

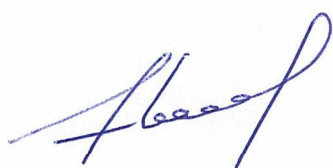
УДК 621.914
На правах рукописи

Носов Михаил Валентинович

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИХ ОПЕРАЦИЙ ИЗГОТОВЛЕНИЯ
КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ НА МНОГОЦЕЛЕВЫХ
СТАНКАХ С ЧПУ**

Специальность 05.02.08 – Технология машиностроения

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук



Москва, 2016

Работа выполнена в Московском государственном техническом университете имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Кондаков Александр Иванович

Официальные оппоненты: **Маликов Андрей Андреевич**
доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой «Технологии
машиностроения» ФГБОУ ВО «Тульский
государственный университет»

Мартинова Лилия Ивановна
кандидат технических наук, доцент
кафедры «Технологии машиностроения»
ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН»

Ведущая организация: ФГБОУ ВО «Рыбинский государственный
авиационный технический университет
имени П.А. Соловьева»

Защита состоится _____ 2017 г. _____ на
заседании диссертационного совета Д 212.141.06 в Московском
государственном техническом университете имени Н.Э. Баумана по
адресу: 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр.1.

Ваш отзыв на автореферат в двух экземплярах, заверенных печатью,
просим выслать по указанному адресу.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Московского
государственного технического университета имени Н.Э. Баумана и на
сайте www.bmstu.ru.

Телефон для справок 8(499)267-09-63.

Автореферат разослан _____ 20__ г.

Ученый секретарь совета
д.т.н., доцент



В.П. Михайлов

Актуальность работы. Корпусные детали современных машин отличается конструктивная сложность и высокие требования к качеству изготовления. Для многих из них характерно наличие 3-х и более основных конструкторских баз, расположенных под различными углами друг к другу, посадочных поверхностей с точностью, например, диаметральных размеров по IT5...IT7, значительного числа точных геометрических элементов и отверстий, сложно расположенных в пространстве. Все это обусловило ресурсозатратность производства корпусных деталей. Процессы их изготовления включают, как правило, значительное число технологических операций, выполняемых, зачастую, на оборудовании высокой и особо высокой точности и сопряженных со значительными расходами производственных ресурсов.

Расширяющееся применение для изготовления корпусных деталей находят многоцелевые станки с ЧПУ (МС). Однако, МС отличается высокая стоимость эксплуатации: стоимость станко-минуты МС по сравнению, например, с токарно-винторезным станком с ЧПУ выше в 5 и более раз. Затраты на инструментальное оснащение операций за 10 лет эксплуатации МС становятся соизмеримыми с затратами на его приобретение и монтаж.

Существует актуальная научно-техническая задача сокращения затрат производственных ресурсов при изготовлении корпусных деталей на МС. Наиболее перспективным путем ее решения является построение ресурсосберегающих операций изготовления корпусных деталей на МС. Это требует разработки необходимого, но отсутствующего в настоящее время, технологического обеспечения, включающего методическое обеспечение и средства автоматизации для построения указанных операций. Сказанное делает тему представленной диссертационной работы, направленной на разработку технологического обеспечения построения ресурсосберегающих операций изготовления корпусных деталей на МС, актуальной.

Цель работы. Снижение затрат производственных ресурсов при построении и реализации технологических операций изготовления корпусных деталей на МС.

Основные задачи исследования.

1. Анализ затрат производственных ресурсов при выполнении операций изготовления корпусных деталей на МС.

2. Разработка и экспериментально-производственная апробация методики обеспечения качества изготовления прецизионных поверхностей корпусных деталей на МС.

3. Разработка методики, средств автоматизации и практических рекомендаций по построению и реализации ресурсосберегающих операций изготовления корпусных деталей на МС.

Научная новизна состоит в выявлении формализуемых связей структурно-параметрических характеристик операций изготовления деталей на МС с показателями расхода производственных ресурсов и использовании выявленных связей для построения ресурсосберегающих операций.

Практическая значимость работы заключается в возможности использования ее основных результатов, разработанных методик и средств автоматизации для построения ресурсосберегающих операций изготовления корпусных деталей на МС инвариантно конструктивно-технологическим характеристикам деталей, модели станка и типу производства. Доказано, что обоснованное построение операций изготовления корпусных деталей на МС из инструментальных переходов, позволяющих обработку нескольких различных комплексов поверхностей одним инструментом, обеспечивает снижение затрат на их выполнение для чугуновых заготовок на 15...30 %, для стальных – на 25...43 %.

Методы исследования. Использовались фундаментальные и прикладные положения технологии машиностроения, методы математического моделирования, теории принятия решений, многокритериального выбора.

На защиту выносятся следующие положения:

- формализованные связи характеристик технологических операций, выполняемых на МС и значений производственных затрат на их выполнение, использованные в разработанной программе определения затрат;
- методика обеспечения качества изготовления прецизионных поверхностей корпусных деталей на МС лезвийной обработкой с коррекцией положения инструмента по результатам измерений и средства автоматизации ее применения;
- методика построения ресурсосберегающих операций изготовления корпусных деталей на МС.

Апробация работы. Основные положения диссертации докладывались на 6-й Всероссийской конференции молодых ученых и специалистов «Будущее Машиностроения России 2013» (Москва, 2013), XXXV Всероссийской конференции «Наука и технологии» РАН, посвященной 70-летию Победы (Москва, 2015), на 8-й Всероссийской конференции молодых ученых и специалистов «Будущее Машиностроения России 2015» (Москва, 2015), VII Научно технической конференции молодых ученых и специалистов ФГУП «НПЦАП» им. Н.А. Пилюгина (Москва, 2016), на 9-й Всероссийской конференции молодых ученых и специалистов «Будущее Машиностроения России 2016» (Москва, 2016). Основные разделы диссертации докладывались на научных семинарах

кафедры «Технологии машиностроения» МГТУ им. Н.Э. Баумана в 2013...2016 г.г.

Публикации. Основное содержание отражено в 9 печатных работах, из которых 5 - в рецензируемых научных изданиях, входящих в перечень ВАК РФ. Общий объем публикаций 3,01 п.л. Список публикаций приведен в конце автореферата.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, списка литературы и приложения. Общий объем работы составляет 167 страниц, в том числе 106 страниц текста, 42 рисунков, 30 таблиц, список литературы из 119 наименований и приложения на 23 страницах.

Содержание работы

Во введении обосновывается актуальность решаемой в диссертационной работе научной задачи, формулируются цель, основные задачи и научная новизна работы.

В первой главе выполнен анализ современного состояния использования производственных ресурсов при построении операций изготовления деталей на станках с ЧПУ.

Производственные ресурсы – совокупность средств производства, трудовых, информационных, энергетических и финансовых ресурсов, вовлеченных в процесс производства. Изготовление машин заданного качества должно осуществляться при минимальных затратах производственных ресурсов всех видов.

Однако, разработку процессов изготовления корпусных деталей традиционно выполняли (в том числе и при использовании станков с ЧПУ) при безусловном доминировании технического принципа проектирования над экономическим. Эффективность технологических систем на базе станков с ЧПУ традиционно оценивали, учитывая: качество (прежде всего – точность) изготавливаемых деталей; штучную производительность; число работающих занятых (высвобождаемых) в производстве. Основы технологического обеспечения точности обработки на станках с ЧПУ заложены в трудах Б.С. Балакшина, Б.М. Базрова, А.М. Дальского, В.С. Корсакова, А.А. Маталина, В.Г. Митрофанова, Ю.А. Розенберга, Ю.М. Соломенцева и др. Эффективности применения станков с ЧПУ часто добивались за счет подбора номенклатуры изготавливаемых деталей, наиболее соответствующей по конструктивно-технологическим признакам возможностям станка с ЧПУ (В.Ф. Безъязычный, Э.А. Пиль, Ю.С. Шарин).

Высокие цена и стоимость эксплуатации МС делают актуальной проблематику комплексного обеспечения эффективности МС, а ресурсосбережение – важнейшим критерием последней. Разработке

методологии оценивания эффективности МС посвящены исследования П.Ю. Бочкарева, А.А. Кутина, Я.Л. Либермана, Г.В. Шадского, Б.Э. Шлишевского и др.

Автором выполнен анализ основных производственных затрат, связанных с эксплуатацией в мелкосерийном производстве трех МС моделей W518MT (Willemin Macodel), C40U (Hermle), G200 (Index) за 10 лет (Рис. 1). Безусловно доминируют затраты на приобретение и эксплуатацию инструмента. За каждое из последних десятилетий затраты на инструмент увеличивались в среднем в 1,2...1,28 раза и достигают за десять лет 0,5...0,56 от затрат на приобретение и монтаж станка. Неоправданное расширение номенклатуры инструмента, используемого в операциях МС, объясняется построением последних из элементарных технологических переходов, преобладающим в настоящее время. Снижению затрат на инструмент способствует построение операций из инструментальных (сложных) переходов с учетом переменности режимов обработки, времени эксплуатации и ожидаемого периода стойкости

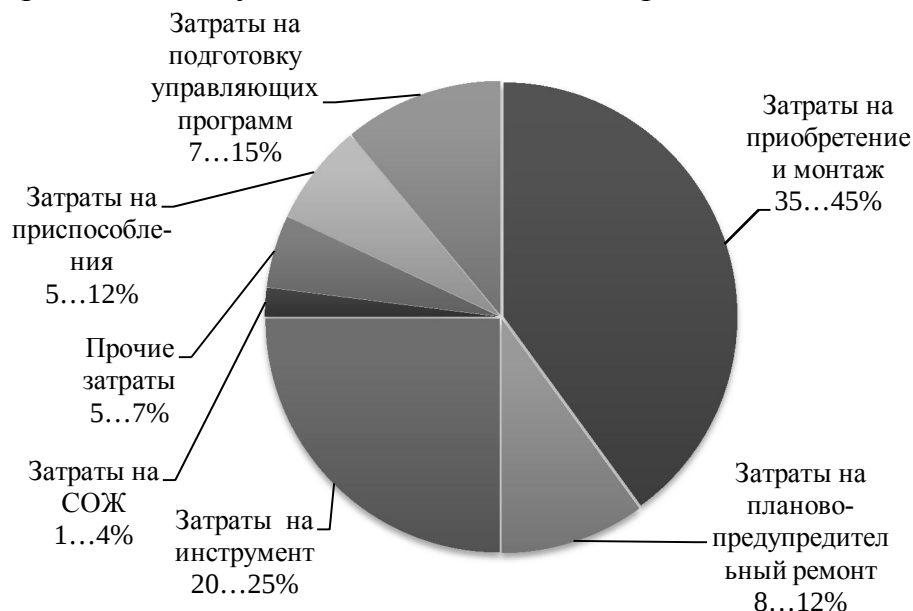


Рис. 1. Баланс основных производственных затрат, связанных с эксплуатацией МС за 10 лет

инструмента. Оценивание эффективности процесса резания и периода стойкости инструмента с учетом переменности режима обработки рассмотрено в работах А.Е. Древаля, В.В. Жмурина, Е.М. Коровина и др. При разработке операций МС обязателен анализ возможных вариантов их построения в зависимости от концентрации переходов как в операции в целом, так и простых переходов в каждом входящем в нее инструментальном переходе. Качество проектных решений, соответствующих вариантам построения операции, может оцениваться критериями вида “полезный эффект/затраты”.

Для важнейших видов производственных ресурсов, используемых в операциях МС, автором определены их основные показатели, причины неоправданного расходования, возможные методы сбережения и проведен анализ исследований, связанных с реализацией каждого метода. Для выполненных по указанной тематике исследований характерно отсутствие комплексного подхода к ресурсосбережению – стремление к сокращению расходования ресурса одного вида часто за счет роста расходов ресурсов других видов.

При изготовлении корпусных деталей на МС актуальна задача обеспечения качества (прежде всего – точности размеров) посадочных поверхностей по IT5...IT7. Весомый вклад в ее решение внесли В.И. Аверченков, И.В. Лазаренко, А.В. Николаев, Г.М. Тромпет, А.В. Федотов, В.Г. Хомченко, Л.О. Штриплинг и др. Признанным перспективным путем решения поставленной задачи является автоматическое введение коррекции положения инструмента по результатам измерений обрабатываемых поверхностей. Однако, для многих, выполненных по данной тематике исследований, характерна слабая практическая доказанность высказанных в них рекомендаций, оторванность обеспечения качества от ресурсосбережения. Анализ показал, что ресурсосбережение при обеспечении качества изготавливаемой детали в операции МС возможно лишь при полной автоматизации всех действий, связанных с коррекцией положения инструмента. Сказанное делает тему представленной диссертационной работы актуальной.

Цель исследования: снижение затрат производственных ресурсов при построении и реализации технологических операций изготовления корпусных деталей на МС. Объект исследования: процесс формирования структурно-параметрических характеристик технологических решений уровня операций при изготовлении корпусных деталей на МС. Достижение поставленной цели исследования связано с выполнением приведенных выше основных задач.

Во второй главе представлены результаты анализа затрат производственных ресурсов при выполнении операций изготовления корпусных деталей на МС. Выявлены и исследованы связи основных структурно-параметрических характеристик операций изготовления корпусных деталей на МС и показателей расхода производственных ресурсов.

Суммарные затраты, связанные с выполнением технологической операции на МС ($Z_{оп}$), предложено оценивать по формуле:

$$Z_{оп} = Z_{и} + Z_{об} + Z_{э} + Z_{р} + Z_{пр} + Z_{уп}, \quad (1)$$

где $Z_{и}$ – затраты на инструментальное оснащение операции; $Z_{об}$ – затраты, связанные с эксплуатацией оборудования; $Z_{э}$ – затраты на электроэнергию;

Z_p – заработная плата основных рабочих; $Z_{пр}$ – затраты на проектирование и изготовление приспособления; $Z_{уп}$ – затраты на подготовку управляющей программы. Для определения значений слагаемых в (1) использованы как корректно заимствованные, так и оригинальные, апробированные в условиях производства мелкосерийного типа, зависимости. Затраты на инструментальное оснащение операции ($Z_{и}$) определяли по формуле:

$$Z_{и} = \sum_{i=1}^I \left\{ K_{иi} + \left[\left(\frac{t_{oi}}{T_{прi}} \right)_{ок} - 1 \right] \right\} C_{иi}, \quad (2)$$

где $K_{иi}$ – количество инструмента i вида (типоразмера) в первичном инструментальном оснащении операции; I – число видов (типоразмеров) инструмента в операционной наладке; t_{oi} – основное время для инструмента i вида; $T_{прi}$ – ожидаемый период стойкости инструмента i вида; $C_{иi}$ – стоимость инструмента i вида (типоразмера). Отношение $(t_{oi}/T_{прi})_{ок}$ округлено до ближайшего большего целого значения. Интенсивность использования инструментального оснащения операции оценивали одноименным коэффициентом ($k_{ио}$):

$$k_{ио} = \frac{P_o}{M(I_o)}, \quad (3)$$

где P_o – число простых (элементарных) переходов в операции; $M(I_o)$ – мощность множества инструмента, используемого в операции. Установлено, что в производственных условиях реально достижение значений $k_{ио}=1,05...1,25$, что соответствует снижению затрат на инструментальное оснащение операции на 10...30 %. Относительная погрешность определения значения $Z_{оп}$ по (1) не более 9 %.

Применение одного и того же инструмента для обработки различных видов или нескольких поверхностей (зон) заготовки должно обеспечивать заданное качество, удовлетворять ограничениям по геометрии расположения поверхностей и достаточности периода стойкости инструмента для завершения операции с учетом переменных режимов резания.

Для описания при формировании операции конструктивно-технологических параметров изготавливаемых деталей предложено использовать параметры комплексов их поверхностей, характеризующихся общностью технологии формообразования (Т-комплексов), рассмотренных в работах А.И. Кондакова. Автором разработан каталог Т-комплексов, изготавливаемых на МС (Таблица 1). Возможность изготовления нескольких Т-комплексов одним инструментом (рис. 2) оценивали по выполнению необходимых условий, индивидуальных для каждого

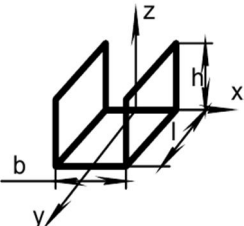
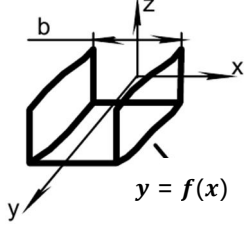
сочетания изготавливаемых комплексов. Для комплексов ТКЗ (см. Таблицу 1) геометрические условия возможности обработки одним инструментом – концевой фрезой (см. Рис. 2):

$$\begin{cases} O_A Z_A \parallel O_E Z_E \parallel O_C Z_C \parallel OZ, \\ B_A, B_E, B_C \leq l_p, \\ D_\phi = (t_{i,})_{\min}, \end{cases} \quad (4)$$

где $O_A Z_A, O_E Z_E, O_C Z_C$ – оси Z изготавливаемых комплексов;

Таблица 1.

Фрагмент каталога Т-комплексов, изготавливаемых на МС

Код	Эскиз	Методы	Код	Эскиз	Методы
ТКЗ		Фрезерование: - концевое; - дисковое	ТК4		Фрезерование концевое

OZ – ось шпинделя МС; B_A, B_E, B_C – ширина фрезерования Т-комплексов; l_p, D_ϕ – длина режущей части и диаметр фрезы; $(t_{i,})_{\min}$ – минимальная ширина комплекса (глубина фрезерования (см. Рис. 2)).

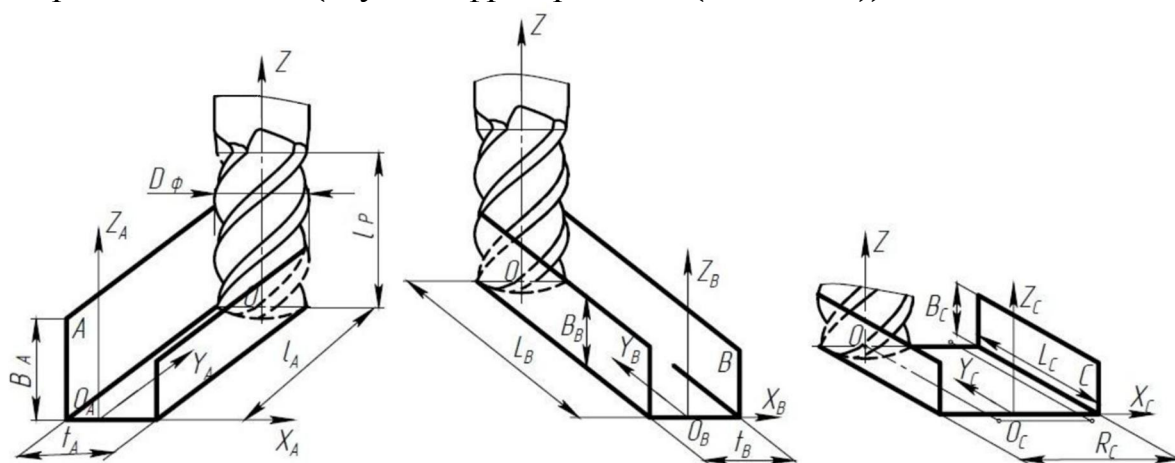


Рис. 2. Возможные схемы фрезерования одной концевой фрезой комплексов ТКЗ (А, Е, С) с разной ориентацией в пространстве на МС с вертикальным расположением шпинделя

Условия, аналогичные (4), определены для 18 Т-комплексов разработанного каталога.

Разработана и экспериментально апробирована методика определения технических показателей различных схем обработки совокупности Т-комплексов одним инструментом, инвариантная кодам комплексов, технологическим методам и видам применяемых

инструментов. На примере контурного фрезерования определяли период стойкости выбранной фрезы при обработке заданной совокупности Т-комплексов, а также оценивали его достаточность для обработки заданной операционной партии заготовок. Исследованы различные подходы к решению поставленной задачи, иллюстрируемые на примере обработки комплекса ТК1 (прямоугольная плоскость). Для фиксированных геометрических параметров выбранной фрезы и каждого из (I) планирующихся к обработке ею комплексов ТК1 определяли нормативные режимы обработки $\{t_1, S_{Z_1}, V_1\}, \dots, \{t_I, S_{Z_I}, V_I\}$. Здесь $t_1, \dots, t_I$ – глубина фрезерования; $S_{Z_1}, \dots, S_{Z_I}$ – подача на зуб фрезы; $V_1, \dots, V_I$ – скорость резания. Оценивали соответствующие периоды стойкости фрезы $\{T_1, \dots, T_I\}$.

В первом из исследованных подходов для обработки комплексов выбирали минимальную скорость резания (V_j):

$$V_j = \min\{V_1, \dots, V_I\}. \quad (5)$$

Частоту вращения фрезы принимали единой для всех обрабатываемых комплексов и равной ее меньшему значению. Если $T_j = \max\{T_1, \dots, T_I\}$, то этот период стойкости принимали единым для всех обрабатываемых Т-комплексов. В противном случае единым для всех комплексов считали среднее значение периода стойкости ($\bar{T}$). Изменяли значения подач на зуб $\{S_{Z_1}, \dots, S_{Z_I}\}$, добиваясь достижения для каждого (i) комплекса условий:

$$T_i = T_j, \text{ или } T_i = \bar{T}; i = 1, \dots, I \quad (6)$$

Основное время обработки всех Т-комплексов одной фрезой ($t_{o\Sigma}$):

$$t_{o\Sigma} = \frac{\pi \cdot D_\phi}{1000 \cdot z} \sum_{i=1}^{i=I} \frac{l_i}{S_{Z_i} \cdot V_j}, \quad (7)$$

где z – число зубьев фрезы; l_i – путь фрезы при обработке i комплекса. Количество обработанных фрезой заготовок (b):

$$b = \left\lfloor \frac{T_j}{t_{o\Sigma}} \right\rfloor, \text{ или } b = \left\lfloor \frac{\bar{T}}{t_{o\Sigma}} \right\rfloor. \quad (8)$$

Оценка эффективности (Q) представленного построения операции:

$$Q = b/C_\phi, \quad (9)$$

где C_ϕ – стоимость фрезы.

При ином подходе к построению операции частоту вращения фрезы (n_j) также принимали минимальной и единой для всех обрабатываемых комплексов. Период стойкости фрезы на переменных режимах ($T_{пр}$) определяли (по Коровину Е.М.):

$$T_{\text{пр}} = \frac{t_{0\Sigma}}{\frac{1}{n_j \cdot z} \cdot \sum_{i=1}^{i=I} \frac{l_i}{S_{Z_i} \cdot T_i}}. \quad (10)$$

Выполнено сравнение результатов применения указанных подходов к прогнозированию периода стойкости концевой фрезы при обработке ею нескольких комплексов ТК1 в едином инструментальном переходе. Для концевых фрез по ГОСТ 17026-71 при обработке литейной стали 40Л период стойкости фрезы на переменном режиме близок к нормативному, соответствующему минимальной скорости резания. Различие в оценках ожидаемого периода стойкости для описанных подходов не более 8...10 %. Основное время обработки совокупности комплексов одной фрезой в инструментальном переходе увеличивается на 20...25% по сравнению с вариантом построения операции из элементарных переходов. Экспериментально установлено, что построение технологических операций МС из инструментальных переходов (на примере концевой фрезерования) обеспечивает снижение затрат на их выполнение для обработки чугуновых заготовок на 15...30 %, для стальных 25...43 %.

Третья глава посвящена изложению разработанной методики обеспечения качества изготовления прецизионных поверхностей корпусных деталей на МС.

Точность линейных и диаметральных размеров поверхностей, соответствующая IT6 для деталей из сталей и железоникелевых сплавов и IT5 для деталей из алюминий-магниевого сплава, гарантированно обеспечивается лезвийной обработкой металлическим инструментом на МС при реализации процедурно разработанной оригинальной методики. При обеспечении точности изготовления прецизионных поверхностей на МС:

1) настраивают технологическую систему МС, включая наладку инструмента, установку приспособления, калибровку используемого для измерений контактного датчика, прогрев станка до тепловой стабилизации;

2) заготовку устанавливают в приспособление;

3) проводят черновую и получистовую обработку поверхности, например, растачиванием, оставляя припуск на чистовую (окончательную) обработку и обеспечивая точность выдерживаемого диаметрального размера по IT9 (при заданной точности по IT6) или IT8 (при заданной точности по IT5);

4) перед началом чистовой (окончательной) обработки измеряют фактический размер поверхности контактным датчиком, установленным на станке, по автоматическому циклу и разработанной стратегии измерения;

5) припуск на чистовую обработку снимают за 2-3 рабочих хода при

постоянной глубине резания, перед каждым рабочим ходом вводят коррекцию положения инструмента по результатам измерения размера обрабатываемой поверхности (Рис. 3).

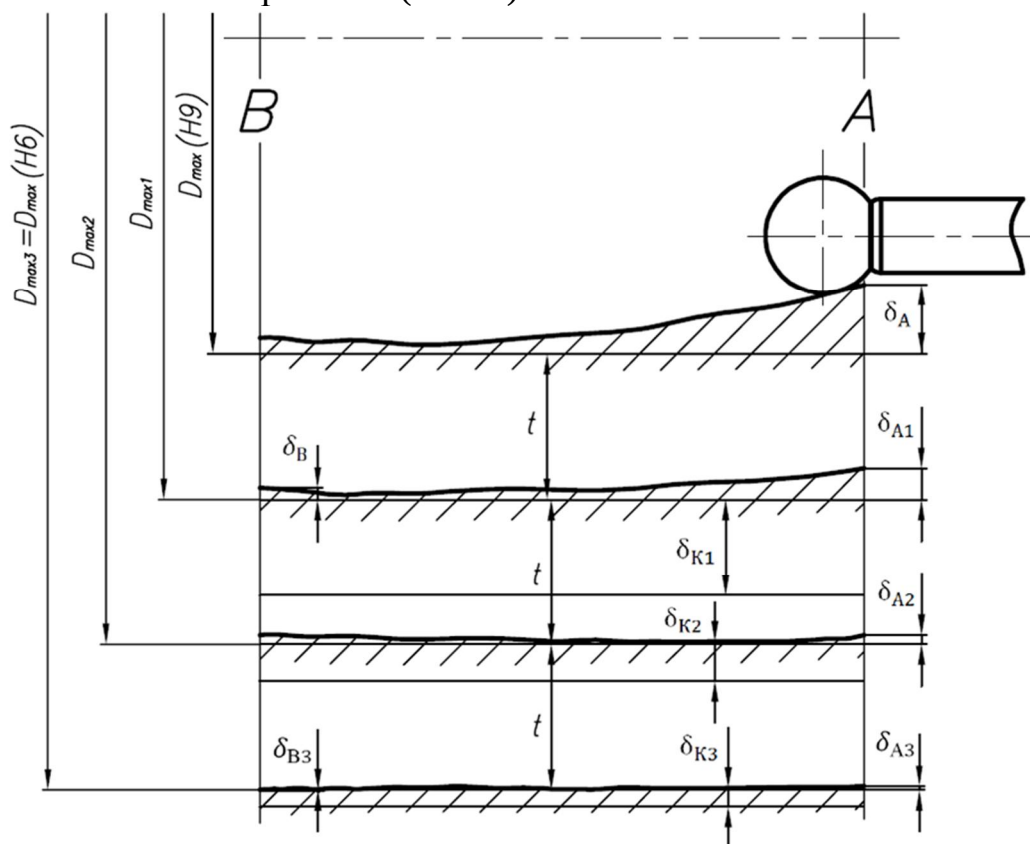


Рис. 3. Схема обеспечения точности диаметрального размера растачиваемого отверстия по Н6 коррекцией положения инструмента: $D_{\max}(H9)$, $D_{\max}(H6)$ – максимальный диаметр отверстия с допуском по Н9, Н6 соответственно; δ_A , δ_B – отклонения размеров радиусов изготавливаемого отверстия, измеренные на торцах А и В соответственно, δ_{K1} , δ_{K2} , δ_{K3} – корректирующее смещение положения инструмента перед корректирующими рабочими ходами 1, 2, 3

Номинальная глубина резания (t) на каждом корректирующем рабочем ходе (для рассматриваемого примера):

$$t = \frac{D_{\max}(H6) - D_{\max}(H9)}{2i}, \quad (11)$$

где i – число корректирующих рабочих ходов. Значения отклонений радиусов изготавливаемого отверстия после i корректирующего рабочего хода рекуррентно связаны:

$$\delta_{Ai} \approx \delta_{Ai-1} \cdot \frac{t + 2 \cdot \delta_{Ai-1}}{t + 2 \cdot \delta_{Ai-2}}, \quad (12)$$

здесь индексами i , $i-1$, $i-2$ помечены значения отклонений после соответствующих корректирующих рабочих ходов. Контактный датчик, устанавливаемый в шпинделе МС, выполняет измерение размеров обрабатываемой поверхности заготовки и передачу сигнала, соответствующего получаемым значениям, в устройство ЧПУ, где вычисляется и отрабатывается необходимая коррекция положения инструмента. Использовали датчик OMP400 (Renishaw) с оптической передачей сигналов, для калибровки которого разработана оригинальная программа для устройства ЧПУ GE Fanuc 30i станка W518MT. При экспериментально-производственной апробации разработанной методики на этом МС выполняли лезвийную обработку сверлением с последующим растачиванием внутренней цилиндрической поверхности $\varnothing 25H6$, Ra0,63 мкм образца из сплава 79НМ. Чистовое растачивание выполняли пластиной Mitsubishi CCGT0600201L-SSVP15TF. Смазывающе-охлаждающая жидкость Mobilcut 232. Растачивание чистовое выполняли при глубине резания, определенной по (11), подача 0,1 мм/об, скорость резания 35,5 м/мин, частота вращения заготовки 450 об/мин. При окончательном контроле размера $\varnothing 25H6$ использовали контрольно-измерительную машину DEA Micra (HEXAGON Metrology) с погрешностью измерения (ISO 10360-2) $E=1,0+L/400$ мкм, где L – измеряемая длина, мм. Отклонения формы отверстия контролировали прибором TALYROND 365 (Taylor Hobson) с погрешностями: а) радиальной $\pm 0,02$ мкм + 0,0003 мкм/мм; б) осевой $\pm 0,02$ мкм + 0,0003 мкм/мм. Шероховатость поверхности измеряли прибором FORMTALYSURF (Taylor Hobson). Математическое ожидание диаметрального размера обработанной поверхности $\varnothing 25H6$ составило 25,009 мм при среднеквадратическом отклонении $\sigma=1,875$ мкм.

Сравнивали технико-экономические показатели изготовления отверстий $\varnothing 25H6$ на МС и по традиционной технологии с использованием внутришлифовальных станков.

При экономических показателях производства, на котором выполнялось исследование:

а) окончательная обработка прецизионного отверстия на МС в 1,15 раза производительнее обработки по традиционной технологии;

б) окончательная обработка прецизионного отверстия на МС дороже обработки по традиционной технологии в 1,35 раза;

в) по критерию “полезный эффект/затраты” технологии практически тождественны. Формализованный характер разработанной методики позволил автоматизировать определение величины необходимой коррекции положения инструмента и ее ввод в устройство ЧПУ.

В четвертой главе изложены результаты разработки методики,

средств автоматизации и практических рекомендаций по построению и реализации ресурсосберегающих операций изготовления корпусных деталей на МС.

Ресурсосбережение в операции изготовления детали на МС зависит от уровней концентрации в ней простых переходов, а также простых переходов в инструментальных. Уровень концентрации простых переходов в операции МС приемлем, если операция, обеспечивая заданное качество изготовления детали, более предпочтительна по заданному критерию, чем совокупность заменяемых ею технологических операций, выполняемых на станках с более ограниченными технологическими возможностями (станки с ручным управлением, станки с ЧПУ более низкого уровня автоматизации). Концентрированная операция (L), выполняемая на МС и заменяющая ряд последующих операций $(L + 1), \dots, I$, выполняемых на станках с меньшими технологическими возможностями, экономически эффективна, если:

$$\frac{\sum_{i=L+1}^I Z_i}{Z_L} > (k - 1), \quad (13)$$

где $\sum_{i=L+1}^I Z_i$ – суммарные приведенные затраты на выполнение заменяемых операций; Z_L – приведенные затраты на выполнение операции L до перевода ее выполнения на МС; k – коэффициент роста производственных затрат на операцию L при переводе ее выполнения на МС.

Для наиболее характерных структур маршрутных процессов изготовления корпусных деталей с использованием МС разработана методика формирования операций МС с максимальной концентрацией переходов. Разработана и апробирована методика построения ресурсосберегающих операций изготовления корпусных деталей на МС, обеспечивающая снижение затрат на инструментальное оснащение операций путем обоснованного формирования инструментальных переходов обработки нескольких комплексов поверхностей одним инструментом с учетом периода его стойкости при эксплуатации на переменных режимах резания. При реализации методики последовательно выполняется:

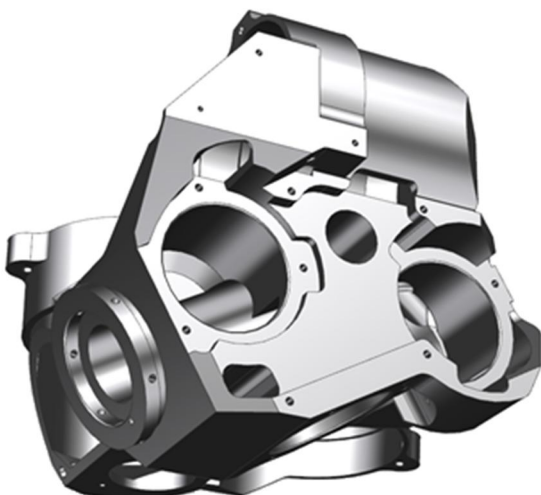
1. Декомпозиция заготовки на Т-комплексы; формирование полного множества видов и параметров применяемого инструмента.
2. Выделение подмножеств Т-комплексов, изготовление которых возможно общим инструментом.
3. Определение режима обработки для каждого Т-комплекса; оценка ожидаемой точности обработки.
4. Формирование вариантов инструментальных переходов.

5. Оценка достаточности периода стойкости для изготовления операционной партии деталей.

Апробацию методики выполняли в производственных условиях при изготовлении корпусных деталей сложной формы из алюминиевых деформируемых сплавов АМгЗ, АМг6 и конструкционных легированных сталей (сталь 20Х) на МС: Hermle C1200; Micron UCP800 Duro; Hermle C40 (Таблица 2).

Таблица 2.

Результаты производственной апробации методики построения ресурсосберегающих операций изготовления корпусных деталей на МС (пример)

Эскиз детали				Характеристики детали			
				Габариты, мм: 250x200x200			
				Материал: сталь 20Х			
				Масса, кг: 2,8			
				Точность основных поверхностей: IT6, IT7			
				Допуски формы и взаимного расположения поверхностей до 0,01 мм			
Характеристика операций							
Этап	P _о ,	M (I _о) ТПП, шт.	k _{ио} ТПП	M (I _о) предлаг. , шт.	k _{ио} предлаг., шт.	З _и ТПП, р	З _и предлаг., р
Черновая обработка	12	9	1,3	6	2,0	41165	28080
Получистова я обработка	31	28	1,1	23	1,35	90668	79476
Чистовая обработка	27	25	1,08	23	1,17	33832	29126
Обозначения: “ТПП”, “предлаг.” – по традиционной подготовке производства и предлагаемой методике соответственно							

Обработку заготовок выполняли, в основном, инструментом, оснащенным сменными металлокерамическими и твердосплавными пластинами от различных производителей. Методика позволяет интенсифицировать использование инструментального оснащения операции без ущерба для качества изготавливаемых деталей. Рост коэффициента интенсивности использования инструментального оснащения ($k_{ио}$) операций черновой-чистовой обработки в 1,44...1,25 раза вызывает снижение затрат на указанное оснащение ($З_{и}$) в 1,4...1,2 раза.

Эффективному внедрению методики построения ресурсосберегающих операций способствует применение разработанных средств автоматизации: программы имитационного моделирования и определения производственных затрат, связанных с выполнением операций МС; автоматических циклов измерения, определения величины и ввода коррекции положения инструмента. В диссертации приведены тексты соответствующих управляющих программ.

Общие выводы по диссертации

1. Актуальна научно-техническая задача сокращения затрат производственных ресурсов при изготовлении корпусных деталей на многоцелевых станках с ЧПУ, имеющая важное значение для машиностроения РФ.

2. В балансе затрат производственных ресурсов доминируют затраты на инструмент: за 10 лет эксплуатации многоцелевого станка с ЧПУ они достигают 20...25% суммарных затрат, что соизмеримо с затратами на приобретение и монтаж станка.

3. Затраты на инструментальное оснащение операции, выполняемой на многоцелевом станке с ЧПУ, доминирующие среди затрат, связанных с ее реализацией, прямо зависят от интенсивности использования оснащения, оцениваемой отношением числа простых (элементарных) переходов к мощности множества инструмента, используемого в операции. Достижение указанного отношения даже в пределах 1,05...1,25 обеспечивает снижение затрат на инструментальное оснащение до 10...30%.

4. Обоснованное построение операций изготовления корпусных деталей многоцелевыми станками с ЧПУ из инструментальных переходов, позволяющих обработку нескольких различных комплексов поверхностей одним инструментом, обеспечивает (на примере концевой фрезерования) снижение затрат на их выполнение для чугуновых заготовок на 15...30%, для стальных – на 25 ...43%.

5. Точность линейных и диаметральных размеров поверхностей, соответствующая IT6 для деталей из сталей и железоникелевых сплавов и

IT5 для деталей из алюминиево-магниевого сплава, в мелкосерийном производстве гарантированно обеспечивается лезвийной обработкой металлическим инструментом при реализации процедурно разработанной оригинальной методики с использованием предложенных средств ее автоматизации.

6. Разработанная методика предусматривает выполнение в автоматическом цикле рабочих ходов чистовой (окончательной) обработки прецизионной поверхности с постоянной глубиной резания и коррекцией положения инструмента по результатам измерения выдерживаемого размера.

7. Доказана эффективность сбережения производственных ресурсов в операциях изготовления корпусных деталей на многоцелевых станках с ЧПУ минимизацией количества используемого инструмента за счет обоснованного построения операций из концентрированных инструментальных переходов, обеспечивающих изготовление нескольких комплексов поверхностей одним инструментом в соответствии с оригинальной методикой построения ресурсосберегающих операций процедурно разработанной в ходе исследования и прошедшей производственную апробацию.

8. Методика построения ресурсосберегающих операций обеспечивает максимальную концентрацию простых переходов в операциях многоцелевых станков с ЧПУ, а также формирование инструментальных переходов максимальной концентрации с учетом периодов стойкости инструментов при эксплуатации на переменных режимах.

9. При изготовлении корпусных деталей из алюминиевых сплавов и конструкционных легированных сталей на многоцелевых станках с ЧПУ увеличение среднего значения коэффициента интенсивности использования инструментального оснащения операций черновой - чистовой обработки в 1,44 ...1,25 раза вызывает снижение затрат на указанное оснащение в 1,4...1,2 раза.

Основное содержание диссертации отражено в следующих работах:

1. Кондаков А.И., Носов М.В. Сбережение производственных ресурсов при построении операций обработки заготовок на станках с ЧПУ// Справочник. Инженерный журнал. 2013. №6. С.21-25. (0,5 п.л. / 0,25 п.л.)

2. Носов М.В., Кондаков А.И. Построение ресурсосберегающих операций обработки заготовок на многоцелевых станках с ЧПУ // Будущее машиностроения России: сб. тр. Шестой всерос. конф. молодых ученых и

специалистов. Москва, 25-28 сентября 2013г. / Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2013. С.51-53. (0,1 п.л. / 0,05 п.л.)

3. Носов М.В., Кондаков А.И. Обеспечение качества изготовления прецизионных поверхностей деталей на многоцелевых станках с ЧПУ // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. 2014. №6 (651). С.56-60. (0,4 п.л. / 0,2 п.л.)

4. Носов М.В., Кондаков А.И. Обеспечение качества изготовления прецизионных поверхностей деталей на многоцелевых станках с ЧПУ // Наука и технологии. Материалы XXXV Всероссийской конференции, посвященной 70-летию Победы. Том 5. М.: РАН, 2015. С.121-128 (0,2 п.л. / 0,1 п.л.)

5. Носов М.В., Кондаков А.И. Коррекция положения инструмента при обеспечении качества изготовления прецизионных поверхностей деталей на многоцелевых станках с ЧПУ // Справочник. Инженерный журнал. 2015. №7. С.6-10. (0,5 п.л. / 0,25 п.л.)

6. Носов М.В., Кондаков А.И. Коррекция положения инструмента при обеспечении качества изготовления прецизионных поверхностей деталей на многоцелевых станках с ЧПУ / Будущее машиностроения России: сб. док. Восьмая всерос. конф. молодых ученых и специалистов. Москва, сентябрь 2015г. / Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2015. С.82-87. (0,3 п.л. / 0,15 п.л.)

7. Носов М.В. Автоматизация измерений при обеспечении качества изготовления прецизионных поверхностей деталей на многоцелевых станках с ЧПУ// Справочник. Инженерный журнал. 2016. №8. С.37-43. (0,38 п.л. / 0,38 п.л.)

8. Носов М.В. Коррекция положения инструмента при обеспечении качества изготовления прецизионных поверхностей деталей на многоцелевых станках с ЧПУ / Будущее машиностроения России: сб. док. Девятая всерос. конф. молодых ученых и специалистов. Москва, октябрь 2016г. / Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2016. С.94-102. (0,5 п.л. / 0,5 п.л.)

9. Носов М.В. Ресурсосбережение при инструментальном оснащении операций, выполняемых на многоцелевых станках с ЧПУ// Справочник. Инженерный журнал. 2016. №10. С.7-13. (0,38 п.л. / 0,38 п.л.)