

4184633

НА ДОМ
НЕ ВЫДАЕТСЯ

Министерство высшего и среднего специального образования СССР

Московское
ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени
высшее техническое училище им. Н. Э. Баумана

КУЛИК Виктор Иванович

ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕМАТИКИ И ПОТОКОВ
МОЩНОСТИ В СТАНКАХ ТАНГЕНЦИАЛЬНОЙ
ОБРАБОТКИ

(05.03.01 — Металлорежущие станки и автоматические линии)

Диссертация написана на русском языке

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук



1194633

Кулик В.И. Исследование к

Работа выполнена в МВТУ имени Н. Э. Баумана.

Научный руководитель —
кандидат технических наук, доцент Чернянский П. М.

Официальные оппоненты:
доктор технических наук, профессор Иванов М. Н.
кандидат технических наук, ст. н. с. Нахапетян Е. Г.

Ведущее предприятие — Московский станкостроительный
завод им. С. Орджоникидзе

Автореферат разослан « »

1973 г.

Защита диссертации состо-
ит на заседании Совета факультета
«Производства» Московского
Трудового Красного Знамени
института имени Н. Э. Баумана, по адресу:
Москва, ул. 2-я Бауманская, дом 5.

Ваши отзывы на автореферат
и диссертацию, просьба выслать

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

Ученый секретарь Совета
кандидат технических наук

1194633

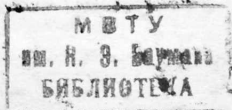
Требования "массового бистросменного производства" и необходимость повышения производительности труда и качества обработки деталей на станках ставят перед учеными и инженерно-техническими работниками станкостроительной промышленности задачи поиска новых прогрессивных технологических процессов и методов обработки и на их основе создания специальных высокопроизводительных станков.

В последние годы на кафедре "Станки и автоматы" МВТУ им. Н.Э. Баумана под руководством проф. Г.А. Шаумяна исследуются различные схемы тангенциальной обработки, на основе метода попутного резания (попутное точение, фрезоточение, нарезание винтовых поверхностей и др.) и создаются принципиально новые станки. Эти работы вскрыли ряд новых кинематических возможностей и особенностей различных схем обработки как наружных, так и внутренних поверхностей тел вращения, а метод попутного точения находит перспективные применения в токарных станках типа БТ-50, МР-506 в одношпиндельных токарных автоматах с новым типом суппорта и других случаях. Метод попутного точения потребовал нового принципа разбивки технологического припуска, учета особенностей протекания силовых процессов, создания станков с безлюфтовым приводом подач, учета кинематических особенностей процесса обработки, как то: трансформации углов резания, кинематической погрешности обработки и т.п.

Настоящая диссертация является продолжением работ кафедры "Станки и автоматы" МВТУ им. Н.Э. Баумана в области станков попутного точения и посвящена исследованию кинематики, особенностей протекания силовых процессов, распределения мощности в станках тангенциальной обработки и исследованию нового привода подач.

Кинематические исследования различных принципиальных схем обработки наиболее полно выполнены проф. Г.И. Грановским и дана классификация возможных схем резания на основе различных сочетаний движений инструмента и заготовки. В дальнейшем это направление получило развитие в работах А.О. Этин, где обработка деталей на станках была разбита на группы: точение - строгание - фрезерование и дана классификация по общности характера обработки; т.е. геометрии стружкообразования и сечения среза.

Задаваясь целью исследования возможностей схем, рис. I, в широком диапазоне отношения чисел оборотов инструмента n_1 и детали n_2 ($-\infty < \frac{n_1}{n_2} < +\infty$), в качестве метода кинематического анализа выбран метод исследования с использованием понятия центроид инструмента и детали, встречающийся в работах проф. Г.И. Грановского и проф. Г.А. Шаумяна и его аспирантов.



БСЗ 9461/М

Использование центроид позволяет также исследовать картину распределения потоков мощности в цепях станков. Об изменении мощности в приводе подач в станках при встречном и попутном фрезеровании сказано проф. А. М. Розенбергом. Общие положения о потенциальной мощности в зацеплении и о потоках мощности в планетарных и замкнутых механизмах мы находим в работах проф. Л. Н. Решетова, проф. Н. Ф. Руденко, проф. В. Н. Кудрявцева. Положения высказанные в этих работах распространяются нами на станки, работающие попутным методом обработки по тангенциальным схемам резания, рис. I.

Создание станков на базе новых методов обработки и отыскание их оптимальных конструктивных вариантов потребовало решения следующих задач, раскрывающих цель работы:

- 1) Определение взаимосвязи кинематических параметров обработки с геометрическими параметрами станка.
- 2) Определение силового воздействия на несущие узлы в момент обработки, картины распределения мощности в кинематических цепях станка и исследование динамики нового привода подач.

При выполнении настоящей работы оказалось возможным результаты исследований отнести ко всей группе станков тангенциальной обработки.

В первой главе разработан единый метод кинематического анализа различных тангенциальных схем обработки, рис. I, на основе понятий о центроидах инструмента и детали и найдены зависимости основных кинематических параметров от геометрических параметров станка.

Как известно, в плоскости, перпендикулярной к осям O_1 и O_2 относительное движение звеньев 1 и 2 сводится к перекатыванию друг по другу двух сопряженных кривых, представляющих центроиды инструмента и детали. Точка касания центроид P называется полюсом и является мгновенным центром вращения. В этой точке скорость относительного движения инструмента и детали равна нулю.

При обработке с постоянным отношением скоростей центроидами инструмента и детали являются окружности, связанные уравнением

$$\frac{O_2 P}{O_1 P} = \frac{r_2}{r_1} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{\varphi}{\varphi_2} \quad (I)$$

где ω — угловая скорость; n — обороты в минуту; φ — угол поворота; r — радиус центроиды соответствующего звена.

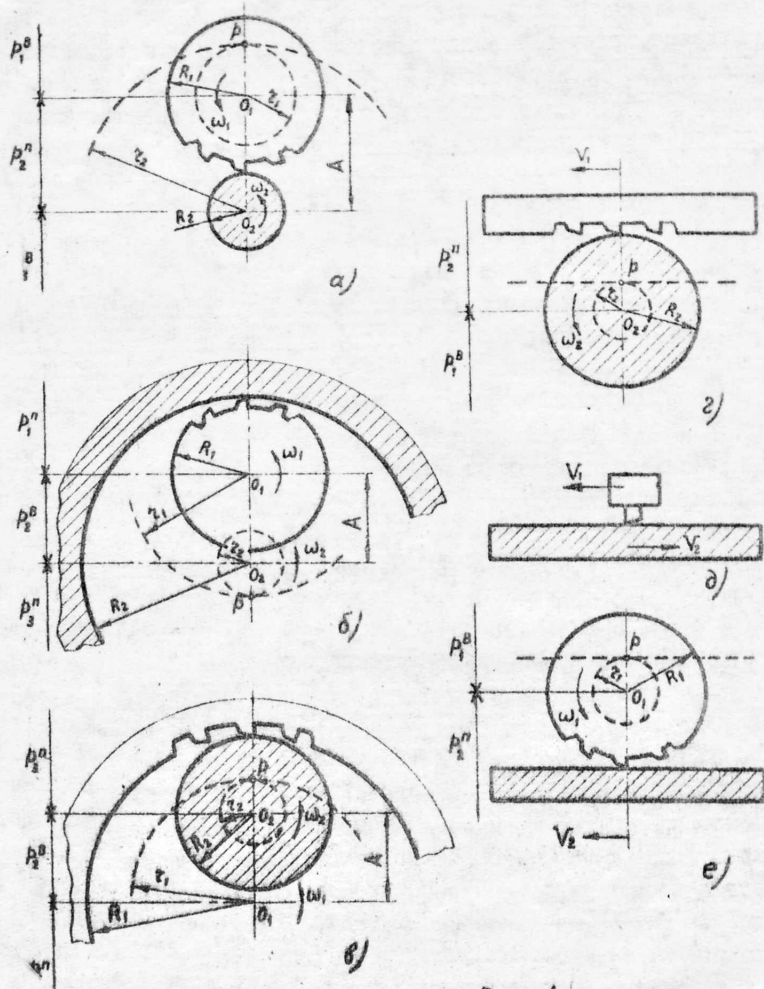


Рис. 1

Межцентровое расстояние в общем случае определяется по формуле

$$|R_1 \pm R_2| = A = |z_1 \pm z_2| \quad (2)$$

а радиусы центроид записываются следующим образом:

$$z_2 = \frac{A}{1 \pm \frac{\omega_2}{\omega_1}} \quad (4) ; \quad z_1 = \frac{A}{1 \pm \frac{\omega_1}{\omega_2}} \quad (5)$$

Если в начале движения обе центроиды соприкасаются в точке $y = z_2$, лежащей на оси ординат, начало координат находится в центре детали, а вершина резца М, удаленная на расстоянии R , от центра инструмента, совпадает с точкой $y = z_2 + z_1 - R$, оси ординат, то траектория точки М может быть представлена параметрическими уравнениями

$$\begin{aligned} x &= A \sin \varphi_2 - R, \sin q \varphi_2 \\ y &= A \cos \varphi_2 - R, \cos q \varphi_2 \end{aligned} \quad (5)$$

Здесь параметром φ_2 служит угол, который составляет радиус - вектор точки соприкосновения двух центроид с положительным направлением оси y .

$$\begin{aligned} z_1 + z_2 &= A \\ \frac{z_1 + z_2}{z_1} &= q \end{aligned} \quad (6)$$

принято ради краткости.

Уравнение (5) позволяет найти общее выражение скорости движения вершины зуба инструмента в теле заготовки (скорость резания):

$$V = \frac{\pi |D_1 \mp d_1| n_1}{1000} \cdot \frac{A}{z_2} \sqrt{1 + \frac{4R_1 z_1}{(R_1 \mp z_1)^2} \sin^2 \varphi_1} \quad (7)$$

Если рассматривать скорость в точках, когда вершина зуба инструмента находится на межцентральной линии, то выражение под радикалом становится равным единице и скорость будет:

$$V = \frac{\pi |D_1 \mp d_1| n_1}{1000} \cdot \frac{A}{z_2} = \frac{\pi |D_1 n_1 \mp D_2 n_2|}{1000} \quad (8)$$

А если пренебречь вращением (круговой подачей) детали при фрезеровании или вращением (круговой подачей) инструмента при точении, то получим общеизвестную формулу для определения скорости резания.

Здесь R, D - радиус, диаметр инструмента или детали,

z, d - радиус, диаметр центроиды инструмента или детали,

φ_1 - угол контакта инструмента с деталью обусловленный глубиной резания.

Из анализа формул (8) вытекает, что одну и ту же величину скорость резания, т.е. величину скорости скольжения вершины зуба инструмента в заготовке, можно получить четырьмя различными способами. Из (7) видим, что скорость движения вершины зуба инструмента в теле заготовки меняет своё значение как по величине, так и по направлению. И если величина скорости резания может быть допустимой, то направление её может оказаться недопустимым для осуществления нормальных условий резания.

Для вывода основных кинематических зависимостей необходимо знать выражение для определения углов контакта инструмента и дета-

ли.

Угол контакта инструмента с обрабатываемой деталью определяется по формуле:

$$\varphi_{1к} = \varphi_{1t} + \varphi_{1h} \quad (9)$$

где φ_{1t} - угол контакта инструмента, обусловленный глубиной обработки t ;

φ_{1h} - угол контакта инструмента, обусловленный высотой гребешка h , получающегося при данных режимах обработки.

Общее выражение угла φ_{1t} имеет вид:

$$\varphi_{1t} = \arccos \left(1 - \frac{t}{R_1} \cdot \frac{R_2}{A} \mp \frac{t^2}{R_1} \cdot \frac{1}{A} \right). \quad (10)$$

Общее выражение угла φ_{1h} имеет вид:

$$\varphi_{1h} = \frac{\varphi_{12}}{2} \cdot \frac{1}{\left| 1 \pm \frac{z_2}{z_1} \cdot \frac{R_1}{R_2} \right|}. \quad (11)$$

При попутном точении необходимо различать два угла контакта детали с инструментом:

1. Угол контакта детали - кинематический:

$$\varphi_{2к} = \frac{z_1}{z_2} (\varphi_{1t} + \varphi_{1h}). \quad (12)$$

2. Угол контакта детали - геометрический образован межцентральной линией и радиусом детали, направленным к вершине реза, т.е. это угол треугольника, вершинами которого всегда являются центры инструмента O_1 и детали O_2 и вершина реза M .

Формула для определения этого угла имеет вид:

$$\Delta \varphi_{1t} = \arccos \left[\frac{R_2 A \pm (R_2 + t) t}{(R_2 + 2t) \cdot A} \right]. \quad (13)$$

В работе рассматривается кинематическая погрешность обработки для всех схем, рис. I и показано, что выражение для определения величины гребешка , образованного пересечением траекторий двух соседних зубьев инструмента в общем виде имеет вид:

$$h = \frac{S_z^2 \cdot R_1}{8(z_1 \pm R_1 \cdot \frac{z_2}{R_2})^2} \cdot \frac{A}{R_2}. \quad (14)$$

Из этой формулы можно получить частные значения h :

а) фрезерование плоскости дисковой фрезой, рис. I

$R_2 = \infty$; $z_2 = \infty$; $A = \infty$; $\lim \frac{A}{R_2} = 1$; $\lim R_1 \cdot \frac{z_2}{R_2} = R_1$,

и формула (14) приобретает вид:

$$h = \frac{S_z^2 \cdot R_1}{8(z_1 \pm R_1)^2}. \quad (15)$$

Выражение подобного вида было ранее найдено В.Д. Морозовым;

б) если в формуле (15) пренебречь величиной z_1 , что допустимо при малых подачах, то получим выражение:

$$h = \frac{S_z^2}{8R_1}, \quad (16)$$

которое впервые было показано проф. В. Л. Чебышевым.

В диссертации даны также выражения h для всех случаев встречного и попутного точения, когда гребешок на детали образуется пересечением траектории одного и того же зуба.

Найдены выражения для определения пути резания, который проходит вершина зуба инструмента в теле заготовки без осевой подачи и при наличии осевой подачи. Предлагаемые зависимости сведены в табличному эллиптическому интегралу второго рода, таблица.

Общее выражение пути резания: $\ell = \ell_t + \ell_h$. (17)

Таблица

Рис. 1	общий вид формул для определения пути резания	
$\alpha^0 \delta^0 \theta^0 \epsilon$	P_1^0, P_2^0, P_3^0	$\ell = 2(R_1 + z_1) \frac{A}{z_1} E(K, \frac{\varphi_1}{2})$ (18)
$\alpha^1 \delta^1 \theta^1 \epsilon$	P_1^1, P_2^1, P_3^1	$\ell = 2(R_1 + z_1) \frac{A}{z_1} [E(K, \frac{\pi}{2}) - E(K, \frac{\pi - \varphi_1}{2})]$ (19)
$\ell = 2\sqrt{\left(\frac{A(R_1 + z_1)}{z_1}\right)^2 + \left(\frac{S}{2\pi}\right)^2} \frac{z_1}{2} E(K, \frac{\varphi_1}{2})$ $\ell = 2\sqrt{\left(\frac{A(R_1 + z_1)}{z_1}\right)^2 + \left(\frac{S}{2\pi}\right)^2} \frac{z_1}{2} [E(K, \frac{\pi}{2}) - E(K, \frac{\pi - \varphi_1}{2})]$ $K = \sqrt{\frac{4R_1 z_1}{(R_1 + z_1)^2 + \left(\frac{z_1}{A} \frac{S}{2\pi}\right)^2}}$		

Из таблицы следует, что для схемы резания, рис. 1а, при режимах обработки с полюсом в области точек P_1^0 , имеем, во-первых, встречный метод обработки и во-вторых, путь резания за поворот инструмента на угол φ_{1t} определяется по формуле (18).

При режимах обработки с полюсом в области точек P_2^0 имеем попутные методы обработки, а с полюсом лежащим в области точек P_3^0 — встречные методы обработки, но в обоих случаях путь резания определяется по формуле (19). В нижней части таблицы даны формулы с учетом осевой подачи S на оборот детали. Путь резания ℓ_h определяется по тем же формулам, заменяя в них угол φ_{1t} на угол φ_{1h} .

В работе дана методика для определения толщины среза при попутном точении, которую можно применить и для других видов обработки. Так как при точении максимальная толщина среза имеет место в конце первого оборота детали, то выражение для её определения имеет вид:

$$a_{max} = R_3 - \sqrt{A^2 + R_1^2 - 2AR_1 \cos(\varphi_{1t} - \frac{z_2}{z_1} 2\pi)}. \quad (20)$$

Необходимо отметить (ибо в литературе имеются другие толкования), что для всех схем рис. I в момент резания, когда вершина резца находится на межцентральной линии O_1O_2 , толщина среза не равна нулю, а при некоторых условиях она становится наибольшей.

Для определения переднего и заднего углов установки при попутном точении, а также угла при вершине, определяющего прочность резца, необходимо знать изменение (трансформацию) углов при резании. Полный угол трансформации выражается формулой

$$\varepsilon = \varepsilon_t + \varepsilon_h \quad (21)$$

$$\text{где } \varepsilon_t = \arccos \frac{r_1 \cos \varphi_{it} - R_1}{\sqrt{R_1^2 + r_1^2 - 2R_1 r_1 \cos \varphi_{it}}} \quad (22)$$

Выражение для угла трансформации ε_h при повороте инструмента на угол φ_h аналогично выражению (22).

В первой главе диссертации также исследуется форма обработанной поверхности при попутном точении и дается выражение для её определения. Дается методика определения условий, при которых образуется N - гранная поверхность детали при ПТ. Даются выражения для определения числа оборотов инструмента $n_{ик}$ и детали $n_{2к}$ за время ободного контакта одним резцом, а также выражение для определения времени резания одним резцом, что важно при определении технологической производительности метода. Предложена методика определения и оптимизации параметров обработки на примере метода попутного точения.

Трудность оптимизации параметров обработки объясняется исключительной разносторонностью явлений, их зависимостью от технологических условий обработки и большого количества частных физических явлений - физических условий обработки, сопутствующих процессу обработки деталей на станках.

В предложенной методике оптимизируются параметры, характеризующие только технологические условия процесса обработки. Параметры процесса разбиты на 3 группы и определена связь между параметрами в каждой группе и между группами. К I-й группе отнесены "геометрические параметры станка и схемы резания" и т.д. см. рис. 2.

Если известны "геометрические параметры станка" (I-я группа) и один из параметров 2-й группы (в нашем случае задаем величину H), то мы можем найти однозначно все или интересующие нас "кинематические параметры обработки" (2-я группа), которые

Во второй главе исследованы характер изменения составляющих силы резания в процессе снятия припуска t , распределение потоков мощности в цепях станка. Показано, что при заданных параметрах станка, его схемы резания и величине мощности, необходимой на процесс резания, могут быть определены потоки мощности действующие в цепях станка, как по величине так и по направлению.

В предложенной методике принято, что в точке контакта зуба инструмента и детали, лежащей на межцентровой линии O_1O_2 , рис.1а, составляющая силы резания P_z перпендикулярна этой линии. Полная мощность N , затрачиваемая на процесс резания, равна сумме мощностей, подводимых в зону резания со стороны привода инструмента и привода детали

$$N = N_1 + N_2 \quad (23)$$

Разделив обе части полученного равенства на полную мощность, затрачиваемую на процесс резания, и раскрыв полученное выражение для рис.1а можно записать его в развернутом виде:

$$1 = \frac{1}{1 + \frac{R_2}{R_1} \cdot \frac{z_1}{z_2}} + \frac{1}{1 + \frac{R_1}{R_2} \cdot \frac{z_2}{z_1}} \quad (24)$$

Формулы для определения мощности главного движения и подачи имеют вид:

$$N_1 = N \frac{1}{1 + \frac{R_2}{R_1} \cdot \frac{z_1}{z_2}}, \quad (25)$$

$$N_2 = N \frac{1}{1 + \frac{R_1}{R_2} \cdot \frac{z_2}{z_1}} \quad (26)$$

Из формулы (24) следует, что для заданной схемы резания с параметрами R_1, R_2, A изменение z , в пределах $-\infty < z_1 < +\infty$ т.е. изменение отношений чисел оборотов инструмента и детали, приводит к изменению и величины мощности в цепях главного движения и подачи. При этом изменение отношений $\frac{N_1}{N}$ и $\frac{N_2}{N}$ не нарушает равенства (23).

На рис.3 построен график распределения потоков мощности в цепи привода инструмента и детали для $R_1 = 30, R_2 = 20, A = 50, -\infty < z_1 < +\infty$.

На графике имитирована схема резания с межцентровым расстоянием A , с центром инструмента в точке O_1 и с центром детали в точке O_2 . Любая точка, взятая на межцентровой линии O_1O_2 , есть точка касания центроид или мгновенный центр вращения инструмента

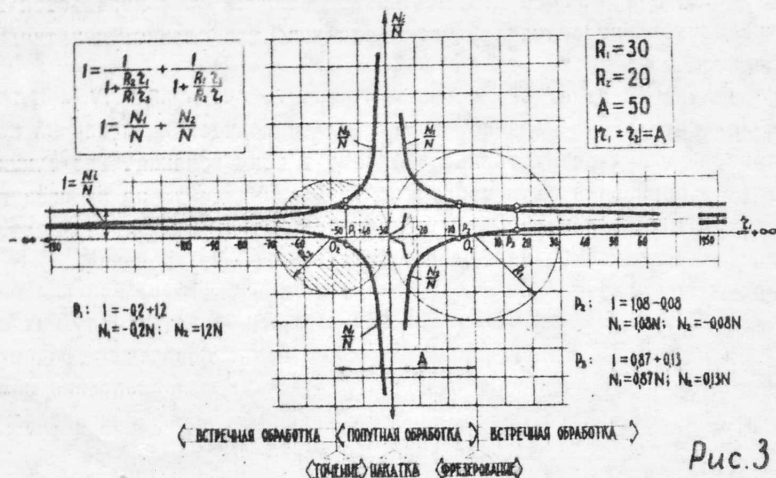


Рис.3

и детали. При этом расстояние от выбранной точки до центра инструмента O_1 равно z_1 , а расстояние от той же точки до центра O_2 равно z_2 . По расстояниям от выбранной точки на оси z до соответствующей кривой графика $\frac{N_1}{N}$, $\frac{N_2}{N}$ и $\frac{N}{N}$ и судят о величине относительных мощностей. Например, для точки P_1 , $z_1 = -45$ по формуле (2) находим $z_2 = 5$. Равенство (24) запишем в численном виде

$$1 = \frac{1}{1 + \frac{20}{30} \cdot \frac{-45}{5}} + \frac{1}{1 + \frac{30}{20} \cdot \frac{5}{-45}}, \text{ или } 1 = -0,2 + 1,2.$$

По формулам (25) и (26) находим $N_1 = -0,2N$; $N_2 = 1,2N$.

Таким образом видно, что по цепи привода инструмента проходит мощность, равная 0,2, а по цепи привода детали мощность равная 1,2 от полной мощности резания N , т.е. большая, чем требуется на сам процесс резания. Найденные мощности должны быть исходными при расчете указанных цепей.

Мощность в цепи подачи для выбранной точки P_1 имеет отрицательный знак, что означает, что при выбранной величине и направлении вращения инструмента и детали мощность N_2 поступает по цепи привода детали в зону резания, где часть её расходуется

на процесс резания, а другая часть (мощность N_1) передается в цепь привода инструмента, что характерно для станков попутного точения.

Для точки β_3 : $z_1 = 15$, $N_1 = 0,87$, $z_2 = 65$, $N_2 = 0,13$. В этом случае обе мощности N_1 и N_2 положительны и обе по соответствующим цепям станка поступают в зону резания, где суммируются, образуя полную мощность N , необходимую на процесс резания. Этот случай характерен для всех встречных методов обработки и, в частности, для обычного встречного фрезерования.

Область точек β или режимов обработки, ограниченная межцентровым расстоянием A на рис.3, является областью попутных методов обработки. Слева и справа от неё лежат области встречных методов обработки. Установлено, что возможно возникновение замкнутых потоков мощностей в станках работающих попутным методом обработки.

Для экспериментального определения мощности, действующей в цепях станка выбрана принципиальная кинематическая схема, рис.1е, обработка плоскости дисковым многозубым инструментом — иглофрезой, представляющей собой микрорезцовую фрезу с несколькими тысячами режущих кромок.

Специальный стенд с иглофрезерной головкой был оборудован на базе горизонтально расточного станка.

Достоинство инструмента — иглофрезы для экспериментального определения характера распределения потоков мощности в станке определяется непрерывным контактом инструмента с обрабатываемой поверхностью, что упрощает измерение мощности, возможностью работать с подачей как по направлению вращения инструмента, так и против; постоянством усилия прижатия его к обрабатываемой поверхности и сравнительно широким пределом изменения величины подачи к скорости вращения инструмента.

Проведенные эксперименты подтвердили результаты теоретических исследований и выводы о характере распределения мощности в цепях привода станка.

В третьей главе изложены результаты исследования работоспособности созданного автором экспериментального стенда "станка ХТ-260" с волновой зубчатой парой в цепи подач.

В приводах подач необходимо осуществлять большие передаточные отношения (порядка 1000) и передавать большие крутящие моменты. В станках ПТ необходимо, кроме того, обеспечить беззазор-

ность привода. Применяемые в настоящее время приводы с червячными безлюфтовыми передачами получаются громоздкими и обладают низким к.п.д. Исходя из требований метода ПТ был разработан новый привод подач с волновой зубчатой парой, являющейся люфтовыбирающим элементом.

Экспериментальная часть работы проводилась на двух установках: "станке ХТ-260" с волновой зубчатой парой в цепи подач и "стенде МВТУ", где используется 2-х червячный безлюфтовый привод подач. Изложена методика проведения эксперимента с одновременной записью силы резания, потребляемой мощности и неравномерности вращения суппорта в процессе резания. Обрабатываемый материал сталь ШХ-15, ГОСТ 801-60; материал режущей части инструмента - твердый сплав Т15К6, ГОСТ 8720-58. Углы резания на пластинке не затачивались, а получались установкой на резцовом суппорте: передний угол $\gamma = -20^\circ$, задний угол $\alpha = 20^\circ$, угол наклона режущего лезвия

$\lambda = 7^\circ$. Указанные углы определены при расположении вершины резца на межцентровой линии. Крутильная жесткость определялась нагружением тихоходного вала привода без фиксации входного вала. При приложении момента большего 170-180 кгм суппорт "станка ХТ-260" прокручивался, т.е. привод работал в режиме мультипликатора. По результатам эксперимента построены графики коэффициента крутильной жесткости $C \left[\frac{\text{кгм}}{\text{рад}} \right]$ и коэффициента относительного рассеяния

ψ от величины крутящего момента на тихоходном валу привода, т.е. на суппорте. Для нагрузки 700-800 кг (158-181 кгм) среднее значение коэффициента крутильной жесткости привода суппорта составило $1,03 \cdot 10^5 \frac{\text{кгм}}{\text{рад}}$, при этом собственная частота привода 5,72 гц.

Оценка моментов инерции вращающихся деталей привода показала, что для данного привода можно принять одномассовую расчетную схему. Исследования стенда-станка с волновой парой в цепи подач проводились как при раздельном так и при общем приводе суппорта и детали. При обработке осциллограмм были найдены: частота крутильных колебаний в приводе подач в момент резания $f = (4,5 \dots 8,5)$ гц; логарифмический декремент колебаний, найденный по верхней и нижней огибающим осциллограммы силы резания $\lambda = (0,15 \dots 0,55)$; коэффициент динамичности $M_{\text{max}} = (1,7 \dots 2,3)$.

Эксперименты показали, что собственная частота привода с достаточной для практики точностью может быть определена по осредненному в рабочем диапазоне моментов коэффициенту крутильной жесткости. Максимальный коэффициент динамичности для исследованного

привода может быть вычислен с помощью статического коэффициента относительного рассеяния Ψ по зависимости Пановко Я.Г. с коэффициентом K_n учитывающим вязкие сопротивления

$$M_{\max} = K_n \cdot \sqrt{\left(\frac{2\pi}{\Psi}\right)^2 + 1} \quad (27)$$

Экспериментально найденные для исследованного привода в условиях резания значения коэффициента $K_n = (0,2 \dots 0,3)$. Логарифмический декримент колебаний может быть приближенно определен по формуле

$$\lambda = \frac{1}{2} \cdot \Psi, \quad (28)$$

что хорошо согласуется с данными эксперимента.

Полагая, что статическая характеристика крутильной жесткости привода подач и в момент резания осталась неизменной можно объяснить изменение частоты колебаний привода в момент резания изменением момента инерции привода подач в связи с появлением в цепи дополнительной пары инструмент-деталь. Появление дополнительной пары и процесса резания сказывается таким образом, что при попутном точении момент инерции привода подач как бы уменьшается, а частота колебаний увеличивается, а при встречном точении наоборот.

В ы в о д н. I. Разработанный единый метод кинематического анализа тангенциальных схем обработки с использованием понятий центроид инструмента и детали позволил установить зависимости основных кинематических параметров обработки от геометрических параметров станка.

2. Разработанная методика определения и оптимизации параметров процесса обработка позволяет инженеру-исследователю рассматривать множество параметров, характеризующих процесс, дифференцированно, со знанием степени влияния одного или группы параметров на процесс обработки.

3. На основе единого метода кинематического анализа рассмотрена схема действия сил резания и распределение потоков мощности в приводах станков тангенциальной обработки при встречном и попутном методе обработки, что позволило теоретически определить:

а) изменение направления действия радиальной составляющей силы резания на резец в момент резания; б) возможность уменьшения в момент резания затрат мощности в приводе подач по сравнению с холостым ходом; в) возможность циркуляции мощности в станках работающих попутным методом обработки; г) что потоки мощности в цепях привода станков попутного точения могут быть больше, чем необходимо на процесс резания и на привод самого станка.

4. Разработана методика определения потоков мощности в цепях станков как по величине, так и по направлению для различных схем тангенциальной обработки при заданных параметрах станка, его схемы резания и величине мощности, необходимой на процесс резания.

5. Экспериментальные исследования действия сил при попутном течении и распределения мощности в приводе главного движения и подач подтвердили теоретические заключения п.3а,б,г настоящих выводов.

6. Экспериментальные исследования нового привода подач с волновой зубчатой парой, показали его удовлетворительную работоспособность в условиях встречного и попутного течения со следующими особенностями: при попутном течении в момент резания затраты мощности меньше, чем на холостом ходу, время резания сокращается, вращение суппорта в момент резания ускоряется, время появления максимальной силы резания наступает раньше, частота крутильных колебаний привода увеличивается, а при встречном течении всё происходит наоборот.

7. Процесс крутильных колебаний при резании при известном моменте инерции привода подач с волновой зубчатой парой может быть с достаточной степенью точности $\pm 15\%$ рассчитан по статической характеристике крутильной жесткости.

По теме диссертации опубликованы следующие работы автора:

1. Кинематика резания при обработке плоскости периферией круга "Труды Х.П.И., выпуск 21. Машиностроение", Хабаровск, 1970.

2. О распределении мощности в станках. "Повышение надежности и точности машин и станков", сб. трудов ХПИ, выпуск 22, Хабаровск, 1971.

3. Распределение мощности в приводах главного движения и подач. "Известия ВУЗов. Машиностроение", № 5, 1972 г. (в соавторстве).

4. Погрешности обработки, зависящие от кинематики резания. "Известия ВУЗов. Машиностроение", № 7, 1972 г. (в соавторстве).

5. Путь резания. "Известия ВУЗов. Машиностроение", № 9, 1972г. (в соавторстве).