: Тез. докл. зональной научно-техн. конф. - Свердловск, 1984. - С. 49-50.
3. Вакурова В.А., Хренова О.М., Шаламов В.Г. Расчет режущей части гранной протяжки// Автоматизация расчетов металлорежущих инструментов с помощью ЭВМ: Тез. докл. производств.-техн. семинара. - Челябинск, 1984. - С. II.
4. Вакурова В.А., Шаламов В.Г. Методика аналитического расчета рационального варианта на режущей части протяжки// Высокопроизводительное протягивание и автоматизация проектирования протяжного инструмента: Тез. докл. научно-техн. конф. - Челябинск, 1985. - С. 17-19.
5. Вакурова В.А., Шаламов В.Г. Определение максимальной силы резания при протягивании многогранных отверстий// Автоматизация расчетов металлорежущих инструментов с помощью ЭВМ: Тез. докл. производств.-техн. семинара. - Челябинск, 1984. - С. II.
6. Вакурова В.А. Экономическое обоснование выбора варианта режущей части протяжки// Механизация ручных работ и трудоемких технологических процессов в инструментальном производстве: Тез. докл. XII научно-техн. конф. инструментальщиков Урала. - Пермь, 1985. - С. 87-88.
7. Шаламов В.Г., Вакурова В.А. Оптимизация операции протягивания// Известия вузов. Машиностроение. - 1985. - № II. - С. 123-127.
8. Шаламов В.Г., Вакурова В.А. Повышение точности обработки многогранных отверстий протягиванием// Прогрессивная технология чистовой и отделочной обработки: Сб. научн. трудов Челяб. политехн. ин-та. - Челябинск, 1984. - С. 9-10.
9. Шаламов В.Г., Вакурова В.А. Повышение эффективности протягивания многогранных отверстий// Известия вузов. Машиностроение. - 1984. - № 4. - С. 128-133.
10. Шаламов В.Г., Вакурова В.А. Предпосылки оптимизации операции протягивания// Известия вузов. Машиностроение. - 1985. - № 9. - С. 98-101.

11. Шаламов В.Г., Вакурова В.А. Проектирование многограных протяжек. - М., 1985. - С. 12: Рукопись представлена ред.х. "Станки и инструмент". - Депонирована 19.04.85, № 164 мш - 85 деп.

12. Шаламов В.Г., Вакурова В.А. Расчет на ЭВМ СМ многогранных протяжек. Учебное пособие для курсового и дипломного проектирования. - Челябинск, 1986. - С. 51.

13. Вакурова В.А. Проектирование фасонных протяжек// Прогрессивная технология чистовой и отделочной обработки: Сб. научн. трудов Челяб. политехн. ин-та. - Челябинск, 1986. - С. 3-5.

14. Единые нормативные материалы по расчету режимов резания и конструктивных элементов различных типов протяжного инструмента. - Москва , 1986. - С. 92.

15. А.с. II35570 СССР. Протяжки для обработки гранных отверстий/ О.М. Хренова, В.А. Вакурова, В.Г. Шаламов. - Опубл. 23.01.85, бул. № 3.

16. А.с. II51382 СССР. Протяжки для обработки гранных отверстий/ В.Г. Шаламов, В.А. Вакурова, О.М. Хренова, С.М. Лопаткин. - Опубл. 23.04.85, бул. № 15.

17. А.с. II72658 СССР. Протяжки для обработки гранных отверстий/ В.Г. Шаламов, В.А. Вакурова, О.М. Хренова. - Опубл. 15.08.85, бул. № 30.

Вакурова

Подписано к печати 09.11.88. ФБ 00151. Формат 60X90 I/16.
Печ. л. 1. Уч.-изд. л. 1. Тираж 100 экз. Заказ 536/1330.

УОЛ ЧИИ. 454044. Челябинск, пр. им. В.И. Ленина, 76.