

М 464447

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ СССР
МОСКОВСКОЕ ОРДЕНА ЛЕНИНА, ОРДЕНА ОКТЯБРЬСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ И
ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ ВЫСШЕЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ УЧИЛИЩЕ
ИМЕНИ Н.Э. БАУМАНА

На правах рукописи
УДК 621.941.1

СКИБА Виктор Мартынович

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ НОВЫХ СПОСОБОВ И СТАНКОВ
ПОПУТНОГО ТАНГЕНЦИАЛЬНОГО ТОЧЕНИЯ

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

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

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

Научный руководитель - кандидат технических наук, доцент
ЧЕРНЯНСКИЙ П.М.

Официальные оппоненты - доктор технических наук, профессор
ОЛИКОВ М.И.

- кандидат технических наук
СЛИПУХОВ И.

Ведущее предприятие - Барановичское СКБ АЛ

Защита диссертации состоится "30" июня 1987 г.
на заседании специализированного Совета по технологии машино-
строения К 053.15.15 в Московском ордена Ленина, ордена Ок-
тябрьской Революции и ордена Трудового Красного Знамени высшем
техническом училище имени Н.Э. Баумана по адресу: 107005,
Москва, 2 - я Бауманская ул., д. 5.

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

...рат в двух экземплярах, заверен-
... по указанному адресу.

Мещеряков 1987 г.

Мещеряков МЕЩЕРЯКОВ Р.К.

ак. №625 Объем I п.л.
05, Москва, Б-5, 2-я Бау-

Общая характеристика работы

Актуальность темы. В XII пятилетке планируется увеличить производительность металлорежущего оборудования в 1,5 - 1,6 раза. Основными факторами, обеспечивающими рост производительности станков, являются интенсификация режимов резания, сокращение потерь по оборудованию и инструменту, применение новых технологических процессов.

Для решения технологических задач обработки заготовок типа тел вращения в последнее время все чаще используется метод тангенциальной обработки, частным видом которого является процесс попутного тангенциального точения (ПТТ). Созданные на его базе станки обладают потенциально наиболее высокой жесткостью, технологической производительностью и точностью обработки, просты по конструкции.

Большинство работ в области тангенциального точения (ТТ) посвящены исследованиям какой-либо одной из схем, что не позволяет найти общие закономерности, обусловленные их принадлежностью к семейству циклоидальных схем обработки (ЦСО), выявить новые способы обработки. Не существует достаточного обоснованных рекомендаций по проектированию техпроцесса, выбору режимов резания и сокращению потерь.

Особенностью процесса ПТТ является прерывистость процесса резания и изменение толщины срезаемого слоя, что вызывает специфические цикловые потери.

Анализ кинематики формообразования различных схем тангенциальной обработки как частных проявлений циклоидальных схем и разработка на этой основе новых высокопроизводительных способов, станков и методики проектирования технологических процессов представляет собой актуальную проблему.

Цель работы - обоснование и разработка новых элементов технологических систем для повышения производительности станков попутного тангенциального точения.

Методы и эксперимент. Применялись теоретические и экспериментальные методы исследований с использованием основ теории производительности машин, теории резания, динамики станков и автоматического регулирования. Экспериментальные исследования проведены на специально оборудованном станке попутного точения

I

НТБ МГТУ им. Н.Э.Баумана



1464777

Скиба В.М. Разработка и исс

МГТУ
им. Н.Э.Баумана

БИБЛИОТЕКА

мод.БТ-50 с использованием современной измерительной аппаратуры. Кинематика процесса резания моделировалась на ЭВМ типа БЭСМ и СМ-4.

Научная новизна. Разработаны методика расчета параметров рабочего хода и схемы резания, обеспечивающая максимальную производительность с учетом точности и гарантированного отвода стружки; классификация циклоидальных схем обработки по конструктивным и кинематическим признакам, являющаяся основой для создания новых конструкций. Предложены принципиальные кинематические схемы новых станков с поступательным движением инструмента. Определены условия для повышения производительности станков ПТТ с использованием автоматического регулирования. Разработаны методы и средства для устранения автоколебаний, даны рекомендации по применению системы автоматического регулирования, определена ее структура и методика расчета основных параметров.

Для схем обработки с круговой подачей предложены более точные по сравнению с известными аналитические зависимости определения толщины срезаемого слоя и кинематической погрешности с учетом параметров и направления движений заготовки и инструмента.

Практическая ценность. Выявлены направления поиска новых способов механической обработки на базе вращательных и поступательно-круговых движений инструмента и заготовки и на их основе техпроцессов и оборудования повышенной производительности. Разработаны пять новых способов обработки, из которых два внедрены.

Для станков ПТТ, с целью сокращения потерь, определены оптимальные параметры рабочего хода и разработаны схемы резания с учетом жесткости, параметров станка, инструмента и режимов резания. Практическую ценность имеют предложения по методике расчета основных параметров системы автоматического регулирования для станков ПТТ, что позволяет увеличить производительность на 50 - 80%.

Реализация работы. Методика проектирования технологического процесса и 3 станка ПТТ для обработки крупногабаритных шкивов внедрены на всю программу изделий ПО "Могилевлифмаш". При этом увеличены производительность и точность, снижена шероховатость, сокращено 2 рабочих 4 разряда, высвобождены 2 тяжелых станка, что за 2 года дало экономический эффект 45,5 тыс. рублей. Предложенные новые способы обработки внедрены в промышленности.

Апробация работы. Основные результаты работы доложены на научно-техническом семинаре ПО "Могилевлифтмаш". Отдельные разделы и работа в целом докладывались и обсуждались на кафедре "Станки и автоматы механосборочного производства" МВТУ им. Н.Э. Баумана в 1976, 1982, 1985 гг.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 19 работ, в том числе 8 авторских свидетельств.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, выводов и приложения. Содержит 145 страниц основного текста, 72 рисунка, 12 таблиц, 110 наименований списка литературы.

Основное содержание работы

В первой главе дан обзор исследований и выполнен кинематический анализ ЦСО, в том числе тангенциальных схем встречной и попутной обработки с учетом основных параметров станка, инструмента, заготовки и производительности. Рассмотренные циклоидальные схемы включают два главных движения — вращательные или комбинацию вращательного и поступательного движений инструмента и заготовки.

Схемы и различные элементы технологических систем тангенциальной обработки рассмотрены в работах Г.И. Грановского, В.М. Каневцева, А.Я. Загородникова, А.О. Этин, Г.А. Шаумяна, Н.М. Карелина, Е.Г. Коновалова, И.В. Душин-Барковского, Е.Д. Баклунова, К.П. Панченко, П.М. Чернянского, Б.А. Усова, Б.М. Гатовского, В.И. Кулика, Ю.М. Ермакова, В.В. Селезневой, Г.С. Саркисяна, Н.А. Карапетяна, В.М. Мирзояна, А.М. Босинзона, А.Я. Лейна и др., в публикациях фирм **BULLARD** и **WEEKES** (США), **HERTEL HEINLEIN**, **HANN+KOLB** (ФРГ) и др.

Анализ выполненных исследований показал, что большинство работ посвящены какой-либо одной схеме или ее конструктивной реализации, недостаточное внимание уделяется выявлению общих закономерностей, методам и средствам повышения производительности; влиянию конструкции станка на параметры техпроцесса, борьбе со специфичными для многолезвийного ТТ видами потерь, являющихся существенным резервом повышения производительности. Не существует достаточно обоснованных рекомендаций по проектированию техпроцесса и выбору режимов резания.

На основе анализа литературных источников сформулированы следующие задачи:

1. Выполнить обобщенный кинематический анализ различных циклоидальных схем и их оценку по параметрам, определяющим производительность и точность обработки.

2. Выявить резервы повышения производительности станков попутного тангенциального точения и разработать методику проектирования технологического процесса.

3. Определить влияние деформаций станка на кинематику процесса резания.

4. Разработать опытный станок с системой автоматического регулирования с целью сокращения специфичных для тангенциального точения потерь.

При кинематическом анализе применен общий метод исследования, включающий представление циклоидальных траекторий единичными параметрическими уравнениями

$$\begin{aligned} X &= L \cdot \cos \varphi - R_2 \cdot \cos(1-i)\varphi, \\ Y &= L \cdot \sin \varphi - R_2 \cdot \sin(1-i)\varphi. \end{aligned} \quad (I)$$

и формализацию разнообразных схем обработки наружных (рис. I) и внутренних поверхностей инструментом с наружным и внутренним касанием, видов и методов обработки с учетом конструктивных и кинематических параметров. Дана классификация ЦСО по соотношениям конструктивных и кинематических параметров. Первые включают радиусы детали R_1 и траектории инструмента R_2 , а также расстояние между их осями L ; вторые — частоты вращения заготовки ω_2 и инструмента ω_1 , $i = \omega_2/\omega_1$.

Разработан и реализован алгоритм расчета и построения циклоидальных траекторий. Установлено, что предложенные автором новые кинематические схемы резания с поступательным круговым движением инструмента, рис. I г, д, имеют общие признаки с известными схемами вращательного движения, рис. I б, в. Выявлены направления в создании новых способов обработки и устройств для их реализации. Два из предложенных новых способов внедрены в промышленности.

Для всех схем, рис. I, (кроме схемы а) получено условие обработки некруглых изделий с N гранями

$$N = |i| \cdot m_p \cdot m_t,$$

где m_p — число ветвей у циклоидальной траектории, m_t — число этих траекторий.

$$R_2 = \infty$$

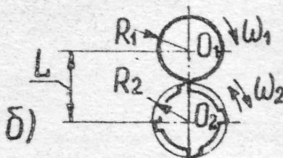


2)



$$R_2 < L$$

$$R_1 < L$$



$$R_2 > L$$

$$R_1 < R_2$$

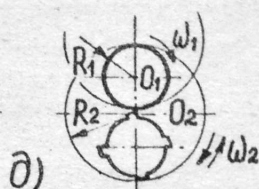
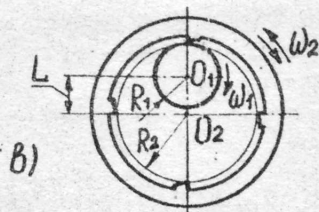


Рис. I. Циклоидальные конструктивно-кинематические схемы обработки с движением инструмента: а - прямолинейным; б, в - вращательным; г, д - поступательно-круговым

При ТТ с круговой подачей точное значение толщины среза Q определяется по зависимостям

$$Q_1 = \pm(R_1 \pm h - z_T),$$

$$Q_i = \pm \left\{ \sqrt{L^2 + R_2^2 + 2LR_2 \cos[\psi_2 + 2\pi \frac{|L| \cdot (L \mp R_2)}{L + R_2(1-L)}]} - z_T \right\}, \quad (3)$$

$$z_T = \sqrt{L^2 + R_2^2 + 2LR_2 \cos \psi_2},$$

где Q_1, Q_i - толщина среза на первом и последующих оборотах заготовки, h - размер припуска, $\psi_2 = |L| \cdot \psi$ - текущая координата резца, z_T - текущий радиус циклоидальной траектории. Верхний знак соответствует обработке наружных поверхностей, нижний - внутренних поверхностей.

Исследован характер изменения толщины среза, выявлены области совпадения и отличия закономерностей изменения кинематических углов резания ψ у разных схем ТТ. На рис. 2 график I характерен

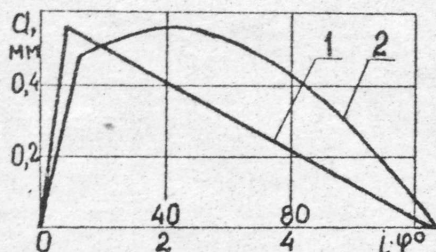


Рис.2. Изменение толщины срезаемого слоя при ПТ

для схем б, д, рис.1, график 2 - для схем в, г. Во втором случае большая средняя величина толщины среза приводит к повышению производительности, но снижается точность.

Кинематическая погрешность оценивается по ее максимальной величине δ_m

$$\delta_m = \pm \left[\left| L \cdot \cos \frac{\pi \cdot (L \mp R_2)}{L \mp R_2(1-L)} - R_2 \cdot \cos \frac{\pi \cdot (1-L) \cdot (L \mp R_2)}{L \mp R_2(1-L)} \right| - R_1 \right] \quad (4)$$

С ростом величины $|L|$ погрешность δ_m увеличивается, что накладывает ограничение на скорость подачи.

Вторая глава посвящена анализу эффективности обработки наружных поверхностей тел вращения методом ПТТ и разработке методики проектирования технологического процесса. Для ПТТ характерны благоприятное сочетание изменения толщины среза и кинематических углов резания, возможность обработки деталей сложного профиля несколькими резцами, сочетание черновой и чистовой обработки, тесная связь между технологией и конструкцией станка и инструмента. Критериями оценки эффективности обработки выбраны время резания t_r , холостого хода t_x и скорости съема Q .

В результате исследований получены зависимости для определения величин t , Q и площади сечения среза f . Применение угла наклона режущей кромки λ обеспечивает плавность врезания, возможность регулирования мгновенными значениями f , Q и направлением стружкоотвода. Для конкретной заготовки у схем а, б, в рис.1 влияние угла λ на время резания разное, в частности, зависит от величины припуска h . Для обеспечения одинакового максимума площади среза вдоль режущей кромки необходимы разные углы λ . При этом условии у схемы наружного касания время t_r

наименьшее. При условии равенства максимального значения скорости съема время резания у всех схем одинаково.

Показано влияние параметра станка L на величины t_p, q_{cr} . t_{cr} у схем б - д при $\lambda = 0$. Для детали с параметрами $R_1 = 20$ мм и $h = 5$ мм значения указанных величин при $L \geq 40$ мм у всех схем одинаковы и постоянны; при $L < 40$ мм время обработки уменьшается, а средняя скорость съема и погрешность растут.

Концентрация обработки на станках ПТТ делает актуальной проблему отвода большого количества стружки. Условия ее отвода зависят от материалов заготовки и инструмента, режимов резания, геометрии резцов и разбивки припуска. Необходимость обеспечения достаточного пространства перед передней поверхностью резцов предопределяет их расположение в резцовых блоках.

Разработка схемы срезания припуска неотделима от очередности съема его отдельных участков. Кроме того, характер стружкообразования и условия отвода стружки влияют на стойкость инструмента и степень его использования. Поэтому для каждой детали проявляются специфические особенности проектирования инструмента.

Оценка схем ПТТ с позиций стружкоотвода показывает преимущество вариантов а, б и д, рис. 1, с наружным расположением резцов. В схемах в и г зона для стружкоотвода ограничена. Поэлементные и комплексные экспериментальные исследования на стендах, станках мод. МР-506, БТ-50 и токарно-карусельном станке ПТ-1512 позволили определить основные параметры конструкции инструмента и режимов резания. Например, для шестерни (сталь 35, 100 мм) межрезцовое расстояние $l = 28 - 32$ мм, $\lambda = 3 - 7^\circ$, $V = 220 - 250$ м/мин, $S = 0,7$ мм/об, стойкость - 500 - 600 обработанных деталей. Выявлены оптимальная для стружкоотвода форма резцовых блоков с мерными резцами и параметры стружколомов при закреплении режущих элементов непосредственно в блоках. Рекомендации использованы при выполнении НИР [8, 9].

Проектирование резцовых блоков осуществляется по схеме срезания припуска и условиям обработки элементарных типовых поверхностей. При выборе геометрии, количества и расположения резцов учитываются ограничения по предельным нагрузкам на режущие кромки и узлы станка, его техническим характеристикам, трансформации углов резания и условиям стружкоотвода [4, 8, 9].

Разработанная схема срезания припуска должна удовлетворять противоречивым условиям. Например, с увеличением припуска уменьшается число резцов и длина блока, но растет путь резания и уменьшается подача и наоборот.

Анализ вариантов схем срезания припуска для ПТТ выполнен по средней скорости съема $Q_{ср} = f(R_1)$. Отличие схем по критерию производительности не велико: при обработке заготовок малого диаметра более выгодна схема наружного касания, а при обработке заготовок большого диаметра – схема внутреннего касания.

При разработке методики проектирования техпроцесса за критерий оценки принято время рабочего хода инструмента. Например, при обработке торца и цилиндра по схеме а, рис. I, время T определяется, соответственно, по формулам

$$T_r = \frac{1}{n} \left(\frac{2eH}{R_1 \cdot Q_m} - \frac{e}{S} + R_1 \cdot \frac{Q_m}{S^2} \right), \quad (5)$$

$$T_u = \frac{1}{n} \left[\frac{e \cdot B}{f_m} \sqrt{\frac{H \cdot \pi}{R_1}} + \frac{1}{S} (\sqrt{2 R_1 \frac{H}{\pi}} - e) \right]. \quad (6)$$

где H, B – соответственно, припуск на радиус и вдоль оси, m – количество срезаемых участков по высоте припуска H, Q_m , f_m – максимальная толщина среза и площадь сечения среза, π , S – частота вращения заготовки и скорость подачи, e – межрезцовое расстояние.

По (5) и (6) определяются параметры рабочего хода и схемы срезания припуска, обеспечивающие максимальную производительность и полную загрузку станка (рис. 3). Общую скорость подачи целесообразно выбирать по доминирующей поверхности заготовки. При последовательной установке резцовых блоков выгодно иметь разную подачу.

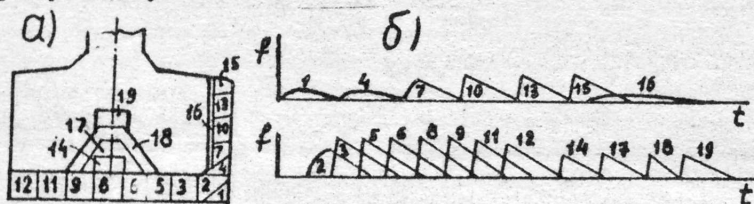


Рис. 3. Схема срезания припуска (а) и циклограмма работы резцов (б). I – 19 – очередность обработки участков

По разработанной методике спроектированы техпроцессы для станков ЕТ-50 и ПТ-1512. В первом случае на одношпиндельном станке ПТТ достигнута производительность такая же, как на 8-ми шпиндельном п/автомате ИК282. Во втором случае время обработки обода шкива сократилось против прежнего техпроцесса в 3,5 раза. Точность увеличилась в 2 раза, шероховатость уменьшилась в 1,8 раза.

Третья глава посвящена теоретическому и экспериментальному исследованию взаимовлияния упругой системы (УС) станка и процесса резания с целью разработки рекомендаций по проектированию технологических процессов с учетом жесткости и создания новых станков ПТТ.

Разработана математическая модель замкнутой системы процесса резания - УС станка с учетом особенностей кинематики резания и обработки "по следу", по которой найдены передаточные функции для выходных параметров обработки по входным технологическим параметрам. По передаточной функции для каждого оборота заготовки получены аналитические зависимости фактической толщины срезаемого слоя S_{ϕ} в функции параметров припуска, подачи и жесткости станка.

Экспериментальные исследования проведены с использованием современной измерительной аппаратуры на станке мод. ЕТ-50, на котором установлен специальный привод с системой автоматического регулирования. Определены значения радиальной жесткости станка в горизонтальном J_x и вертикальном J_z направлениях, крутильной жесткости суппорта J_{ϕ} в прямом и обратном направлениях и разброс их значений по углу поворота шпинделя и суппорта.

Определен характер изменения величины A_{ϕ} на первых оборотах при фиксированных значениях жесткости. Установлено, что при определенных соотношениях жесткостей значение A_{ϕ} на каждом обороте может отклоняться от теоретического значения A . При свободном резании и $\lambda = 0$ наибольшее превышение A_{ϕ} над теоретическим происходит в конце первого оборота. Выявлено влияние трения в опорах суппорта на характер изменения A_{ϕ} , а также параметров припуска h , v , удельной силы резания K , соотношения составляющих силы резания $V = P_y/P_x$, жесткостей J_y, J_z, J_{ϕ} на относительную величину толщины среза $A = A_{\phi}/a$ в конце первого оборота.

Каждой совокупности значений параметров θ, ν, K, j соответствует свой диапазон минимальных значений h , при которых $A < 1$. При ПТТ с ростом h величина A также увеличивается и достигает значений, больших единицы. Границе, при которой деформации УС не влияют на толщину среза (т.е. $A = 1$), соответствует равенство

$$\Psi = \alpha z \operatorname{ctg} \nu / d, \text{ где } d = j_1 / j_2 + j_1 \cdot R_1^2 / j_4. \quad (7)$$

Если $\Psi > \alpha z \operatorname{ctg} \nu / d$, то увеличение K и ширины среза θ вызывает рост A . При $\Psi < \alpha z \operatorname{ctg} \nu / d$ с ростом K и θ величина A уменьшается.

Большие изменения A_ϕ опасны при черновой обработке, когда технологические параметры близки к предельным и возникает угроза поломки резцов. Случайные изменения параметров УС, припуска и резца создают благоприятные и неблагоприятные сочетания их значений. Например, при заданном $A = 1,1$ изменение каждого из параметров $\theta, \nu, K, j_1, d, \Psi$ на 20 – 30% вызывает изменение значения A_ϕ на 3 – 5%, а при совместном неблагоприятном их воздействии – на 50%.

Экспериментальные исследования выполнены при свободном и несвободном резании, при наличии зазора и без зазора в приводе попутной подачи. Оценка изменения фактической толщины среза производилась по изменению силы резания в условиях свободного резания при $\lambda = 0, \theta = \text{const}$, отсутствии биения заготовки, постоянной скорости электродвигателя подачи. При этих условиях снижается влияние на кинематику резания факторов, затрудняющих анализ выходных параметров. Осциллографировались составляющие силы резания P_x и P_y , частоты вращения заготовки, резца, электродвигателя привода подачи, активная мощность и сила тока в фазе электродвигателя привода заготовки, момент контакта резца с заготовкой.

Эксперименты проведены на заготовках из стали и латуни. Соответствие закономерностей силы резания и толщины среза отмечено при фиксированных значениях параметров и малой ширине среза ($\theta = 1,1$ мм). Влияние деформаций УС на процесс резания определяется при изменении параметров h, θ и S .

При $\theta = 4,05$ мм, $h = 2,58$ мм, $S = 0,72$ мм/об отмечен незначительный рост скорости S и силы P_x в конце первого обо-

рота и их уменьшение на втором обороте. Для значений $h = 1,64$ мм, $S = 0,75$ мм/об повышение величины δ от 5,4 мм до 5,8 мм привело к колебаниям силы P_z и синхронно с ней скорости S . При $\delta = 7,8$ мм, $h = 1$ мм переход от спокойного резания к колебаниям произошел при повышении скорости подачи от $S = 0,4$ мм/об до $S = 0,8$ мм/об. Установлено, что при $\delta = \text{const}$, $\lambda = 0$ колебание выходных параметров процесса резания возникают в случае значительных сил резания. Превышение максимума P_z (до 50%) над рассчитанным без учета влияния УС, зависит от технологических параметров h , δ , S , что подтверждает результаты теоретического анализа.

Результаты исследования показали, что при проектировании станков следует функционально связывать их жесткость с пределами технологических параметров, а рассеивание параметров станка, инструмента и заготовки ограничивать с учетом совместного неблагоприятного их воздействия на процесс резания. Для станков ПТТ функциональная связь имеет вид

$$j = \frac{K \cdot \delta \cdot A \cdot R_z^2 \cdot \lambda \cdot \sin \psi}{K \cdot \delta \cdot A \cdot \cos \psi + (A \cdot \lambda \cdot \sin \psi - K \cdot \delta \cdot A \cdot \lambda \cdot \sin \psi)} \quad (8)$$

Наибольшая ширина среза для проектируемого техпроцесса по допустимому значению A равна

$$\delta = \frac{K \cdot \lambda \cdot \sin \psi \cdot (R_z^2 \cdot \lambda \cdot \sin \psi + A \cdot \cos \psi)}{K \cdot \lambda \cdot \sin \psi \cdot (R_z^2 \cdot \lambda \cdot \sin \psi + A \cdot \cos \psi)} \quad (9)$$

Получена информация использования выходных параметров процесса резания в качестве управляющих сигналов при автоматическом регулировании. Отставание сигнала по касанию резца с заготовкой составило: для сил P_z , P_y 0 – 6 мс, для активной мощности 26 – 45 мс, для тока в фазе 56 – 98 мс.

Четвертая глава посвящена проблеме повышения производительности станков ПТТ за счет сокращения специфичных для них цикловых потерь. Разработана конструкция станка со специальным приводом подачи, система автоматического регулирования и выполнены необходимые исследования, подтверждающие их работоспособность.

При обычном исполнении станков ПТТ суппорт перемещается с постоянной скоростью, что сопровождается изменением площади сечения среза. При многолезвийной обработке резание носит периодический характер с различными интервалами времени холостых ходов.

Возникают специфичные потери по неравномерности толщины среза и холостым ходам.

Анализ методов борьбы с указанными потерями приводит к выводу о целесообразности применения автоматического регулирования, получившего достаточно широкое применение в металлообработке. Однако, особенности ПТТ не позволяют использовать готовое решение из-за недостаточности исследований процесса врезания и изменения знака производной функции, описывающей изменение толщины среза.

Важнейшим этапом в создании станка ПТТ с системой автоматического регулирования (САР) является выбор способа регулирования; получение исходной информации о процессе, воздействие на процесс и закон управления процессом резания.

Из возможных источников исходной информации приняты силы резания (выходной параметр) из-за их информативности и малой инерционности преобразователя. В качестве управляющего параметра принята подача (входной параметр). Между выходным и входным параметром существует отрицательная обратная связь. Анализ циклограмм работы станков с разной конструкцией инструментальной оснастки показал, что САР должна обеспечить сокращение обоих видов потерь. Разработанная структурная схема САР включает исполнительные механизмы, измерительные преобразователи выходного параметра, устройство управления и привод подачи.

В конструкции станка с САР, в отличие от серийной модели ЕТ-50, наибольшим изменениям подвергся привод подач. Разработан специальный беззачерпный редуктор и применен малоинерционный электродвигатель постоянного тока ПГТ-1.

Передаточная функция замкнутой системы, включающей процесс резания и систему управления подачей инструмента, имеет вид

$$W(p) = \frac{W_{0y}(p)}{1 + K_{oc} \cdot W_{0y}(p)}, \quad (10)$$

где $W_{0y}(p)$ – передаточная функция объекта управления (процесса резания), K_{oc} – коэффициент усиления обратной связи.

Из выражения (10) получены аналитические зависимости толщины среза для каждого оборота заготовки.

Установлено, что даже при идеальном (безинерционном) приводе подач процесс резания с отрицательной обратной связью носит колебательный характер. Исследовано влияние ширины среза δ ,

припуска h , коэффициента K_{oc} , удельной силы резания на изменение толщины среза. Толщиной срезаемого слоя можно управлять при помощи коэффициента обратной связи K_{oc} и начальной скорости движения подачи ψ'_x . При постоянной силе резания между шириной и толщиной срезаемого слоя существует обратная пропорциональная связь.

Проведены широкие экспериментальные исследования с целью отработки элементов устройства управления, привода подачи и станка, оснащенного САР, в рабочем цикле. Реализована идея удовлетворения противоречивых требований максимального быстродействия при увеличении нагрузки и относительно медленного разгона при ее снижении. По результатам исследований были достигнуты необходимые для ПТТ быстрое торможение и медленный разгон суппорта с помощью корректирующих устройств системы управления. Минимальное время торможения составляет 18 – 30 мс. Из опыта работы на станке с САР следует рекомендовать отношение производных ускорений при торможении и разгоне больше единицы.

Первоначальные эксперименты на станке с САР, направленные на уменьшение потерь t_p и t_x при разнообразных режимах, сопровождались колебаниями. Использование указанной выше рекомендации позволило исключить колебания и получить устойчивый процесс резания (рис.4). При последних условиях проведены исследования с изменением режимов: ширины среза, начальной скорости ψ'_x , припуска h и коэффициента обратной связи K_{oc} с целью получения производственных рекомендаций.

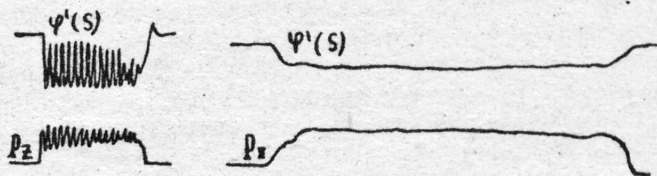


Рис.4. Процесс резания с автоматическим регулированием

Испытание станка ПТТ с САР на рекомендуемых режимах показали, что потери времени t_x уменьшаются в 6 раз, времени t_p – в 1,4 – 1,8 раза, а цикловая производительность станка возро-

ла в 1,5 – 1,8 раза.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Разработана классификация циклоидальных схем обработки по кинематическим и конструктивным признакам, охватывающая множество способов обработки. Предложены пять новых способов обработки, 4 из которых реализованы на станках и устройствах, созданных при участии автора.

2. Для всех рассмотренных схем определены области совпадения и отличия закономерностей изменения кинематической погрешности, толщины срезаемого слоя, трансформации углов резания, скорости съема припуска, что позволяет определить условия их рационального применения.

3. Исследование схем тангенциального точения по критерию технологической производительности показало:

а) с изменением максимальной или средней толщины срезаемого слоя пропорционально изменяется кинематическая погрешность;

б) влияние угла λ на скорость съема припуска для различных схем неодинаково;

в) одни и те же схемы обработки позволяют получить большую или меньшую производительность в зависимости от числа и шага резцов в оснастке, параметров заготовки, принципа распределения припуска и т.д.

4. Разработана методика проектирования технологического процесса обработки заготовок на станках попутного тангенциального точения при участии автора. Установлено, что существует не только зависимость производительности станков от кинематики процесса, угла λ , но и от параметров заготовки, дифференциации и схемы срезания припуска, условий стружкоотвода и конструкции резцовых блоков.

5. Для схем наружного касания с круговой и прямолинейной подачей экспериментально определены предельные расстояния между резцами, режимы резания и геометрия инструмента при обработке деталей диаметром 70 – 800 мм из сталей 35, ШХ15 и СЧ25.

6. Определен экстремум функциональной связи времени рабочего хода и подачи, при котором число резцов минимально.

7. Если длина рабочего хода превышает межрезцовое расстояние, то дифференциация припуска сокращает время обработки.

8. Разработана математическая модель: упругая система станка – процесс резания, которая позволила определить изменение фактической толщины срезаемого слоя в функции жесткости и технологических параметров. Возможное отклонение толщины срезаемого слоя относительно расчетного значения достигает 50%. Предложены математические зависимости нормирования жесткости, обеспечивающие заданное отклонение толщины срезаемого слоя.

9. Радикальный путь снижения специфичных для станков попутного тангенциального течения цикловых потерь – использование системы автоматического регулирования. Экспериментально установлено, что наилучшие результаты получаются при сообщении инструменту во время резания переменного ускорения, максимальные значения производной которого на участках разгона уменьшаются.

10. Разработаны функциональные схемы систем автоматического регулирования, сокращающие время рабочего и холостого хода в цикле, которые реализованы в системе управления на специально созданном станке. Время резания сокращается в 1,4 – 1,8 раза, время холостого хода между резцами – в 4 – 6 раз, что повышает производительность станка в 1,5 – 1,8 раза.

11. Методика проектирования технологического процесса и станки попутного тангенциального течения внедрены на ПО "Могилевлифмаш" на всю программу выпуска изделий, что позволило увеличить производительность на 80%, точность в 2 раза, снизить шероховатость в 1,8 раза, сократить 2-х рабочих 4-го разряда, высвободить 2 станка мод. I5I2, что за 2 года дало экономический эффект 45,5 тыс. рублей. Различные способы обработки внедрены в промышленности.

Основное содержание диссертации отражено в работах:

1. Чернянский П.М., Скиба В.М. Функциональное нормирование жесткости станков // Известия вузов. Машиностроение. – 1979. – №8. – С.132–136.

2. Скиба В.М. Применение адаптивного управления для повышения эффективности последовательной многолезвийной обработки с переменным сечением среза // Труды МВТУ. – 1980. – №344. – С.155–163.

3. Скиба В.М. Исследование станка попутного течения с адаптивным управлением // Труды МВТУ. – 1982. – №379. – С.54–58.

4. Чернянский П.М., Скиба В.М. Обоснование параметров рабочего хода при попутном точении // Известия вузов. Машиностроение. - 1982. - №8. - С.90-94.

5. Скиба В.М. Толщина среза при точении с подачей инструмента по круговой траектории // Известия вузов. Машиностроение. - 1982. - №12. - С.81-84.

6. Чернянский П.М. и др. Станки попутного точения /П.М. Чернянский, В.М.Скиба, И.Д.Краснов и др.// Технология машиностроения для легкой и пищевой промышленности и бытовых приборов: Научно-технический реферативный сборник. - М. - 1980. - Вып.12. - С.10-17.

7. Чернянский П.М., Скиба В.М. Станок попутного точения с системой автоматического управления // Машины, приборы, станцы: Каталог МВТУ. - 1980. - №7. - С.38.

8. Исследование работоспособности станков мод.ЕТ-50, МР-506 и КА-350 попутного точения и рекомендации по промышленному внедрению: Отчет по теме АМ123 /МВТУ. Рук. темы П.М. Чернянский. - М., 1977, 253 с.

9. Исследование разработка техпроцесса обработки крупногабаритных тел вращения методом тангенциального попутного точения для внедрения в условиях завода: Отчет по теме А0145-79 /МВТУ. Рук. темы П.М.Чернянский. - М., 1981, 171 с.

10. А.С. 1066762 СССР. Способ обработки цилиндрических поверхностей /В.М.Скиба, П.М.Чернянский, И.Д.Краснов // Открытия. Изобретения. - 1984. - №2.

11. А.С. 1144769 СССР. Способ тангенциального точения, В.С. Иванов, В.М.Скиба // Открытия. Изобретения. - 1985. - №10.

12. А.С. 1222433 СССР. Способ обработки многогранных изделий /В.М.Скиба // Открытия. Изобретения. - 1986. - №13.

13. А.С. 1271661 СССР. Устройство для сообщения инструментам или деталям кругового поступательного движения /В.М.Скиба, В.С.Иванов // Открытия. Изобретения. - 1986. - №43.