

05.03.01  
B752

На правах рукописи

УДК 621.941.02+  
+621.941.013

Ворона Владимир Викторович



РАСЧЕТ ОСНАСТКИ И ОПЕРАЦИИ  
ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКИ СИНУСОИДАЛЬНЫХ  
ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Специальность 05.03.01 – «Технологии и оборудование механической  
и физико-технической обработки»

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Челябинск

2008

Диссертация выполнена на кафедре «Технология машиностроения, станки и инструмент» филиала Южно-Уральского государственного университета в г. Златоусте, а также на кафедре «Станки и инструменты» Южно-Уральского государственного университета.

Научный руководитель — доктор технических наук, профессор  
Щуров Игорь Алексеевич.

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор  
Кошин Анатолий Александрович,  
кандидат технических наук  
Истомин Виктор Михайлович.

Ведущее предприятие —  
ООО «Челябинский тракторный завод — Уралтрак»

Защита состоится 27 мая 2008 г. в 13 часов на заседании диссертационного совета Д 212.298.06 в Южно-Уральском государственном университете по адресу: 454080, г. Челябинск, пр. им. В.И. Ленина, 76.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Южно-Уральского государственного университета.

Автореферат разослан 26 апреля 2008 года.

Ученый секретарь  
диссертационного совета

И.А. Щуров

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность работы.** В механизмах различных машин находят применение детали, цилиндрические поверхности которых имеют некруглую направляющую, в том числе в виде непрерывной замкнутой кривой, изменяющейся по закону синусоиды. Такие поверхности называются синусоидальными цилиндрическими поверхностями (СЦП). Примером использования СЦП являются моментопередающие соединения, которые имеют ряд эксплуатационных и технологических преимуществ по сравнению со шлицевыми и шпоночными, а также трохоидные роторно-поршневые нагнетатели, например, "нагнетатели Ванкеля".

Обзор производственных методов изготовления СЦП, а именно: электроэррозионной обработки; контурного фрезерования и точения на станках с ЧПУ; точения на модернизированных токарных и затыловочных станках; обработки угловой фрезой или круглым резцом методом обката; бескопирного метода обработки на специализированных станках показал, что рассмотренные методы изготовления деталей с СЦП являются либо недостаточно точными, чтобы эти детали можно было использовать в качестве бесшпоночных соединений, либо дорогостоящими, малопроизводительными и нерентабельными в условиях серийного производства. Анализ также показал, что токарная обработка является наиболее перспективным, из рассмотренных, методом изготовления деталей, так как может быть использована для получения и наружных, и внутренних поверхностей любого размера на одном сравнительно недорогом оборудовании.

В то же время установлено, что получение точных синусоидальных профилей токарной обработкой сдерживается малой изученностью геометрических, кинематических и динамических характеристик процесса формообразования СЦП резцом. В настоящий момент не существует научно обоснованной методики проектирования технологического оснащения для токарной обработки СЦП деталей, а также самой операции обработки.

Таким образом, актуальной задачей машиностроения является исследование параметров формообразования СЦП резцом и создание элементов

технологического оснащения для изготовления СЦП в условиях серийного производства.

**Цель работы.** Повышение точности обработки СЦП на основе расчета оснастки и операции токарной обработки с учетом геометрических, силовых и точностных параметров элементов технологической системы и процесса формообразования.

### **Научная новизна работы**

– Получены уравнения для определения рабочих кинематических переднего и заднего углов резца при токарной обработке, когда заготовка совершает вращательное движение, а резец одновременно – движение подачи и за каждый оборот заготовки – возвратно-поступательное радиальное движение.

– Установлены требуемые по условиям правильной обработки СЦП взаимосвязи кинематических главных переднего, заднего углов, кинематического угла наклона главной режущей кромки, вспомогательного заднего угла резца с параметрами режима обработки, геометрией обрабатываемого профиля и остальными параметрами инструмента.

– Установлена закономерность изменения силы резания и инерционных сил при возвратно-поступательном радиальном движении резца за период одного оборота заготовки.

### **Практическая ценность работы**

– Разработана методика расчета технологической оснастки с базированием инструмента по поверхности копира, позволяющая обеспечить заданную точность СЦП.

– Спроектирована и изготовлена технологическая оснастка на универсальный токарно-винторезный станок для обработки СЦП с базированием инструмента по поверхности копира, обеспечивающая заданную точность обработки СЦП.

– Разработана методика проектирования операции токарной обработки СЦП с использованием разработанной технологической оснастки.

## **На защиту выносятся**

– Расчет рабочих кинематических углов резца при токарной обработке синусоидальных цилиндрических поверхностей, а также определение кинематических углов в зависимости от геометрических параметров обрабатываемого профиля и параметров режима обработки.

– Расчет требуемого по условиям правильной обработки СЦП вспомогательного заднего угла резца в зависимости от остальных параметров рабочей части резца и геометрии профиля детали.

– Новые виды технологической оснастки для обработки синусоидальных поверхностей на универсальных токарных станках с базированием инструмента по поверхности копира.

– Методика проектирования оснастки и операции обработки СЦП, включающая определение геометрии резца, конструктивных параметров технологического оснащения и количества проходов в зависимости от требуемой точности профиля.

**Реализация результатов работы.** Разработанная технологическая оснастка была успешно внедрена на ОАО «Ашасвет», г. Аша, в 2003 г. и ОАО «Агрегат», г. Сим, в 2004 г.

**Апробация работы.** Основные положения диссертационной работы доложены на научно-технических конференциях ЮУрГУ в 2003 – 2007 г.

**Публикации по теме диссертационной работы.** Опубликовано 7 работ, в том числе 2 патента на изобретение.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, пяти разделов основного текста, общих результатов и выводов, списка литературы. Объем работы: 202 страницы основного текста, в том числе 101 рисунок, 17 таблиц. В списке использованной литературы содержится 116 наименований.

## **СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

Во **введении** дается общая характеристика работы, обосновывается ее актуальность, научная новизна, практическая ценность.

В первой главе рассмотрены технологические и эксплуатационные преимущества соединений на базе СЦП в сравнении со шлицевыми и шпоночными, а также дано описание геометрических параметров синусоидального профиля. Как известно, его радиус-вектор определяется уравнением:

$$\rho(\psi) = a - b \cos(i\psi),$$

где  $\psi$  – текущий угол радиус-вектора;  $a$  – средний радиус профиля;  $b$  – эксцентриситет;  $i$  – число выступов на профиле.

Проведенный в первой главе анализ производственной практики получения синусоидальных профилей показал, что существующие методы обработки являются недостаточно точными, малопроизводительными или дорогостоящими в современных условиях развития отечественной промышленности, где характерным стало серийное производство. В работах С.Г. Лакирева, С.Г. Чиненова были вскрыты причины отсутствия точных и производительных методов получения некруглых профилей, а именно: изменение силы резания в течение одного оборота заготовки из-за изменения глубины резания, а также изменения рабочих кинематических углов; большие по величине и изменяющиеся по направлению инерционные силы, действующие на элементы технологических систем; пониженная жесткость технологических систем из-за наличия дополнительных механизмов, обеспечивающих радиальное перемещение инструмента относительно заготовки при ее повороте; низкая прочность самого инструмента. Указанными авторами было показано, что существуют способы обработки некруглых профилей с базированием инструмента по поверхностям заготовки, позволяющие повысить точность обработки, так как в этом случае погрешность станка практически не оказывает влияние на суммарную погрешность обработки. Эти способы могут быть использованы и для обработки СЦП.

Проектирование технологической оснастки и операции обработки СЦП в целом предполагает решение вопроса расчета составляющих силы резания. Анализ известных методов расчета этих сил, предложенных

В.Ф. Бобровым, К.А. Зворыкиным, Н.Н. Зоревым, С.С. Силиным и др., показал целесообразность применения методики С.С. Силина в рассматриваемом нами случае. Однако для расчета сил по предложенным зависимостям необходимо определить рабочие параметры резца в процессе резания.

Анализ работ Г.И. Грановского, П.Р. Родина и др., посвященных кинематике резания, показал, что известные зависимости для расчета рабочих кинематических углов могут быть использованы лишь при обработке круглых цилиндрических поверхностей. В случае же обработки СЦП необходимо получить формулы для расчета указанных углов в зависимости от режимов резания и параметров образующей СЦП. Наряду с изложенным было установлено, что кинематика и динамика формообразования СЦП резцом в настоящий момент практически не изучены.

Исходя из цели настоящей работы, необходимо решить **следующие задачи**.

1. Выявить взаимосвязь геометрических параметров лезвия инструмента с кинематикой формообразования СЦП.
2. Определить величины и проанализировать закономерности изменения сил резания и инерции за один оборот заготовки.
3. Экспериментально подтвердить полученные теоретические зависимости.
4. Разработать прогрессивную технологическую оснастку для получения синусоидальных поверхностей на токарном станке.
5. Разработать методику проектирования оснастки и операции токарной обработки синусоидальных профилей и элементов технологического оснащения для ее осуществления, а также внедрить результаты исследований в производство.

Во второй главе реализована первая и вторая задачи исследования, при этом выполнен анализ основных способов обработки СЦП с базированием по различным поверхностям заготовки. Установлено, что для обработки СЦП наиболее приемлемым является способ токарной обработки с базированием инструмента по поверхности, не связанной с обработкой, а именно,

по поверхности копира в виде эксцентрика, причем рабочая поверхность шупа, жестко связанного с инструментом, должна быть выполнена в виде плоскости. Обработка синусоидального профиля резцом по предложенному способу предполагает, что в произвольной точке режущей кромки инструмента помимо векторов скорости главного движения  $\vec{V}$  и скорости подач  $\vec{V}_s$  появляется вектор радиальной скорости  $\vec{V}_p$ , поэтому вектор результирующей скорости  $\vec{V}_e$  равен сумме трех векторов:  $\vec{V}_e = \vec{V} + \vec{V}_p + \vec{V}_s$ .

За основу для определения рабочего кинематического переднего угла  $\gamma_p$  и кинематического угла наклона главной режущей кромки  $\lambda_k$ , который также необходим для расчета угла  $\gamma_p$ , была принята модель Г.И. Грановского для расчета указанных углов при формообразовании с главным вращательным движением заготовки и движением подач резца. Но направляющие косинусы прямой, на которой лежит вектор результирующей скорости  $\vec{V}_e$ , были рассчитаны с учетом радиального профилирующего движения резца (рис. 1).

На основе полученных формул для расчета направляющих косинусов далее были получены уравнения для определения рабочего кинематического переднего угла и кинематического угла наклона главной режущей кромки:

$$\sin(\gamma_p) = \left[ \left( \frac{V_s}{\sqrt{(V \cos(\varepsilon))^2 + (V_p + V \sin(\varepsilon))^2 + V_s^2}} \right) \times \right. \\ \left. \times \left( \sin \left( \varphi + \operatorname{arctg} \left( \frac{\operatorname{tg}(\lambda)}{\cos(\gamma)} \right) \right) \right) \sqrt{1 - \sin^2(\gamma) \cos^2(\lambda_k)} + \right. \\ \left. + \left( \frac{V_p + V \sin(\varepsilon)}{\sqrt{(V \cos(\varepsilon))^2 + (V_p + V \sin(\varepsilon))^2 + V_s^2}} \right) \times \right. \\ \left. \times \left( \cos \left( \varphi + \operatorname{tg} \left( \frac{\lambda}{\cos(\gamma)} \right) \right) \sqrt{1 - \sin^2(\gamma) \cos^2(\lambda_k)} \right) + \right. \\ \left. + \frac{V \cos(\varepsilon)}{\sqrt{(V \cos(\varepsilon))^2 + (V_p + V \sin(\varepsilon))^2 + V_s^2}} \sin(\gamma) \cos(\lambda_k) \right]$$

$$\sin(\lambda_{\kappa}) = \left[ \begin{array}{l} \left( \frac{V_s}{\sqrt{(V \cos(\varepsilon))^2 + (V_p + V \sin(\varepsilon))^2 + V_s^2}} \right) \cos(\varphi) \cos(\lambda) + \\ + \left( \frac{(V_p + V \sin(\varepsilon))}{\sqrt{(V \cos(\varepsilon))^2 + (V_p + V \sin(\varepsilon))^2 + V_s^2}} \right) \sin(\varphi) \cos(\lambda) + \\ + \left( \frac{V \cos(\varepsilon)}{\sqrt{(V \cos(\varepsilon))^2 + (V_p + V \sin(\varepsilon))^2 + V_s^2}} \right) \sin(\lambda) \end{array} \right],$$

где  $V_s = nS$ ,  $V = \omega \frac{(\rho(t) + L \cos(\lambda) \sin(\varphi))}{\cos(\varepsilon)}$ ,  $\varepsilon = \operatorname{arctg} \left( \frac{L \sin(\lambda)}{\rho(t) + L \cos(\lambda) \sin(\varphi)} \right)$ ,

$V_p = bi\omega \sin(i\omega t)$ ,  $\varphi$  – главный угол в плане,  $\lambda$  – угол наклона главной режущей кромки,  $\gamma$  – главный передний угол,  $n$  – частота вращения заготовки,  $S$  – подача,  $\omega$  – угловая частота,  $t$  – время,  $L$  – расстояние от вершины до произвольной точки режущей кромки.

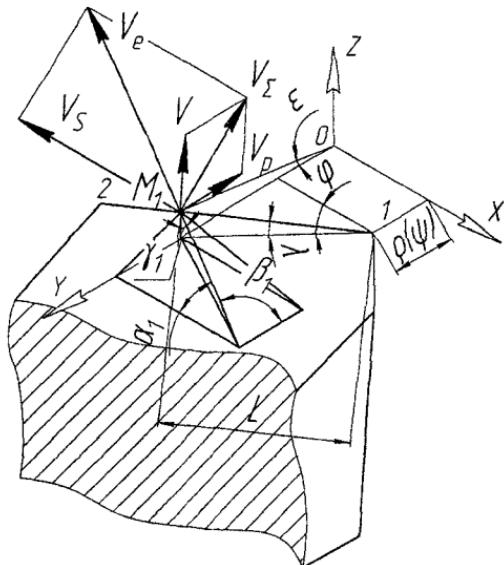


Рис. 1. Схема для расчета направляющих косинусов вектора  $\vec{V}_e$

Рассмотрев положение вектора скорости результирующего движения относительно главной задней поверхности резца в рабочей плоскости (рис. 2), был определен рабочий кинематический задний угол, уравнение которого приняло вид

$$\alpha_P = - \left( \arctg \left( \frac{\sin(\delta) \operatorname{ctg}(\varphi) - \operatorname{tg}(\alpha) \cos(\delta)}{\sin(\varphi)} \right) + \right. \\ \left. + \arccos \left( \frac{\sqrt{(V \cos(\varepsilon))^2 + (V_p + V \sin(\varepsilon))^2}}{\sqrt{(V \cos(\varepsilon))^2 + (V_p + V \sin(\varepsilon))^2 + V_s^2}} \right) \right),$$

где  $\operatorname{tg}(\delta) = \frac{V_p + V \sin(\varepsilon)}{V \cos(\varepsilon)}$ ,  $\alpha$  – главный задний угол.

Уравнение для расчета кинематического угла наклона главной режущей кромки позволило получить, с учетом уравнений П.Р. Родина, зависимость кинематического главного заднего угла, необходимого для последующего определения главного заднего угла резца:

$$\alpha_k = \alpha - \operatorname{arctg} \left[ \frac{V_s \sin(\varphi) - (V_p + V \sin(\varepsilon)) \cos(\varphi)}{V \cos(\varepsilon) \cos(\lambda) - (V_s \cos(\varphi) + (V_p + V \sin(\varepsilon)) \sin(\varphi)) \sin(\lambda)} \right].$$

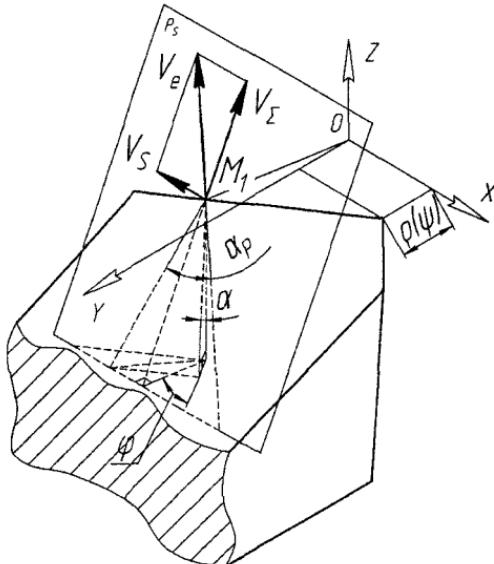


Рис. 2. Схема для расчета рабочего кинематического заднего угла

При обработке СЦП для обеспечения контакта заготовки только с режущим клином необходимо, чтобы проекция рабочей части резца на плоскость, перпендикулярную оси заготовки, была вписана во внутрен-

нюю огибающую при обработке внутренних поверхностей или находится за пределами наружной огибающей при обработке наружных поверхностей (рис. 3).

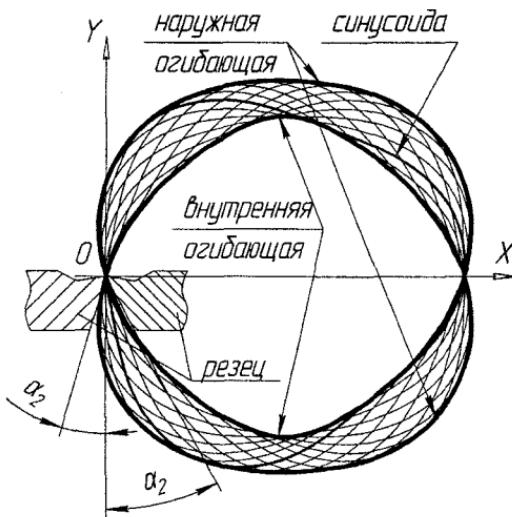


Рис. 3. Огибающие семейства синусоид при  $i = 3$

Для выполнения вышеуказанного условия необходимо определить допустимый угол наклона  $\alpha_2$  проекции линии пересечения главной и вспомогательной поверхностей резца на плоскость, перпендикулярную оси заготовки. Поставленная задача была решена совместно с руководителем диссертационной работы путем отыскания уравнений огибающих семейства синусоид, полученных при вращении заготовки вокруг полюса и одновременного перемещения этого полюса вдоль оси  $Ox$  по закону  $\Delta(\psi) = b \cos(i\psi)$ , и расчета координат точек пересечения огибающей и проекции резца.

Требуемый вспомогательный задний угол резца в зависимости от угла  $\alpha_2$ , главного заднего угла, углов в плане определяется по уравнению

$$\alpha_i = \arctg \left[ \frac{\frac{\operatorname{tg}(\alpha_2) - \frac{\operatorname{tg}(\alpha) \sin(\varphi_1)}{\sin(\varphi + \varphi_1)}}{1 - \frac{\operatorname{tg}(\varphi_1) \cos(\varphi)}{\cos(\varphi_1)}}}{\frac{\sin(\varphi + \varphi_1)}{\sin(\varphi + \varphi_1)}} \right].$$

Рассчитанные рабочие кинематические углы, а также площади срезаемых слоев при обработке СЦП, которые на черновом и чистовом проходах соответственно равны  $f(\psi) = \pm S(R - a_i + b \cos(i\psi))$  и  $f = \pm S(a_i - a)$ , где  $R$  – радиус заготовки вала или радиус предварительно обработанного отверстия; «+» – для вала и «–» – при расчете отверстия;  $a_i$  – средний радиус предварительно обработанного профиля, позволили определить составляющие силы резания. Анализ изменения этих сил показал, что их наименьшие колебания за один оборот заготовки достигаются подбором рационального соотношения между главным передним углом, главным углом в плане и углом наклона главной режущей кромки, что позволяет минимизировать разность между максимальным и минимальным значениями рабочего кинематического переднего угла.

Инерционные силы, также возникающие при обработке СЦП по предложенному способу, можно определить по уравнению

$$F_{in} = m i^2 \omega^2 b \cos(i\omega t),$$

где  $m$  – масса подвижных частей, включающих щуп и резец.

Слабым звеном в технологической системе с точки зрения деформаций является резец, особенно при расточке отверстий малого размера. Уменьшение деформаций резца возможно при его угловом положении относительно оси обрабатываемой заготовки, в плоскости действия сил  $P_y$  и  $P_x$ . При этом главный угол в плане, рассчитанный из условия равенства изгибающих моментов от сил  $P_y$  и  $P_x$  относительно начальной точки вылета резца, в зависимости от угла установки, диаметра корпуса резца, его вылета можно определить по полученному уравнению:

$$\varphi = \arctg \left( \frac{\cos(\beta)}{\sin(\beta) + \frac{K_1}{2 \cos(\beta)}} \right),$$

где  $\beta$  – угол наклона резца к оси заготовки,  $K_1 = \frac{d}{L}$ ,  $d$  – диаметр инструмента,  $L$  – вылет инструмента.

В третьей главе реализована третья задача исследования, где выполнено экспериментальное определение рабочих кинематических переднего и заднего углов, вспомогательного заднего угла, а также дана оценка точности обработки при расточке обычной наладкой и наладкой с разворотом резца под углом, определенным по формуле из второй главы диссертации.

Определить рабочий кинематический задний угол в процессе обработки достаточно сложно, поэтому определялась не его величина, а приращение угла, вызванное различным положением вектора скорости результирующего движения, а значит и плоскости резания, в процессе обработки, для чего на заготовке были получены обработанная наружная синусоидальная поверхность и поверхность резания без продольной подачи. Произведена обработка двух заготовок с  $i = 2$  и  $i = 4$ . Резцы имели параметры:  $\alpha = 12^\circ$ ,  $\gamma = 0^\circ$ ,  $\varphi_i = 15^\circ$ ,  $\lambda = 0^\circ$ ,  $\alpha_i = 20^\circ$ ,  $\varphi = 70^\circ$  – для первой детали и  $\varphi = 60^\circ$  – для второй. Полученные детали устанавливались в 3-х кулачковый патрон делительной головки с базированием по обрабатываемой поверхности. Далее на поверхность резания параллельно оси детали устанавливалась ножка первого индикатора. Ножка второго индикатора устанавливалась на обработанную поверхность перпендикулярно оси детали в плоскости, проходящей через ось детали и ножку первого индикатора. Тогда приращение рабочего кинематического заднего угла по показаниям индикаторов при повороте детали определялось по уравнению

$$\Delta\alpha_p = \arctg \left( \frac{\Delta X}{\sqrt{(\Delta Y_i)^2 + \left( \frac{\Delta Y_{i-1}}{\tg(\tau)} \right)^2}} \right),$$

где  $\Delta X = X_i - X_{i-1}$ ,  $\Delta Y_i = Y_i - Y_{i-1}$ ,  $X_i$  и  $X_{i-1}$  – текущее и предыдущее показания первого индикатора,  $Y_i$  и  $Y_{i-1}$  – текущее и предыдущее показания второго индикатора,  $\tau = \arctg \left( \frac{\Delta Y_i + \rho_{i-1}(\psi)(1 - \cos(\theta))}{\rho_{i-1}(\psi)\sin(\theta)} \right)$ ,  $\rho_{i-1}(\psi)$  – предыдущее значение радиуса кривизны индикатора.

щий радиус-вектор;  $\psi$  – угол поворота детали,  $\theta$  – дискретный угол поворота детали на делительной головке.

Расхождения экспериментального значения приращения и теоретического угла, определенного при  $\alpha = 0^\circ$ , по всем обработанным деталям составляет не более 11,16%, что характеризует достоверность полученных формул.

Непосредственное или косвенное, через другие геометрические параметры, измерение рабочего кинематического переднего угла в процессе обработки представляет собой трудновыполнимую задачу, поэтому выводы об изменении этого угла были сделаны на основе измерения сил резания при чистовой обработке с постоянным припуском. Составляющая силы резания  $P_z$  измерялась динамометром при обработке пяти заготовок с  $i=2$  и пяти заготовок с  $i=3$  на затыловочном станке К-96. Значения  $P_z$  фиксировались индикатором, показания которого были сняты на цифровую камеру. Раскадровка полученного материала позволила построить графики средних значений  $P_z$  в пределах одного оборота заготовки. Сравнение экспериментальных и расчетных значений  $P_z$  находилось в пределах 12,5%, что показывает достоверность полученных во второй главе формул.

Экспериментальное подтверждение полученной во второй главе зависимости вспомогательного заднего угла от геометрии профиля при заданных главном заднем угле, углах в плане было выполнено следующим образом. Предварительно была обработана внутренняя СЦП, профиль которой описан уравнением  $\rho(\psi) = 12 + 1,2 \cos(3\psi)$ . Расчетами определялась внутренняя огибающая указанного профиля и точки ее пересечения с проекцией выбранного резца, у которого расстояние от вершины до основания составляло 8 мм. Расчетный угол наклона  $\alpha_2$  проекции линии пересечения главной и вспомогательной поверхностей резца составил  $\alpha_2 = 35,72^\circ$ . Вспомогательные задние углы, рассчитанные при  $\alpha = 12^\circ$ ,  $\varphi = 85^\circ$ ,  $\varphi_1 = 15^\circ$  и  $\alpha = 8^\circ$ ,  $\varphi = 70^\circ$ ,  $\varphi_1 = 10^\circ$ , соответственно равны  $\alpha_1 = 33,25^\circ$  и

$\alpha_i = 36^\circ$ . Затем было изготовлено из стали 3 ГОСТ 380-91 шесть резцов с указанными выше углами  $\alpha$ ,  $\varphi$ ,  $\varphi_i$ , вспомогательные задние углы у которых были:  $\alpha_i = 35^\circ$ ,  $\alpha_i = 33^\circ$ ,  $\alpha_i = 31^\circ$  и  $\alpha_i = 38^\circ$ ,  $\alpha_i = 36^\circ$ ,  $\alpha_i = 34^\circ$ . Резцы по очереди подводились до момента контакта их с СЦП вращающейся детали. По наличию или отсутствию следов износа на рабочей части были сделаны выводы об адекватности полученных формул.

Для доказательства утверждения о том, что определенная угловая установка инструмента к оси заготовки позволяет уменьшить поперечные деформации резца до требуемого по условиям точности обработки уровня, был реализован следующий эксперимент. Обрабатывалась внутренняя поверхность заготовок диаметром 40 мм двух партий колец из стали 45 ГОСТ 1050–88 в количестве 20 штук каждая. Обработка проводилась на токарно-винторезном станке 1К62, причем первая партия – токарным расточным резцом 2141-0023 ГОСТ 18883–73, вторая партия – тем же резцом, но установленным под углом  $\beta = 10^\circ$  к оси обрабатываемой заготовки. Главный угол в плане, определенный по формуле из второй главы, составил  $\varphi = 76^\circ$ . Оценка точности размеров полученных партий показала, что средний размер партии в первом случае отличается от настраиваемого на 0,099 мм, а во втором – на 0,038 мм, при этом среднеквадратичное отклонение в первом случае составляет 0,094 мм, во втором – 0,04 мм. Полученные факты свидетельствуют о том, что точность при обработке вторым способом повышается.

В четвертой главе реализована четвертая задача исследований. На основе предложенного способа токарной обработки СЦП с базированием инструмента по поверхности копира была спроектирована технологическая оснастка, защищенная патентами РФ. В соответствии с пятой задачей на основе полученных формул была разработана методика проектирования операции, инструмента и элементов технологической оснастки, которая сводится к следующему.

- Для выполнения чернового и чистового прохода устанавливается минимальный припуск под обработку и рассчитывается диаметр предварительного круглого отверстия  $d_{\text{отв}}$  или диаметр вала  $d_a$ .
- По диаметру предварительного отверстия определяется диаметр стержня резца  $d = (0,6 - 0,8)d_{\text{отв}}$ .
- Рассчитывается предварительный вылет резца.
- Из условия компенсации смещений резца под действием  $P_x$  и  $P_y$ , а также выполнимости длины обработки, определяется главный угол в плане и угол наклона резца к оси заготовки, после чего уточняется вылет резца.
- Назначается режим обработки СЦП, аналогичный обработке круглых поверхностей.
- По известным рекомендациям для случая точения назначаются главные передний и задний углы.
- Рассчитывается угол наклона главной режущей кромки из условия минимизации разности наибольшего и наименьшего значения рабочего кинематического переднего угла.
- Рассчитывается кинематический главный задний угол и выполняется уточнение назначенного главного заднего угла.
- Исходя из припуска под последующую обработку, определяются огибающие семейства синусоидальных кривых и далее рассчитываются вспомогательные задние углы.
- Из условия прочности и жесткости резца определяется допускаемая величину составляющей силы резания  $P_z$ , по которой рассчитывается допускаемая глубина резания.
- Определяется количество проходов, уточняется вспомогательный задний угол и рассчитываются составляющие силы резания на всех проходах.
- В зависимости от диаметра стержня резца и его вылета определяются предварительные габариты и масса подвижного резцодержателя; рассчитываются инерционные и компенсирующие силы пружин; уточняется скорость резания в зависимости от допустимой амплитуды движения резца.

- Определяется конструкция установочно-зажимной части технологической оснастки и размеры копира.
- Разрабатывается трехмерная модель подвижного резцодержателя, и уточняются инерционные силы и компенсирующие усилия пружин.
- В зависимости от заданного квалитета точности профиля рассчитываются допустимые упругие, контактные деформации технологической системы.
- Определяются конструктивные параметры шупа.

Исследования точности СЦП деталей, профиль которых описан уравнением  $\rho(\psi) = 10 - 0,625\cos(3\psi)$ , в количестве 20 шт., обработанных на станке 1К62 с использованием разработанной оснастки при  $S = 0,097$  мм/об и  $n = 315$  об/мин, показали, что поле рассеяния среднего диаметра всех деталей не превышало заданный допуск 7 квалитета точности, по которому производился расчет, при шероховатости Ra 2,5 мкм. Измерения СЦП производились на координатно-измерительной машине «OPTON».

**Пятая глава** посвящена оценке экономической эффективности предложенного метода обработки СЦП и его практическому применению. В производственной практике внутренние СЦП 7-го квалитета точности получают электроэрозионной обработкой. Сравнение условно-постоянных и условно-переменных затрат этого метода обработки и токарной обработки с использованием разработанной технологической оснастки при условии наличия оборудования, с учетом дополнительных капитальных вложений, равных цене этой оснастки, в размере 13668,65 руб., показало, что токарная обработка является экономически более выгодной технологической операцией при изготовлении более 30 деталей в год. Профиль СЦП описан уравнением  $\rho(\psi) = 10 - 0,625\cos(3\psi)$ , ширина детали 13,5 мм, материал сталь 45 ГОСТ 1050–88, обработка производилась с ранее указанными режимами резания.

Разработанная технологическая оснастка была успешно внедрена на двух предприятиях.

## ОБЩИЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

1. Разработана методика проектирования оснастки и операции токарной обработки синусоидальных цилиндрических поверхностей, включающая расчет рабочих кинематических переднего и заднего углов; кинематических главных переднего, заднего углов и угла наклона главной режущей кромки; главного угла в плане; вспомогательного заднего угла; угла установки стержня резца, а также ускорения инструмента, на основе которых выполняются расчеты сил, напряжений и деформаций элементов технологической системы с базированием инструмента по поверхности копира для обеспечения заданной точности обработки.

2. Впервые определена и экспериментально подтверждена требуемая по условиям правильной обработки точением СЦП зависимость для расчета вспомогательного заднего угла резца при заданных: главном заднем угле, углах в плане, параметрах обрабатываемого синусоидального профиля.

3. Спроектирована, изготовлена и внедрена технологическая оснастка для токарной обработки СЦП на универсальных станках с базированием инструмента по поверхности копира.

## ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Для уменьшения максимального значения и амплитуды колебания силы резания за один оборот заготовки при точении СЦП необходимо:

- уменьшить амплитуду изменения рабочего кинематического переднего угла путем использования установленного соотношения между статическими передним углом, углом наклона главной режущей кромки и главным углом в плане резца;

- максимально возможно увеличить главный передний угол.

2. Повышение прочности режущего клина при точении СЦП достигается увеличением минимального значения кинематического главного заднего угла путем увеличения главного угла в плане.

3. Повышение точности точения СЦП достигается путем применения резца с главным углом в плане, рассчитанным в зависимости от размеров корпуса инструмента, его вылета и величины его угла установки.

4. При конструировании оснастки для обработки СЦП при постоянном эксцентризите или среднем радиусе с рекомендуемыми на практике коэффициентами формы поверхности детали в расчетах достаточно определить силу резания для профиля с наименьшим количеством выступов, а инерционную силу – с наибольшим.

## ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНЫ В РАБОТАХ

### *Издания из перечня Высшей аттестационной комиссии*

1. Чиненов, С.Г. Приспособление для обработки некруглых цилиндрических поверхностей / С.Г. Чиненов, В.В. Ворона, Т.П. Чиненова // СТИН. – 2005. – № 7. – С. 11–13.

2. Ворона, В.В. Вспомогательный задний угол резца при токарной обработке синусоидальной цилиндрической поверхности / В.В. Ворона // СТИН. – 2007. – № 3. – С. 16–18.

3. Щуров, И.А. Определение рабочих кинематических углов при обработке резцом синусоидальной цилиндрической поверхности / И.А. Щуров, В.В. Ворона // Вестник машиностроения. – 2007. – № 7. – С. 42–46.

4. Щуров, И.А. Расчет минимальной величины вспомогательного заднего угла резца при точении цилиндрических поверхностей с некруглыми направляющими / И.А. Щуров, В.В. Ворона // Вестник ЮУрГУ. – 2007. – № 11. – С. 69–72.

### *Остальные издания*

5. Пат. № 2245224 Российская Федерация, МПК<sup>7</sup> В 23 В 5/44. Устройство для обработки некруглых цилиндрических поверхностей / С.Г. Лакирев, С.Г. Чиненов, В.В. Ворона В.В., Т.П. Чиненова, С.П. Максимов; зая-

заявитель и патентообладатель ЮУрГУ. – № 2003123901/02; заявл. 30.07.2003; опубл. 27.01.2005, Бюл. № 3. – 7 с.

6. Пат. № 2280539 Российской Федерации, МПК<sup>7</sup> B 23 B 5/44. Устройство для обработки синусоидальных цилиндрических поверхностей / С.Г. Чиненов, В.В. Ворона, Т.П. Чиненова, Я.В. Высогорец; заявитель и патентообладатель ЮУрГУ. – № 2005109099/02; заявл. 29.03.2005; опубл. 27.07.2006, Бюл. № 21. – 6 с.

7. Чиненов, С.Г. Разработка процессов формообразования синусоидальных поверхностей для деталей циклоидальных механических передач / С.Г. Чиненов, Т.П. Чиненова, В.В. Ворона // Конструкции, технологии, управление в машиностроении и строительстве: сб. науч. тр. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2007. – С. 121–126.

Научная библиотека ЮУрГУ  
г.Челябинск

Ворона Владимир Викторович



10000 01 0086625

РАСЧЕТ ОСНАСТКИ И ОПЕРАЦИИ  
ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКИ СИНУСОИДАЛЬНЫХ  
ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Специальность 05.03.01 – «Технологии и оборудование механической  
и физико-технической обработки»

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Издательство Южно-Уральского государственного университета

---

Подписано в печать 21.04.2008. Формат 60x84 1/16  
Усл. печ.л. 0,93. Уч.-изд.л. 1. Тираж 110 экз. Заказ 102/146

---

Отпечатано в типографии Издательства ЮУрГУ.  
454080, г. Челябинск, пр. им. В.И. Ленина, 76.