М 432693

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
С С С Р

Московское ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции
и ордена Трудового Красного Знамени высшее техническое
училище имени Н.Э.Баумана

На правах рукописи

СОЛОВЬЕВ Александр Иванович

УДК 621.592.8: 621.951.456

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СПОСОБОВ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ОБРАБОТКИ ГЛУБОКИХ ОТВЕРСТИЙ

Специальность 05.02.08 – Технология машиностроения

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

Москва, 1985

Работа выполнена в Московском ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции и ордена Трудового Красного Знамени высшем техническом училище им.Н.Э.Баумана.

Научный руководитель – кандидат технических наук, доцент МЕДЕРЯКОВ Р.К.

Официальные оппоненты – доктор технических наук, профессор ВОРОНЦОВ Л.Н.

– кандидат технических наук, с.н.с. ШЕМЕТОВ М.Г.

Ведущее предприятие – указано в решении специализированного совета

Защита состоится "30" декабря 1985 года на заседании специализированного совета К 053.I5.I5 в Московском высшем техническом училище им.Н.Э.Баумана по адресу: I07005, Москва Б-5, 2-я Бауманская ул., дом 5.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МВТУ имени Н.Э.Баумана.

Ваш отзы[illegible]ренный печатью, [illegible] года.

Учен[illegible]
к[illegible] Р.К.

М432693

№ Л -97 [illegible]г.
Тир.I00 [illegible]на.

Актуальность проблемы. Успешное развитие машиностроения, в соответствии с принятым ЦК КПСС курсом на интенсификацию общественного производства, требует дальнейшего совершенствования технологии изготовления деталей и изделий. Одним из основных направлений в решении данной проблемы является комплексная оптимизация параметров операции на основе выявления физических закономерностей процессов и построения их математических моделей.

При изготовлении деталей особенно трудоемкой является обработка отверстий. Так в корпусных деталях топливной, гидро- и пневмоаппаратуры имеется до нескольких десятков отверстий, к которым предъявляются весьма высокие требования по точности размера, формы и их относительному расположению. Трудоемкость обработки таких отверстий составляет до 20-30% от суммарной трудоемкости обработки детали. При изготовлении корпусных деталей, а также деталей типа тел вращения в последние годы широко применяют сверление инструментом одностороннего резания. Данный метод используют для получения как глубоких отверстий (ГО) с $L/D > 5$, так и точных отверстий (ТО) небольшой длины $L/D = 1...5$.

Имеющиеся рекомендации по применению этого метода недостаточно полно учитывают влияние условий сверления на точность обработки, особенно в случае применения станков с ЧПУ. Поэтому исследования направленные на уменьшение трудоемкости и повышение точности обработки деталей с глубокими, точными отверстиями являются актуальными для машиностроения, особенно для условий автоматизированного производства.

Цель работы. Исследование и разработка технологических способов повышения точности и производительности метода обработки отверстий инструментом одностороннего резания, расширение технологических возможностей и области применения его путем назначения эффективных условий обработки (схемы и режима обработки, расположения заготовки в рабочем поле станка с ЧПУ, определения групп отверстий, обрабатываемых на каждом установе).

Методы исследований. Исследование технологических закономерностей формирования отклонений размера, формы и расположения поверхностей обрабатываемых отверстий проводилось на базе научных основ технологии машиностроения с использованием элементов теории упругости. Исследование и разработка математических моделей процесса сверления инструментом одностороннего резания базируется на теории точности механической обработки и методах ма-

1432693

НТБ МГТУ им.Н.Э.Баумана
1432693
Соловьев А.И.Исследование

МВТУ
им. Н.Э. Баумана
БИБЛИОТЕКА

тематического планирования экспериментов. Алгоритмы определения оптимального положения корпусной детали в рабочем поле (РП) станка с ЧПУ разработаны с применением теории множеств, математической логики и методов дискретного целочисленного программирования. Обработка экспериментальных данных проводилась с использованием ЭВМ.

Научная новизна. На основе теоретических и экспериментальных исследований показано, что процесс формирования погрешностей отверстий, обработанных инструментом одностороннего резания, определяется упругими деформациями технологической системы и особыми условиями непрерывного переноса геометрических отклонений с обработанного ранее участка поверхности отверстия на обрабатываемый. Показана необходимость и возможность управления процессом формирования погрешностей за счет назначения рациональной схемы и условий обработки. Разработана методика определения эффективных условий сверления отверстий на основе полученных математических моделей процесса, отражающих физические закономерности формирования погрешностей обработки и оптимизации выбора положения корпусной детали в рабочем поле станка и числа установов при обработке группы отверстий.

Анализ полученных закономерностей позволил разработать способы повышения точности и производительности обработки отверстий.

Практическая ценность. Методика определения условий обработки отверстий инструментом одностороннего резания справедлива для случаев изготовления корпусных деталей и деталей типа тел вращения на различного типа станках. Проверка методики выполнена на примерах обработки отверстий диаметром 4–I5 мм и глубиной от 50 до 367,5 мм в деталях из силумина, титанового сплава, серого и высокопрочного чугуна. Использование рекомендаций позволяет снизить отклонения: формы в продольном сечении в I,I–I,8 раза; формы в поперечном сечении в I,I–I,5 раза; взаимного расположения обработанной поверхности относительно базы в I,I–I,6 раза.

Показано, что оптимальным образом меняя условия обработки по длине отверстия можно добиться сокращения основного технологического времени на I5%. При анализе различных схем обработки установлено, что наилучшие результаты по точности (уменьшение отклонений формы и расположения в 2–6 раз) обеспечивает схема с одновременным вращением заготовки и инструмента.

Разработанная методика автоматизированного выбора оптимального положения корпусной детали, имеющей группу пространственно расположенных отверстий, в РП пятикоординатного станка с ЧПУ позволила сократить время поиска наилучшего варианта установа в 3-5 раз и уменьшить потери на переналадку технологической системы на 25-40%. Алгоритмы, вошедшие в методику, реализованы на алгоритмическом языке "Фортран-IУ" для ЭВМ ЕС-1022 и БСЭМ-6.

Реализация результатов работы. Результаты проведенных теоретических и экспериментальных исследований использовались при выполнении научно-исследовательских тем, направленных на повышение эффективности использования методов глубокого сверления на многокоординатных станках с ЧПУ при обработке деталей гидро-, пневмо- и топливной аппаратуры. Годовой экономический эффект, полученный от внедрения операции сверления глубокого отверстия в деталях из титанового сплава на машиностроительном заводе , составил 10 305 рублей на 1 станок.

Апробация работы. Основные результаты работы докладывались на научных семинарах кафедры "Технология механосборочного производства" МВТУ им. Н.Э.Баумана, на Республиканской научно-технической конференции "Состояние и перспективы развития технических наук в Киргизии" г.Фрунзе в 1980 г., на 1 Республиканской научно-технической конференции "Создание гибких автоматизированных производств с применением станков с ЧПУ и промышленных роботов" г.Фрунзе в 1985 г., а также отмечены на конкурсах научных работ молодых специалистов факультета "Автоматизация и механизация производства" МВТУ им.Н.Э.Баумана в 1979 г. и 1981 г.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 4 печатных работы.

Объем работы. Диссертация изложена на 150 страницах машинописного текста, состоит из введения, пяти глав, выводов по главам и общих выводов; содержит 124 рисунка, 32 таблицы, список литературы из 92 наименований и 20 приложений.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность работы, дана характеристика ее направленности и научной новизны.

В первой главе проанализированы пути и определены резервы повышения точности и производительности обработки отверстий инструментом одностороннего резания, сформулирована цель работы и поставлены задачи исследования.

Большой вклад в разработку теории механической обработки внесли Кован В.М., Соколовский Н.П., Балакшин Б.С., Базров Б.М., Гаврилов А.Н., Дальский А.М., Колесов И.М., Корсаков В.С., Подураев В.Н., Проников А.С. и др. Применительно к обработке глубоких отверстий вопросы точности исследовали Веремейчук И.С., Мещеряков Р.К., Минков М.А., Ушаков А.И., Троицкий Н.Д. и др.

На основании литературного обзора и статистических производственных исследований установлено особое значение качества глубоких отверстий в производстве деталей топливной, гидро- и пневмоаппаратуры. В корпусных деталях указанных изделий имеется большое число ГО, причем около 80% имеют диаметр 3-20 мм и около 70% длину 20-100 мм. Общее число отверстий в одной детали достигает несколько десятков при весьма различном их пространственном расположении. Наиболее часто встречаются отверстия диаметром 4,5 и 8 мм с требованиями к точности размеров по 8-12 квалитетам, допускаются отклонения расположения осей $\pm(0,1-0,2)$ мм, увод оси не более 0,25-0,5 мм на 100 мм длины. Трудоемкость обработки глубоких отверстий составляет около 20% от суммарной трудоемкости механической обработки детали. Требования к точности обработки ГО в деталях типа тело вращения часто на порядок точнее.

Установлены два пути совершенствования методики проектирования операции глубокого сверления. Первый связан с выбором рациональных условий выполнения процесса обработки и основывается на учете моделей, закономерностей формообразования поверхностей ГО, особенностей копирования погрешностей по длине обрабатываемого отверстия. Второй путь относится к совершенствованию методики проектирования процесса обработки группы отверстий в корпусной детали на станке с ЧПУ. Он позволяет обосновать оптимальное расположение заготовки в РП станка, обеспечивающее минимальные затраты времени на переналадку оборудования.

Показано, что в случае работы инструментом одностороннего резания погрешности формы и расположения по длине отверстия определяются явлением копирования погрешностей с обработанных ранее участков на обрабатываемые. Выявлены резервы совершенствования операции обработки группы отверстий в корпусных деталях на пятикоординатных станках с ЧПУ типа ГС 8-500 и ГС 3-12. На этих станках за несколько установов в разных позициях обрабатывают группу (до 40-100) пространственно расположенных отверстий. При-

нимаемые в практике решения по назначению оптимального положения заготовки в РП станка расчетами не обоснованы.

На основании проведенного анализа в качестве объекта исследования выбрана операция обработки отверстий инструментом одностороннего резания, сформулирована указанная выше цель работы и определены следующие задачи:

- выявить закономерности формирования погрешностей обработки отверстий инструментом одностороннего резания с учетом особенностей копирования геометрических отклонений с обработанного ранее участка поверхности на обрабатываемый;

- на основе комплексных экспериментальных исследований выявить физические закономерности и построить математические модели формирования отклонений размера, формы и расположения отверстий в зависимости от схемы, условий сверления и выявить технологические способы повышения точности и производительности обработки;

- разработать математические модели и выявать закономерности определения оптимального положения корпусной детали в рабочем поле пятикоординатного станка с ЧПУ, позволяющие при минимальном количестве установов заготовки обработать наибольшее количество отверстий;

- разработать способ и методику определения оптимального положения корпусной детали в рабочем поле пятикоординатного станка с ЧПУ, позволяющих снизить трудоемкость проектирования и выполнения операции по обработке группы глубоких отверстий;

- разработать технологические рекомендации по использованию методики на основе результатов расчетов на ЭВМ.

Во второй главе проведен анализ процесса формообразования поверхности отверстия при обработке сверлом одностороннего резания. В процессе обработки силы резания прижимают направляющие инструмента к обработанной поверхности. Погрешности обработанной поверхности приводят к смещению режущей кромки инструмента и деформации стебля. Таким образом, суммарная погрешность ГО (Δl_Σ) обусловлена копированием погрешности обработанного ранее участка поверхности (Δl), силовыми (P_q) и несиловыми (U_g) воздействиями на технологическую систему

$$\Delta l_\Sigma = A_0 \Delta l + \Sigma A_q P_q + A_g U_g ,$$

где A - оператор системы, обозначающий задание способа, с помощью которого при известных воздействиях определяются элемен-

тарные смещения.

Анализ упругих деформаций технологической системы, с учетом погрешности начального (заходного) участка поверхности $\Delta\gamma_0(\ell)$, изгибающего момента от осевой R_{oc} и неуравновешенной радиальной ΔR_y составляющих сил резания, линейной V_0 и угловой θ_{00} погрешности расположения инструмента в шпинделе станка и погрешности расположения направляющей инструмента V_1, позволил установить уравнение изменений погрешности отверстия при перемещении инструмента в осевом направлении на величину a, равную расстоянию от точки контакта направляющей инструмента с отверстием, до сечения, в котором располагается формообразующая вершина инструмента

$$\Delta\gamma_\Sigma(\ell+a) = -P\Delta\gamma_0(\ell) + PV_1 + (1-P)V_0 + P_\theta\theta_{00} + P_M V_M,$$

где P – коэффициент копирования (чувствительности) начальной погрешности; P_θ – коэффициент чувствительности к угловой погрешности; P_M – коэффициент чувствительности к силовому воздействию; V_M – приведенное к размерности длины силовое воздействие, $V_M = \ell^2(R_{oc}\cdot e - R_y\cdot a)/EJ_x$; ℓ – длина инструмента от заделки до точки контакта направляющей инструмента с отверстием; E – модуль упругости материала стебля инструмента;

J_x – момент инерции поперечного сечения стебля.

Коэффициенты P и P_M определены из анализа поперечного изгиба стебля постоянной длины

$$P = P^t(\ell+a) = \left[1 + \frac{3}{2}\frac{a}{\ell}B\right]^t \approx 1 + \frac{3}{2}\frac{\ell_{обр}}{\ell}B + \frac{9}{8}\left(\frac{\ell_{обр}}{\ell}B\right)^2 + \cdots,$$

где

$$B = 1 - \frac{\omega_\theta\left(\frac{EJ_x}{\ell}\right) + 3\omega_0\left(\frac{EJ_x}{\ell^3}\right)}{1 + 3\omega_\theta\left(\frac{EJ_x}{\ell}\right) + 3\omega_0\left(\frac{EJ_x}{\ell^3}\right)}$$

$\ell_{обр}$ – длина обрабатываемого отверстия; $t = \ell_{обр}/a$;

ω_0 и ω_θ – соответственно линейная и угловая податливости опоры инструмента в шпинделе; $a/\ell = \kappa$.

Учет податливости опоры инструмента уменьшает величину коэффициента P и увеличивает P_M.

$$P_M(\ell+a) = \frac{1}{4}\kappa\ell^2\left[1 + \frac{\omega_\theta\left(\frac{EJ_x}{\ell}\right) + 9\omega_0\left(\frac{EJ_x}{\ell^3}\right)}{1 + 3\omega_\theta\left(\frac{EJ_x}{\ell}\right) + 3\omega_0\left(\frac{EJ_x}{\ell^3}\right)}\right].$$

При соотношениях $\omega_0 \ell^3/EJ_x < 0{,}01$ и $\omega_в \ell/EJ_x < 0{,}01$ податливость опоры можно не учитывать, тогда

$$P(\ell+a) \approx 1+\frac{3}{2}K, \qquad P_M(\ell+a) \approx \frac{1}{4}K\ell^2.$$

Соответствующие выражения для P и P_M получены из анализа продольно-поперечного изгиба стебля инструмента.

При исследования отклонений размера, формы и расположения поверхности отверстия элементарные и суммарные смещения и возмущения представлены в виде конечной суммы членов ряда Фурье. Причинами появления геометрических отклонений отверстий являются соответствующие геометрические отклонения заходного участка отверстия, периодически изменяющиеся погрешности расположения опор и периодически изменяющиеся силовые воздействия, возникающие из-за неравномерной жесткости кондуктора инструмента и изделия в осевом направлении и связанным с ними изменением площади поперечного сечения срезаемого слоя металла. Из этого следует, что отклонения формы и расположения зависят от составляющих силы резания, а, следовательно, от режимов обработки. Анализ отклонений расположения позволил получить значения операторов начальной погрешности A_0 и силового воздействия A_q в виде

$$A_0 = P^{\ell_{обр}/a}, \qquad A_q = \sum P_M \cdot P^{\ell_{обр}/a}.$$

Исследовались также закономерности переноса погрешностей по длине обрабатываемого отверстия при различных схемах сверления. Схема I – с вращением детали и подачей инструмента; схема 2 – с вращением детали, подачей инструмента и наложением на него осевых колебаний; схема 3 – вращение и подача совершаются инструментом; схема 4 – с вращением детали и инструмента навстречу друг другу, причем, подается инструмент.

Исследования проводились при широком изменении условий обработки. Заготовки выполнены из трех сплавов: алюминиевого сплава АЛ-9, серого чугуна СЧ I0 и титанового сплава ВТ 5-I – схемы I,2,3. Сверлилось отверстие диаметром 8 мм, длиной 50 мм. По схеме 4 обработка проведена в производственных условиях на заготовках для распределительных валов автомобилей ВАЗ из высокопрочного чугуна ВЧ 65-48-I. Сверлилось отверстие диаметром I5 мм, длиной 367,5 мм. Во всех случаях сверление проводилось сверлами одностороннего резания с плоскостной заточкой.

Определены следующие параметры геометрической точности отверстий: $\Delta\rho$ – отклонение размера; $\Delta\rho б$ – радиальное биение обработанной поверхности (непосредственно после обработки на

станке); $\Delta_{ф}^{прод}$ – отклонение формы в продольном сечении; $\Delta_{ф}^{попер}$ – отклонение формы в поперечном сечении; $\Delta_{вр}$ – отклонение взаимного расположения обработанной поверхности относительно базы; R_a – среднее арифметическое отклонение профиля (высотный параметр шероховатости поверхности).

На базе данных, полученных статистическими методами планирования и обработки результатов экспериментов, получены линейные и нелинейные модели перехода сверления для схем I (станок мод.ВС-5) и 3 (станок мод. ВСА-I), устанавливающие связь параметров геометрической точности отверстий (отклонений размера, формы, расположения) с параметрами условий сверления. Обработка экспериментальных данных выполнена на ЭВМ ЕС 1010 и ЕС 1020.

Обработка с вращением детали (схема I) велась в диапазоне режимов резания V = 0,63–I,I2 м/с; $S_м$ = 0,25–I,24 мм/с; S = 0,006–0,049 мм/об. Давление смазочно-охлаждающей среды, масло марки МР–I, поддерживалось постоянным P = 4,9·$I0^6$Па при расходе Q = $I,08 \cdot I0^{-4}$ $м^3/с$.

При обработке невращающейся детали вращающимся инструментом (схема 3), использовались режимы обработки: V = 0,5–0,88 м/с; $S_м$ = 0,3I–I,24 мм/с; S = 0,0088–0,062 мм/об; P = 4,9·$I0^6$ Па; Q = $I,08 \cdot I0^{-4}$ $м^3/с$.

Установлено, что при сверлении отверстий инструментом односторонннего резания радиальное биение (или смещение) является наибольшим по величине отклонением в сравнении с отклонениями размера и формы. Радиальное биение обработанной поверхности отверстия зависит от биения кондукторной втулки $\Delta_{вт}^{рб}$ и режима обработки. Так, обрабатывая вращающиеся заготовки по схеме I при $\Delta_{вт}^{рб}$ = 0,02–0,I мм получена зависимость, например, для серого чугуна СЧ I0

$$\Delta_{рб}(\ell_{обр}) = 0,0432\,\Delta_{вт}^{рб}\left(1+\frac{3}{2}\cdot\frac{a}{\ell}\right)^{\ell_{обр}/a}(V-13,3)-1,825(V-56,2)\,\frac{\ell_{обр}}{50}.$$

При сверлении заготовок из силумина АЛ–9 и титанового сплава ВТ 5–I соответственно получено

$$\Delta_{рб}(\ell_{обр}) = 0,066\,\Delta_{вт}^{рб}\left(1+\frac{3}{2}\frac{a}{\ell}\right)^{\ell_{обр}/a}(V-25,8)-3\,(V+0,803S_м - 0,03047VS_м-58,5)\,\frac{\ell_{обр}}{50};$$

$$\Delta_{рб}(\ell_{обр}) = 0,0574\,\Delta_{вт}^{рб}\left(1+\frac{3}{2}\frac{a}{\ell}\right)^{\ell_{обр}/a}(V-17,3)-1,57(V-19,4)\,\frac{\ell_{обр}}{50},$$

где V – скорость резания, м/мин; $S_м$ – подача, мм/мин.

Для схемы 3 с вращением инструмента при обработке СЧ 10

$$\Delta_{рб}(\ell_{обр}) = 0,367\,\Delta_{вт}^{рб}\left(1+\frac{3}{2}\frac{a}{\ell}\right)^{\ell_{обр}/a}(24,4 - V - 0,076S_м + 0,001896VS_м + 0,0113V^2) + (53,2V + 0,55S_м - 0,001369VS_м - 0,61643V^2 - 944)\frac{\ell_{обр}}{50},$$

при сверлении сплавов АЛ-9 и ВТ 5-1 получены аналогичные зависимости.

В схеме 1 доминирующим фактором выступала скорость резания, в схеме 3 существенно влияние и величины подачи инструмента. $\Delta_{рб}$ образцов, обработанных по схеме 3, на 20-60 мкм выше, чем обработанных по схеме 1. Во всех случаях (схемы 1,2,3) отмечен рост величины радиального биения по длине отверстия. Он обусловлен наличием копирования погрешности заходного участка вследствие кинематического возбуждения инструмента в процессе обработки, что подтверждает результаты теоретического анализа.

Аналогичное влияние режимов резания оказывают и на отклонение взаимного расположения обработанной поверхности, т.к. $\Delta_{бр}$ и $\Delta_{ф}$ составляют комплексную величину $\Delta_{рб}$.

Анализу влияния режимов резания на спектр амплитуд $C_к$ гармонических составляющих отклонения формы отверстия в поперечном сечении $\Delta_{ф}^{поп}$ подвергались первые шесть составляющих. Профиль поперечного сечения отверстия измерялся в двенадцати точках: величина амплитуды C_6 не превышает 4 мкм. Наибольший удельный вес (схемы 1,2,3) в суммарном отклонении формы отверстия в поперечном сечении имеют амплитуды второй C_2 и третьей C_3 гармонических составляющих. Амплитуда C_1 на 1-2 порядка больше других. Существенное изменение, как правило, увеличение, амплитуд $C_к$ по длине детали указывает на наличие копирования.

Отклонение формы в продольном сечении $\Delta_{ф}^{прод}$ для схемы 1 составляет 0,008 мм – АЛ-9; 0,012 мм – СЧ 10; 0,037 – ВТ 5-1. Соответствующие величины, полученные при обработке по схеме 3, оказались в 2-3 раза больше.

Исследование точности обработки масляных каналов диаметром 15 мм и длиной 367,5 мм в распределительных валах двигателей ВАЗ проводилось на специальном 8-ми шпиндельном станке автоматической линии в условиях производства. В процессе обработ-

ки вращается инструмент и, в противоположную сторону, заготовка вместе с кондукторной втулкой (схема 4). Частота вращения сверла n = I3,87 $с^{-I}$, заготовки $n_д$ = 2,97 $с^{-I}$, скорость резания V = 0,8 м/с, подача $S_м$ = 2,2 мм/с или S = 0,I3 мм/об.

Размер отверстия измерялся на расстоянии 20,II0,2I0 мм от торца вала. В указанных сечениях средние диаметры и рассеяние размера отверстия соответственно составили, $D_{ср} \pm 3\sigma$: I4,945 ± 0,096; I4,930 ± 0,102; I4,996 ± 0,093 мм. С увеличением глубины отверстия наблюдается увеличение размера отверстия при практически одинаковом рассеянии.

Следует отметить, что величины амплитуд гармонических составляющих отклонения расположения C_1 и формы $C_2 - C_6$ в поперечном сечении отверстия, полученного при сверлении с одновременным вращением заготовки и инструмента, в 2-4 раза меньше, чем при вращении заготовки и в 3-6 раз меньше, чем при вращении инструмента, на одинаковой глубине сверления.

Сверление ГО инструментом одностороннего резания позволило получить по исследуемым схемам обработки величину параметра шероховатости поверхности Ra = I,25-2,5 мкм. В ряде случаев для сплавов АЛ-9 и ВТ 5-I шероховатость поверхности достигала Ra = 0,32 мкм.

Экспериментальные исследования обработки отверстий инструментом одностороннего резания подтверждают установленный теоретический характер влияния условий обработки на отклонения геометрической точности ГО. Формирование этих отклонений по длине сверления определяется процессом их копирования с обработанной поверхности на обрабатываемую. Для достижения минимальных значений отклонений формы и расположения поверхностей ГО от номинального положения, рекомендуется применять способ сверления с изменением режима резания по длине отверстия.

В третьей главе приведены результаты исследований производительности участка из шести пятикоординатных станков с ЧПУ мод. ГС 8-500 с системой управления "Размер 2М", используемых при обработке группы ГО в корпусных деталях. Наблюдения проводились в течение I5-ти рабочих смен. За это время было обработано 2389 деталей.

По методике проф. Л.И.Волчкевича установлены следующие интегральные характеристики корпусных деталей гидро-, пневмооборудования: S = 9,4 - среднее число единичных рабочих ходов

инструмента при обработке одной детали: $t_{1\,ср}$ = 36,9 с – среднее время единичного рабочего хода инструмента; T = 807 с – средняя длительность рабочего цикла; Z = 65 шт – средний размер партии деталей.

Установлено, что простои по переналадке составляют 20% от общей величины простоев, затраты времени на установку-снятие детали – 7,1% от общего фонда времени. Таким образом, одним из способов повышения производительности является уменьшение затрат времени на установку-снятие детали и переналадку станка за счет оптимизации числа установов заготовки. Соответствующие алгоритмы и методика разработаны в гл.4 и 5.

Исследование полученной в работе зависимости фактической производительности позволило установить величину оптимальной партии для различных условий обработки равной 80–120 заготовок. При этом учитывались характеристики сложности деталей, оцениваемые параметрами S и $t_{1\,ср}$. Для случая S =9,4 рабочих хода/деталь, $t_{1\,ср}$ = 36,9 с увеличение партии запуска с 40 до 80 заготовок позволяет повысить производительность на 20%. Выявлено, что коэффициент производительности тем выше, чем больше в группу обрабатываемых входит отверстий большой длины.

В работе рассмотрены пути повышения производительности за счет объединения станков с ЧПУ в автоматизированный участок. Так внедрение управления рабочим циклом от центральной ЭВМ позволит повысить производительность в 1,23 раза.

Полученные данные по производительности использованы при разработке критерия выбора наилучших вариантов установа заготовки в РП станка.

Четвертая глава посвящена разработке математических моделей определения оптимального положения корпусной детали в рабочем поле 5-ти координатного станка с ЧПУ (например, мод.ГС 8-500) при обработке группы отверстий.

Целью расчета является определение минимального количества установов заготовки, позволяющих обработать наибольшее количество отверстий. В разработанных алгоритмах, реализованных на ЭВМ ЕС 1022 и БЭСМ-6, применен метод целочисленного дискретного программирования. Вычисления проводят в два этапа.

На первом этапе безаварийное рабочее поле (БРП) станка мод.ГС 8-500 принято упрощенно в виде кругового конуса с углом раствора $\varphi = 90^{\circ}$. При последовательном совмещении оси кону-

са БРП с осями отверстий определяется какие группы отверстий можно обработать с каждого такого направления. Направления, обеспечивающие наибольшее число обрабатываемых отверстий, включаются в расчет по второму этапу.

На этом этапе расширяется БРП за счет точного учета конфигурации и размеров исполнительных органов станка и заготовки. Рассматривается ряд дискретных положений (с определенным шагом) заготовки в РП станка, отличающиеся разными угловыми и линейными координатами, но с одинаковым направлением главного отверстия. Варианты с наибольшим количеством отверстий принимаются для проектирования установов в операционной технологии обработки корпусных деталей.

В алгоритме расчета предусмотрена оценка целесообразности применения станка с ЧПУ по сравнению с обычным станком для глубокого сверления. Выбор оборудования проводится с учетом минимума затрат неполного штучно-калькуляционного времени по величине критического числа отверстий $K_{кр}$

$$K_{кр} = \frac{45,33П + 13,37И + 46m + (1,58m + 0,43)Z}{33 + 0,77Z},$$

где $П$ – ориентировочное число приспособлений, необходимое для обработки данной группы отверстий; $И$ – число различных диаметров инструментов; m – коэффициент, учитывающий возможность обработки на одном приспособлении отверстий разного диаметра; Z – число деталей в партии. При обработке с данного установа K отверстий целесообразно применять станок с ЧПУ, если $K > K_{кр}$. Для условий обработки, исследованных в гл.3, $K_{кр}$ =3–I0.

Таким образом, при решении данной задачи целевой функцией является максимальное число отверстий, которые можно обработать за минимальное число установов $\tau = \overline{1, p}$, из назначенного к обработке массива отверстий.

$$D = \sum_{\tau=1}^{p} D_\tau \ell = \Sigma D_{1\ell} \cup \Sigma D_{2\ell} \cup \ldots \cup \Sigma D_{p\ell} \to max,$$

где $\ell = \overline{1, K}$ – количество отверстий назначенных для обработки с данного установа D_τ.

Проведенный на ЭВМ анализ обработки группы отверстий в конкретных корпусных деталях позволил установить влияние условий пространственного расположения отверстий на число установов заготовки и правила выбора наилучших вариантов из числа предлагаемых ЭВМ. Показано, что за один установ заготовки можно обработать до 57%, за три установа 75–90% отверстий, общее число уста-

новов всегда меньше числа сторон с отверстиями.

Применение разработанного способа расчета оптимального количества установов позволяет ускорить технологическую подготовку производства, поиск наилучшего варианта установа до 3-5 раз, повысить концентрацию переходов обработки выполняемых за один установ. Разработанные алгоритмы и программы могут быть использованы в автоматизированной системе проектирования специальных станочных приспособлений.

Пятая глава содержит методику назначения рациональных по точности и производительности условий выполнения операции глубокого сверления. Рассмотрена технико-экономическая эффективность внедрения технологических рекомендаций.

Методика позволяет выбрать условия сверления как одного отверстия так и группы ГО. Показана взаимосвязь производительности и точности обработки при сверлении ГО на станке с ЧПУ. Изменение режима резания в процессе сверления по длине заготовки позволило получить минимальные величины отклонения размера, формы и расположения поверхностей отверстия при величине основного технологического времени обработки, уменьшенного на 15%. При сверлении группы отверстий на пятикоординатном станке с ЧПУ сокращаются сроки проектирования операционной технологии на 18%; количество приспособлений и площадей для их хранения; за счет повышения концентрации переходов и уменьшения времени на переналадку оборудования увеличивается производительность обработки.

Результаты работы проверены в производственных условиях на машиностроительном заводе , где обрабатывались детали из титанового сплава. Внедрение операции сверления инструментом одностороннего резания отверстий диаметром 4 мм и длиной 280 мм позволило снизить брак на 86%, себестоимость операции на 44%, увод оси отверстия в 2-3 раза и получить годовой экономический эффект 10305 рублей на один станок.

В приложениях представлены основные теоретические положения регрессионного анализа; программы и результаты расчетов на ЭВМ по определению оптимального положения заготовки в РП 5-ти координатного станка; исследования точности вибрационного сверления (схема 2); приведены основные обозначения и классификация признаков отверстий в корпусной детали.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

1. На основании теоретических и экспериментальных исследований операции обработки глубоких отверстий инструментом одностороннего резания, разработаны адекватные модели образования отклонений формы и расположения поверхности, базирующиеся на физических закономерностях сверления отверстий и позволяющие разработать способы управления процессом с целью достижения высокой точности и производительности. Внедрение рекомендаций работы позволяет снизить отклонения: формы в продольном сечении в I,I-I,8 раза; формы в поперечном сечении в I,I-I,5 раза; расположения обработанной поверхности относительно базы в I,I-I,6 раза.

2. Причинами появления геометрических отклонений отверстия являются соответствующие отклонения заходного участка, периодически изменяющиеся погрешности расположения опор и силовые воздействия, возникающие из-за неравномерной жесткости шпинделя инструмента и заготовки в осевом направлении и связанным с ним изменением площади поперечного сечения срезаемого слоя металла.

Теоретически установлено значение коэффициента копирования геометрических отклонений заходного участка отверстия и его изменение по длине обработки. Для уменьшения величины коэффициента копирования рекомендуется применять способ сверления с изменением режима резания по длине, повышать точность обработки заходного участка, установки кондукторной втулки, увеличивать жесткость узла направления инструмента.

3. Выявлено, что при сверлении отверстий инструментом одностороннего резания радиальное биение является наибольшим отклонением в сравнении с отклонениями размера и формы. Оно зависит от биения кондукторной втулки и режима резания.

Обработку отверстий в деталях типа тел вращения, следует вести с одновременным вращением заготовки и инструмента, что позволяет получить величины амплитуд гармонических составляющих отклонений расположения и формы поперечного сечения отверстия в 2-4 раза меньше, чем при обработке с вращением заготовки, и в 3-6 раз меньше, чем при вращении инструмента, на одинаковой глубине сверления. Для различных технологических схем обработки установлено, что в суммарном отклонении формы в поперечном сечении отверстия наибольший удельный вес имеют вторая C_2 и третья C_3 гармонические составляющие.

4. Разработанную методику оптимизации количества установов и выбора положения корпусной детали в рабочем поле 5-ти координатного станка с ЧПУ, алгоритмы и программы рекомендуется применять в качестве модулей автоматизированной системы проектирования станочных приспособлений. Это позволяет сократить время поиска наилучшего варианта обработки до 3-5 раз, сроки проектирования операционной технологии на 18%, повысить концентрацию переходов обработки выполняемых за один установ, ускорить технологическую подготовку производства.

5. При производственных исследованиях обработки группы глубоких отверстий в корпусных деталях на станке модели ГС 8-500 установлено, что простои по переналадке составляют около 20%.

Использование технологических рекомендаций по применению методики оптимизации количества установок корпусной детали помимо сокращения затрат времени на переналадку технологической системы на 25-40%, установку - снятие детали, приводит к уменьшению вспомогательного времени на позиционирование инструмента.

6. Показано, что для корпусных деталей гидро-, пневмооборудования, при правильно выбранном положении заготовки в рабочем поле станка с пятью управляемыми координатами, за первый установ можно обработать до 57% отверстий, из заданного массива, за второй установ до 26%, за третий до 18% и т.д. Общее количество установов, при обработке детали средней сложности (число отверстий не более 50), обычно не превышает шести.

7. Закономерности процесса сверления инструментом одностороннего резания, полученные при исследовании различных технологических схем обработки, позволили разработать инженерную методику назначения рациональных по точности и производительности условий выполнения операции глубокого сверления.

8. Результаты исследований внедрены на машиностроительном заводе с экономическим эффектом 10305 рублей в год на один станок.

Основное содержание работы изложено в следующих публикациях:

1. Точность обработки глубоких отверстий в деталях из чугуна / Т.А.Винокурова, Р.К.Мещеряков, Е.Ф.Никодимов, А.И. Соловьев. -Известия ВУЗов. Машиностроение, 1979, № 7, с.122-124.

2. Мещеряков Р.К., Соловьев А.И., Красиков Е.Б. Определение оптимального положения корпусной детали в рабочей зоне 5-ти

координатного станка с ЧПУ. – Состояние и перспективы развития технических наук в Киргизии: Тезисы докладов Республиканской научно-технической конференции. – Фрунзе, 1980, с.122-123.

3. Соловьев А.И. Сверло одностороннего резания для обработки титановых сплавов. – Информационный листок, /ГОСИНТИ, 1981, № 121-81, с.1-4.

4. Соловьев А.И. Автоматизация определения оптимального количества установов корпусной детали на сверлильном станке, – Создание гибких автоматизированных производств с применением станков с ЧПУ и промышленных роботов: Тезисы докладов I Республиканской научно-технической конференции. – Фрунзе, 1985, с.76-77.

МВТУ
им. Н. Баумана
БИБЛИОТЕКА