

5.02.08
18

КОНТРОЛЬНЫЙ
ЭКЗЕМПЛЯР

Министерство высшего и среднего специального
образования СССР

Челябинский политехнический институт
имени Ленинского комсомола

На правах рукописи

ШАЛАМОВА ИРИНА АГАФАНГЕЛОВНА

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ МНОГОИНСТРУМЕНТНЫХ
ТОКАРНЫХ ОПЕРАЦИЙ НА СТАЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Специальность № 05.02.08 - "Технология машиностроения"

Автореферат
диссертации на соискание
ученой степени кандидата
технических наук

Челябинск
1980

Работа выполнена в Челябинском политехническом институте
имени Ленинского комсомола.

Научный руководитель - доктор технических наук,
профессор С.Н.ЮРЧАК.

Официальные оппоненты- доктор технических наук,
профессор Н.М.КАПУСТИН,
кандидат технических наук
Е.В.ВЛАДИМИРОВ.


Ведущее предприятие - указано в решении совета.

Защита состоится " _____ " _____ 1980 г., в _____ часов,
на заседании специализированного совета К-053.13.01 по присуждению
ученой степени кандидата технических наук в Челябинском политехни-
ческом институте имени Ленинского комсомола по адресу: 454044,
г.Челябинск, проспект имени В.И.Ленина, 76, ауд.244.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Автореферат разослан " _____ " _____ 1980 г.

Ученый секретарь
специализированного совета К-053.13.01
кандидат технических наук

 В.М.Меньшаков

Актуальность проблемы. Имея большие потенциальные возможности повышения производительности за счет совмещения переходов и рабочих ходов инструментов, многоинструментная автоматизированная обработка приобретает в машиностроении все больший удельный вес. Однако, качество обработки на многоинструментных станках гораздо ниже, чем на универсальных. Отсутствие специальных обоснованных методик по назначению режимов резания, обеспечивающих заданные показатели качества при многоинструментной обработке /точность и шероховатость/ приводит к выбору недостаточно интенсивных режимов резания, которые при обработке однотипных деталей на различных заводах колеблются в два и более раз.

Многовариантность операций многоинструментной обработки приводит к тому, что при ручных методах проектирования анализ всех возможных вариантов весьма затруднен и поэтому спроектированная операция часто оказывается не оптимальной. Решением этой проблемы является автоматизация проектирования, учитывающая комплексную взаимосвязь параметров качества и условий обработки.

Для повышения эффективности автоматных операций на стадии проектирования необходимы зависимости показателей качества от режимов и других условий резания, учитывающие специфику многоинструментной обработки и предназначенные для использования в системах автоматизированного проектирования.

Цель работы. Установление взаимосвязей технологических ограничений по точности обработки и шероховатости обработанной поверхности с основными параметрами управления, а именно с элементами режимов резания, для повышения эффективности многоинструментных токарных операций на стадии проектирования.

Основные задачи. 1. Разработать научно обоснованную модель формирования шероховатости обработанной поверхности, справедливой в широком диапазоне варьирования технологических факторов, характерном для многоинструментной токарной обработки.

2. Выявить закономерности формирования погрешности многоинструментной обработки, вызванной динамическими деформациями технологической системы, при учете силового взаимовлияния отдельных инструментов наладки.

3. Разработать практические рекомендации по учету особенностей многоинструментной обработки при назначении режимов резания на автоматных операциях.

Научная новизна. Выявлены специфические особенности многоинструментной токарной обработки /широкий диапазон варьирования технологических параметров и взаимное влияние отдельных инструментов наладки/ и сформулированы основные требования, предъявляемые к математическим моделям технологических ограничений применительно к условиям их использования в автоматизированных системах проектирования.

Разработана широкодиапазонная модель шероховатости, отражающая экстремальное влияние скорости резания на высоту микронеровностей и подтверждающая наличие предельно достижимой шероховатости при токарной обработке.

Разработана модель величины динамической настройки технологической системы, учитывающая совокупное влияние сил резания нескольких инструментов.

Разработана модель погрешности обработки партии деталей, отражающая силовое взаимодействие различных инструментов наладки на точность исполнения каждого выдерживаемого размера и учитывающая неустойчивость механических свойств заготовки, разброс жесткостей элементов технологической системы и колебания снимаемых припусков.

Показана взаимосвязь погрешностей линейных и диаметражных размеров, выполняемых с продольного и поперечного суппортов. Величины полей рассеивания при этом зависят от структуры наладки. Установлена невозможность полного использования полей допусков при произвольно выбранной структуре наладки.

Практическая ценность работы. Разработанные модели точности и шероховатости при многоинструментной обработке приведены к виду, позволяющему включить их в автоматизированную систему проектирования, что дало возможность повысить надежность полученных на ЭВМ решений за счет более строгого учета ограничений по качеству.

Модель деформаций технологической системы в направлении выполняемых размеров позволяет оценить номиналы настроечных размеров в процессе проектирования операции, что снижает трудоемкость настройки станка.

Модель динамической составляющей погрешности обработки партии деталей позволяет прогнозировать точность изготовления детали для спроектированного варианта наладки и дает возможность определить

область режимов резания, обеспечивающих выпуск деталей с заданной точностью.

Косвенный метод оценки погрешностей является средством определения точности исполнения размеров от технологической базы в производственных условиях в том случае, если эта база удаляется в процессе обработки.

Модель шероховатости позволяет получить области варьирования режимов резания, обеспечивающих получение заданного класса шероховатости.

На основании аналитических результатов исследования разработаны справочные таблицы, позволяющие в условиях ручного проектирования назначать режимы резания, обеспечивающие заданную шероховатость и точность исполнения размеров при многоинструментной обработке.

Реализация работы. Разработанные модели в качестве основных технологических ограничений включены в автоматизированную систему расчета на ЭВМ оптимальных режимов резания для автоматных операций. Внедрение первой очереди системы на Высокогорском и Каслинском механических заводах дало годовой экономический эффект в размере 89,3 тыс. рублей.

Разработан и внедрен на Высокогорском механическом и других заводах "Руководящий технологический материал по назначению режимов резания, обеспечивающих заданное качество деталей /шероховатость и точность исполнения размеров/ при многоинструментной токарной обработке".

Апробация работы. Диссертационная работа в целом и отдельные ее положения доложены и обсуждены на научно-технических конференциях и семинарах в Москве, Киеве, Владивостоке, Кургане, Пензе, Челябинске.

Публикация. По материалам диссертации опубликовано восемь работ.

Структура и объем работы. Материалы диссертации изложены на 148 страницах машинописного текста. Работа состоит из введения, пяти глав, заключения, выводов, списка литературы, включающего 196 наименований, и приложений. В работе имеются 55 рисунков и 29 таблиц.

ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОГРАНИЧЕНИЙ ПО ТОЧНОСТИ И ШЕРОХОВАТОСТИ ПРИ МНОГОИНСТРУМЕНТНОЙ ОБРАБОТКЕ

Для многоинструментной обработки характерны кинематическая и организационная взаимосвязанность различных позиций, переходов и рабочих ходов инструментов. Вследствие этого при автоматной обработке инструменты работают в более широком диапазоне режимов резания, чем на универсальных станках. Так скорость резания при обработке одной детали в зависимости от перепада диаметров ступеней может колебаться в 3 и более раз.

Другой особенностью автоматных операций является взаимовлияние комплекса силовых факторов, возникающих в результате действия каждого инструмента наладки. Динамические деформации от воздействия инструментов продольного суппорта приводят к изменению условий резания на поперечном суппорте.

Названные особенности обуславливают два основных требования, предъявляемых к математическим моделям, описывающим эти процессы: модели должны быть широкодиапазонными и должны учитывать взаимовлияние отдельных инструментов наладки.

Исследования А.И.Исаева, М.О.Якобсона, П.Е.Дьяченко, Г.А.Куфарова, А.Д.Макарова вскрыли причины образования шероховатостей на обработанных поверхностях. Однако широко используемые в настоящее время простейшие эмпирические степенные зависимости не отражают сложное экстремальное влияние режимов обработки, соответствующих автоматным операциям, на высоту микронеровностей. Теоретические зависимости, предложенные С.С.Силиным, А.П.Дальской, В.Ф.Безъязычным, разработаны либо для условий оптимального резания, либо содержат большое количество параметров, определяемых из экспериментов, и все они не отражают в должной степени экстремальное влияние скорости на шероховатость.

Расчетно-аналитический метод определения погрешностей обработки, основы которого заложены К.В.Вотиновым, А.П.Соколовским, В.С.Курсаковым и в дальнейшем развит в работах А.П.Гаврилова, Л.П.Медведева, К.С.Юлова, Д.Д.Медведева и др. исследователей, в достаточной степени разработан лишь для обработки одноинструментной или для частных случаев многорезцово-односуппортной обработки. Возможность обработки деталей с нескольких суппортов не рассматривалась и не учитывалась также структура многоинструментной наладки.

В то же время, как показывает статистический анализ, схема расположения инструментов существенно влияет на погрешности линейных и диаметральных размеров.

ШИРОКОДИАПАЗОННАЯ МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ ШЕРОХОВАТОСТИ

Исследованиями А.И.Исаева, А.Д.Макарова установлено, что шероховатость обработанной поверхности при точении может быть представлена в виде суммы двух составляющих:

$$R_z = R_p + \Delta H, \quad (I)$$

где R_p - регулярная составляющая, обусловленная копированием геометрии режущей части инструмента с учетом кинематики процесса;

ΔH - нерегулярная составляющая. Ее величина связана с процессом пластического деформирования обрабатываемого материала в зоне резания.

А.И.Исаевым, Г.Д.Куфаревым, А.Д.Макаровым показано, что с увеличением степени деформации возрастает приращение высоты микронеровностей. Существует значительная корреляция между интенсивностью наростообразования (которая определяется упрочнением металла в зоне, прилежащей к передней грани резца) и увеличением высоты микронеровностей. Экстремум шероховатости согласуется с зоной появления нароста. А.И.Исаев объяснил причину этого явления изменением свойств обрабатываемого материала в процессе резания под действием совокупного влияния силовых и температурных факторов.

Такое понимание механизма влияния технологических факторов на высоту микронеровностей положено в основу формирования структурной модели шероховатости. Свойства материала в процессе пластического деформирования характеризуются интенсивностью напряженного состояния σ_i .

В скоростном диапазоне, соответствующем условиям точения, для приближенной оценки интенсивности напряженного состояния может служить статическая прочностная характеристика материала и в частности его твердость. Следовательно для построения модели формирования шероховатости обработанной поверхности необходимо знать зависимость

$$HB = HB(U)$$

Температура (U) обрабатываемого материала в зоне резания определяется основными характеристиками процесса резания: режимами

резания, геометрией инструмента, теплофизическими характеристиками инструментального и обрабатываемого материала и т.д.:

$$U = U(v, s, t...)$$

Учитывая характер влияния твердости на шероховатость обработанной поверхности, нерегулярную составляющую шероховатости предлагается представлять в виде

$$\Delta H = K \text{HB}(U) / \text{HB}|_{U=20^\circ\text{C}}, \quad (2)$$

где K - масштабный коэффициент, выражающий степень влияния нерегулярной составляющей на высоту микронеровностей.

Таким образом для формирования модели возникновения шероховатости обработанной поверхности помимо зависимости $\text{HB}(U)$ нужна температура процесса резания, а также необходимые для ее определения силовые зависимости.

Влияние температуры на твердость обрабатываемого материала.

Для определения влияния температуры нагрева на твердость обрабатываемого материала проведены специальные экспериментальные исследования. Эксперимент состоял в измерении твердости образца, предварительно нагретого до определенной фиксированной температуры. Нагрев образца производился в среде аргона на установке ТВЧ с выносным индуктором. Температура определялась по показаниям термомпары, приваренной к измерительному торцу образца. По мере охлаждения образцов измерялась их твердость. В результате получены массивы точек (HB_i, U_i) для двенадцати наиболее распространенных марок конструкционных сталей и сплавов. Учитывая сложный многоэкстремальный характер зависимостей $\text{HB}(U)$, в качестве аппроксимирующей принята функция вида

$$\text{HB}(U) = \left\{ \text{HB}|_{U=20^\circ\text{C}} + c_1 U \cdot 10^{-3} + c_2 U^2 \cdot 10^{-6} + c_3 U \cdot 10^{-3} / [(U \cdot 10^{-3} - c_4)^2 + c_5] \right\} e^{c_6 U} \quad (3)$$

и определены с использованием регрессивного анализа все коэффициенты C_i .

Температурная характеристика. В качестве показателя температуры, отражающего влияние тепловых явлений в зоне резания на изменение твердости обрабатываемого металла вблизи передней грани резца выбрана среднеинтегральная температура зоны резания. Для оценки этой температуры принята формула М.А. Аранзона, в которую введен учет

снижения температуры вследствие охлаждения, что характерно для условий многоинструментной токарной обработки, когда процесс резания осуществляется с применением смазочно-охлаждающих сред. Названная поправка сделана в соответствии с принципом теплового баланса для среднеинтегральных температур, предложенного В.И. Киршбаумом. В результате расчетная зависимость приняла вид

$$U = \frac{P_z v}{b [\lambda_p + \lambda_u \sqrt{\pi v / 2 \alpha} (\sqrt{\ell_3} + \sqrt{\ell_n / \xi})] + \alpha F} \quad (4)$$

Опоставление известных экспериментальных данных и результатов расчетов по предложенной модели, выполненных в широком диапазоне варьирования режимов резания и других параметров обработки, показало хорошее их согласование (в пределах 15-20%), что позволило рекомендовать уравнение (4) для практического использования при определении температурной характеристики.

Силовые зависимости. Определение составляющих сил резания необходимо как для расчета температур, так и для определения динамических деформаций технологической системы.

При многоинструментной обработке возможны различные схемы резания: прямоугольное, косоугольное, свободное, несвободное. На основании расчетной схемы, предложенной С.Н. Курчаком, и учитывая известные геометрические соотношения между элементами зоны резания, получены обобщенные зависимости, позволяющие рассчитывать составляющие сил резания для любой из перечисленных схем токарной обработки:

$$P_x = [(\sqrt{3,25} ab / \sin \beta_1) (\cos \gamma_{cg} \sin \beta \sin \varphi_{np} - \sin \gamma_{cg} \cos \lambda \cos (\beta + \beta_1) \cos \varphi_{np} + \cos \gamma_{cg} \cos \beta \sin \lambda \cos \varphi_{np}) + 0,5 \ell_3 b \sin \varphi_{np}] \frac{\sigma_i}{\sqrt{3}} ;$$

$$P_y = [(\sqrt{3,25} ab / \sin \beta_1) (\cos \gamma_{cg} \sin \beta \cos \varphi_{np} + \sin \gamma_{cg} \cos \lambda \cos (\beta + \beta_1) \sin \varphi_{np} - \cos \gamma_{cg} \cos \beta \sin \lambda \sin \varphi_{np}) + 0,5 \ell_3 b \cos \varphi_{np}] \frac{\sigma_i}{\sqrt{3}} ;$$

$$P_z = [(\sqrt{3,25} ab / \sin \beta_1) (\cos \gamma_{cg} \cos \beta \cos \lambda + \sin \gamma_{cg} \sin \lambda \cos (\beta + \beta_1) + 0,5 \mu \ell_3 b)] \frac{\sigma_i}{\sqrt{3}} .$$

Произведенное специальное экспериментальное исследование по измерению сил резания показало, что полученные уравнения адекватно

отражают влияние технологических параметров процесса обработки на уровень составляющих сил резания.

Адекватность модели шероховатости. Структурная формула (I) с учетом разработанных зависимостей (2-5), представляет собой модель формирования шероховатости. Для оценки адекватности разработанной модели проведен эксперимент по определению комплексного влияния

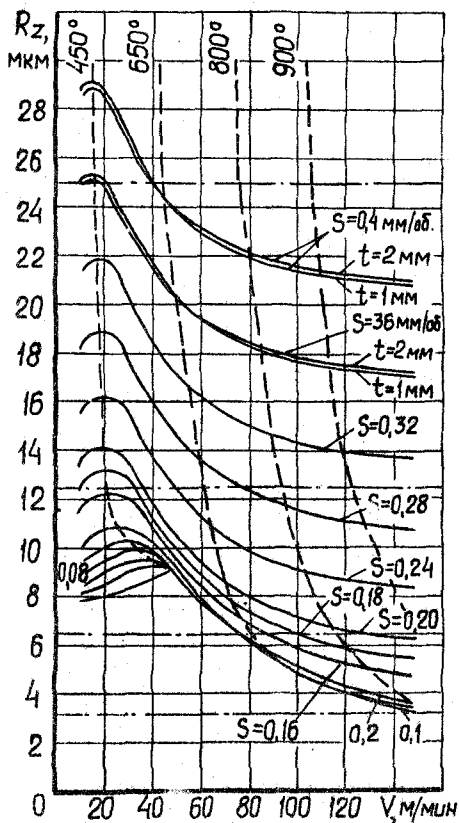


Рис. I. Графическая интерпретация модели шероховатости

параметров режимов резания на шероховатость обработанной поверхности при продольном наружном точении. Так как влияние глубины резания, подачи и геометрических параметров режущего инструмента на величину шероховатости обработанной поверхности монотонно, а влияние скорости резания носит сложный экстремальный характер, осуществлена декомпозиция планов эксперимента. По параметрам ($t, S, \gamma, \varphi, \varphi_1$) проводился дробный факторный эксперимент, а по V - однофакторной в интервале скоростей резания V_e [5; 260] м/мин.

Для учета влияния других факторов, не являющихся главными (не определяющих характер изменения шероховатости) модель шероховатости рассматривалась как уравнение регрессии, а значение масштабного коэффициента K определялось экспериментально, с привязкой к конкретным условиям обработки. Результаты эксперимента показали, что нормирование начальной твердости материала детали позволило выбрать единый масштабный коэффициент для каждой марки обрабатываемого материала.

Анализ качественных свойств модели. Отражая физику процессов формирования микронеровностей, разработанная модель шероховатости является широкодиапазонной (рис.1). Модель отражает экстремальное влияние скорости резания на шероховатость поверхности, показывает смещение зоны экстремума в области более низких скоростей по мере увеличения подач и глубин резания. Она подтверждает наличие предельных скоростей резания, начиная с которых величина шероховатости практически перестает зависеть от скорости. Модель иллюстрирует существование предельно достижимой величины шероховатости для процесса точения, которая для данного сочетания обрабатываемого и инструментального материалов и геометрии режущего инструмента не может быть уменьшена варьированием режимных параметров (см. кривые, соответствующие подачам 0,1 мм/об и 0,08 мм/об на рис.1).

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НА ТОЧНОСТЬ МНОГОИНСТРУМЕНТНОЙ ОБРАБОТКИ

По данным ЭНИМС, при многорезцовой обработке на различных операциях от 20% до 90% в суммарной погрешности обработки составляют погрешности вследствие деформаций технологической системы.

Динамические деформации технологической системы при многоинструментной обработке. Рассмотрение наладок, применяемых на заводах, позволило сформировать систему элементарных схем силового нагружения элементов технологической системы. Используя эту систему в сочетании с теорией деформаций линейных упругих систем, можно определять динамические перемещения сложной технологической системы в направлении выполняемых размеров при одновременном воздействии силовых факторов от нескольких инструментов.

Вследствие деформаций технологической системы заданные наладкой глубины резания Δ_i изменяются до значений фактических глубин t_i :

$$\begin{cases} t_i = \Delta_i - y_i, & i=1, \dots, m \text{ - для инструментов продольного суппорта (5),} \\ t_i = \Delta_i - x_i, & i=m+1, \dots, n \text{ - для инструментов поперечного суппорта (6);} \end{cases}$$

Выделяя влияние параметров управления, а именно глубины резания и подачи, с учетом уравнений (5, 6), имеем следующие структурные формулы:

$$P_i^y = C_i^y t_i s_i, \quad P_i^x = C_i^x t_i s_i \quad \text{где } i=1, \dots, n. \quad (7)$$

Определяя смещение инструментов относительно обрабатываемых поверхностей как суммарные деформации элементов технологической системы, получаем систему $2n$ уравнений:

$$\left. \begin{aligned}
 Y_i &= \frac{\sum_{i=1}^m C_i^y s_i (\Delta_i - y_i) - \sum_{i=m+1}^n C_i^y s_i (\Delta_i - y_i)}{j_0^y} + \frac{C_i^y s_i (\Delta_i - y_i)}{j_i^y}, \quad i=1, 2, \dots, m; \\
 Y_i &= \frac{\sum_{i=1}^m C_i^y s_i (\Delta_i - y_i) - \sum_{i=m+1}^n C_i^y s_i (\Delta_i - x_i)}{j_0^y} + \frac{C_i^y s_i (\Delta_i - x_i)}{j_i^y}, \quad i=m+1, m+2, \dots, n; \\
 X_i &= \frac{\sum_{i=1}^m C_i^x s_i (\Delta_i - y_i) + \sum_{i=m+1}^n C_i^x s_i (\Delta_i - y_i)}{j_0^x} + \frac{C_i^x s_i (\Delta_i - y_i)}{j_i^x}, \quad i=1, 2, \dots, m; \\
 X_i &= \frac{\sum_{i=1}^m C_i^x s_i (\Delta_i - y_i) + \sum_{i=m+1}^n C_i^x s_i (\Delta_i - x_i)}{j_0^x} + \frac{C_i^x s_i (\Delta_i - x_i)}{j_i^x}, \quad i=m+1, m+2, \dots, n;
 \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

где y^0, x^0, j_0^y, j_0^x - деформации и жесткости в направлении координатных осей системы "заготовка - узлы станка, на которых заготовка закреплена";

y^i, x^i, j_i^y, j_i^x - деформация и суммарные жесткости в направлении координатных осей системы "инструмент- узлы станка, на которых закреплен данный инструмент".

Решая эту систему линейных алгебраических уравнений, получаем возможность определения величин динамических деформаций в направлении выполняемых размеров для заданного варианта многоинструментной выкладки.

Рядом исследователей показано, что в условиях многоинструментной обработки жесткость большинства применяемых инструментов значительно выше, чем жесткости остальных элементов технологической системы. При этом основной вклад в изменение положения инструмента относительно детали внесет деформация суппорта, а следовательно

деформации инструментов, закрепленных на одном суппорте, будут одинаковыми. Принимая это допущение, а также учитывая, что деформации технологической системы являются величинами, на порядок меньшими по сравнению с глубинами резания, в результате линеаризации получаем модель деформаций технологической системы в направлении выполняемых размеров:

$$\left\{ \begin{array}{l}
 Y_{пр} = \frac{A_{пр}^y S_{пр}}{j_o^y} t_{пр} - \frac{A_{поп}^y S_{поп}}{j_o^y} t_{поп}; \quad \text{где } \sum_{i=1}^m C_i^{x(y)} = A_{пр}^{x(y)}; \\
 Y_{поп} = \frac{A_{поп}^y S_{поп}}{j_o^y} t_{поп} - \frac{A_{пр}^y S_{пр}}{j_o^y} t_{пр}; \quad \sum_{i=m+1}^n C_i^{x(y)} = A_{поп}^{x(y)}; \\
 X_{пр} = \frac{A_{пр}^x S_{пр}}{j_o^x} t_{пр} + \frac{A_{поп}^x S_{поп}}{j_o^x} t_{поп}; \quad \sum_{i=1}^m \Delta_i = t_{пр}; \\
 X_{поп} = \frac{A_{поп}^x S_{поп}}{j_o^x} t_{поп} + \frac{A_{пр}^x S_{пр}}{j_o^x} t_{пр}; \quad \sum_{i=m+1}^n \Delta_i = t_{поп}.
 \end{array} \right. \quad (9)$$

Полученные зависимости дают возможность на стадии проектирования оценить величину коррекции инструмента в процессе настройки станка, а также являются основой для определения динамической погрешности обработки партии деталей.

Динамическая погрешность обработки партии деталей. Динамическая погрешность размеров определяется как величина интервала рассеивания динамических деформаций технологической системы в направлении данных размеров:

$$\Delta Y_{пр} = Y_{пр}^{\max} - Y_{пр}^{\min}; \quad \Delta X_{пр} = X_{пр}^{\max} - X_{пр}^{\min}; \quad (10)$$

$$\Delta Y_{поп} = Y_{поп}^{\max} - Y_{поп}^{\min}; \quad \Delta X_{поп} = X_{поп}^{\max} - X_{поп}^{\min};$$

и обусловлена нестабильностью свойств обрабатываемых материалов, разбросом жесткостей и колебанием снимаемых припусков. С учетом уравнений (9) из уравнений (10) получена модель динамической составляющей погрешности размеров партии деталей при многоинструментной обработке:

$$\left\{ \begin{aligned} \Delta y_{np} &= (\varepsilon + \Delta d) \left| \frac{A_{np}^y S_{np}}{j_{o np}^y} t_{np} - \frac{A_{non}^y S_{non}}{j_o^y} t_{non} \right| + \left(\frac{A_{np}^y S_{np}}{j_{o np}^y} \Delta t_{np} + \frac{A_{non}^y S_{non}}{j_o^y} \Delta t_{non} \right); \\ \Delta y_{non} &= (\varepsilon + \Delta d) \left| \frac{A_{non}^y S_{non}}{j_{o non}^y} t_{non} - \frac{A_{np}^y S_{np}}{j_o^y} t_{np} \right| + \left(\frac{A_{np}^y S_{np}}{j_o^y} \Delta t_{np} + \frac{A_{non}^y S_{non}}{j_{o non}^y} \Delta t_{non} \right); \\ \Delta x_{np} &= (\varepsilon + \Delta d) \left(\frac{A_{np}^x S_{np}}{j_{o np}^x} t_{np} + \frac{A_{non}^x S_{non}}{j_o^x} t_{non} \right) + \left(\frac{A_{np}^x S_{np}}{j_{o np}^x} \Delta t_{np} + \frac{A_{non}^x S_{non}}{j_o^x} \Delta t_{non} \right); \\ \Delta x_{non} &= (\varepsilon + \Delta d) \left(\frac{A_{np}^x S_{np}}{j_o^x} t_{np} + \frac{A_{non}^x S_{non}}{j_{o non}^x} t_{non} \right) + \left(\frac{A_{np}^x S_{np}}{j_o^x} \Delta t_{np} + \frac{A_{non}^x S_{non}}{j_{o non}^x} \Delta t_{non} \right), \end{aligned} \right. \quad (II)$$

где $t_{np}, t_{non}, (\Delta t_{np}/2, \Delta t_{np}/2), (\Delta t_{non}/2, \Delta t_{non}/2)$ - суммарные припуски, снимаемые инструментами продольного и поперечного суппортов и поля их колебаний; $(-\Delta d_i/2; \Delta d_i/2)$ - интервал колебаний жесткостей технологической системы, в долях от номинала; $(-\varepsilon/2; \varepsilon/2)$ - интервал колебаний твердости заготовки, в долях от номинального значения.

В уравнениях (II) первое слагаемое описывает влияние суммарной силы резания, обусловленной нестабильностью механических свойств обрабатываемого материала и разбросом жесткостей технологической системы, второе слагаемое - влияние колебаний снимаемых припусков.

Система уравнений (II) является математической моделью динамической составляющей погрешности партии деталей при многоинструментной обработке. С целью проверки ее адекватности проведен статистический анализ точности обработки тридцати наименований деталей на прутковых автоматах (общий объем обмеренных деталей составил шесть тысяч). При этом погрешность обработки измерялась относительно технологической базы. Часто при автоматной обработке деталей из прутка технологическая база (торец) удаляется в процессе операции. Для оценки погрешности механической обработки в этом случае предложен метод косвенного определения погрешностей, основанный на линей-

ной связи дисперсий всех размеров размерной цепи. Он состоит в определении погрешности цепочки размеров, измеренных от какой-либо поверхности детали, и последующем расчете по полученным погрешностям искомым погрешностям от технологической базы.

Результаты статистического анализа показали, что полученные модели качественно верно отражают процесс возникновения погрешности обработки (расхождение экспериментальных и теоретических значений не превышает 10–15%) и могут быть использованы для оценки погрешности обработки спроектированного варианта наладки.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА ДЕТАЛЕЙ НА СТАДИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ МНОГОИНСТРУМЕНТНЫХ ОПЕРАЦИЙ

Разработанные математические модели позволяют прогнозировать качество (погрешности размеров партии деталей и шероховатость обработанных поверхностей) для выбранных схемы наладки и режимов резания. Однако, при проектировании более эффективна другая задача: по заданным показателям качества выбрать условия обработки (схему наладки и режимы резания), обеспечивающие выпуск годных деталей.

Учет требований по шероховатости. Использование широкодиапазонной модели шероховатости позволило построить области изменения режимов резания, обеспечивающих заданную величину микронеровностей (рис.2).

Параметрами управления при этом выбраны подача и скорость резания, как технологические факторы, наиболее существенно влияющие на высоту микронеровностей.

Учет требований по точности. Задача сводится к определению управляющих параметров $S_{пр}, t_{пр}, S_{плп}, t_{плп}$, в результате решения системы уравнений (II). Анализ системы показал, что она имеет решение лишь в одной из областей знакопостоянства

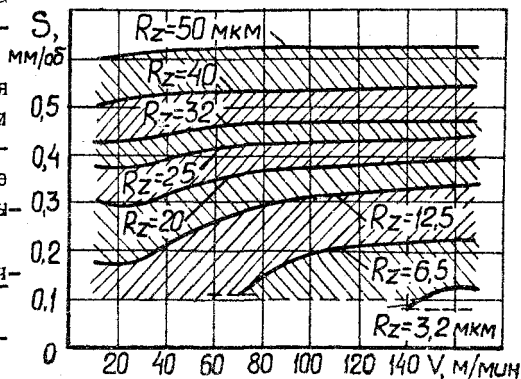
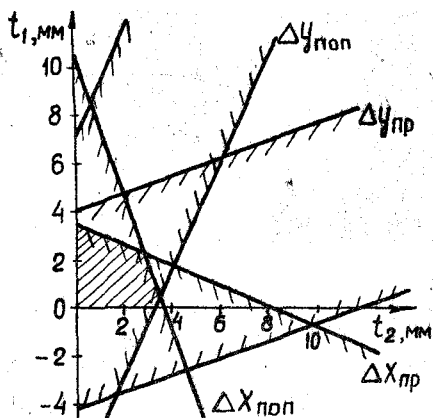


Рис.2. Линии уровня равной шероховатости для процесса продольного точения стали 45 резцом Т15К6 ($\gamma = 1 \text{ мм}, \varphi = 45^\circ, \varphi_1 = 10^\circ$)

0399999

выражений, стоящих под знаком абсолютной величины, но и это решение может выходить за пределы области. Тем самым показана взаимосвязан-



ность полей рассеивания размеров при многоинструментной обработке и невозможности полного использования полей допусков при произвольно выбранной структуре наладки. Следовательно нет возможности назначения всех четырех факторов управления в результате решения системы уравнений (II).

Рис.3. Области бездефектных по точности обработки глубин резания

Допустимые значения параметров управления следует искать в пределах области (рис.3), границы которой описываются уравнениями системы (II), т.е. необходимо перейти к системе неравенств:

$$\left\{ \begin{aligned}
 \Delta y_{пр} &\leq (\varepsilon + \Delta d) \left| \frac{A_{пр}^y S_{пр}}{j_o^y} t_{пр} - \frac{A_{пoп}^y S_{пoп}}{j_o^y} t_{пoп} \right| + \left(\frac{A_{пр}^y S_{пр}}{j_o^y} \Delta t_{пр} + \frac{A_{пoп}^y S_{пoп}}{j_o^y} \Delta t_{пoп} \right); \\
 \Delta y_{пoп} &\leq (\varepsilon + \Delta d) \left| \frac{A_{пoп}^y S_{пoп}}{j_o^y} t_{пoп} - \frac{A_{пр}^y S_{пр}}{j_o^y} t_{пр} \right| + \left(\frac{A_{пр}^y S_{пр}}{j_o^y} \Delta t_{пр} + \frac{A_{пoп}^y S_{пoп}}{j_o^y} \Delta t_{пoп} \right); \\
 \Delta x_{пр} &\leq (\varepsilon + \Delta d) \left(\frac{A_{пр}^x S_{пр}}{j_o^x} t_{пр} + \frac{A_{пoп}^x S_{пoп}}{j_o^x} t_{пoп} \right) + \left(\frac{A_{пр}^x S_{пр}}{j_o^x} \Delta t_{пр} + \frac{A_{пoп}^x S_{пoп}}{j_o^x} \Delta t_{пoп} \right); \\
 \Delta x_{пoп} &\leq (\varepsilon + \Delta d) \left(\frac{A_{пр}^x S_{пр}}{j_o^x} t_{пр} + \frac{A_{пoп}^x S_{пoп}}{j_o^x} t_{пoп} \right) + \left(\frac{A_{пр}^x S_{пр}}{j_o^x} \Delta t_{пр} + \frac{A_{пoп}^x S_{пoп}}{j_o^x} \Delta t_{пoп} \right).
 \end{aligned} \right. \quad (I2)$$

Таким образом, для заданной структуры наладки, используя систему неравенств (12), можно определить область допустимого изменения глубины резания и подач продольного и поперечного суппортов, обеспечивающих допустимую величину динамических составляющих погрешностей обработки.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Математические модели динамической составляющей погрешности обработки партии деталей (с учетом погрешностей настройки станка, размерного износа инструмента, геометрической неточности станка и т.д.) и шероховатости обработанной поверхности составляют основу технологической части системы ограничений при оптимизации режимов резания. Включение их в автоматизированную систему расчета на ЭВМ оптимальных режимов резания для автоматных операций в качестве технологических ограничений, учитывающих особенности многоинструментной обработки, позволило значительно повысить надежность спроектированных операций по обеспечению показателей качества.

Полученные результаты могут быть использованы также и в условиях ручного проектирования. В этом случае приемлем дифференцированный учет технологических ограничений при назначении параметров режимов резания. Скорость резания назначается традиционно по нормативам режимов резания (из ограничения по стойкости). Величины подач предлагается назначать на основе существующих нормативных рекомендаций с проверкой попадания скоростей и подач в интервал, определенный требованиями шероховатости (рис.2).

Справочные таблицы оформлены в виде руководящего материала. Они охватывают случаи обработки диаметральных и линейных размеров проходными резцами с продольного суппорта и подрезными, канавочными и фасонными резцами с поперечного суппорта при различных жесткостях технологической системы и степенях изношенности оборудования. Учтены также исходная погрешность заготовки и нестабильность ее твердости.

ВЫВОДЫ

1. Уровень максимально допустимых глубин и подач, обеспечивающих заданную точность исполняемых размеров, предопределяется схемой наладки, изменяя ее, можно увеличить или уменьшить допустимый уровень. Модель динамической погрешности обработки партии деталей может быть положена в основу структурной оптимизации.

2. При многоинструментной обработке погрешности полей рассеивания диаметральных и линейных размеров являются взаимосвязанными и определяются структурой наладки. При произвольно выбранной структуре наладки полностью использовать поля допусков невозможно.

3. При многоинструментной обработке назначение подач, обеспечивающих заданную шероховатость, необходимо производить с учетом скорости резания.

По теме диссертации опубликованы следующие работы:

1. Корчак С.Н., Кошин А.А., Шаламова И.А. Моделирование и расчет на ЭИМ погрешностей многоинструментной токарной обработки. Тезисы докладов научно-технической конференции зоны Урала "Пути повышения эффективности многоинструментной обработки деталей", Курган, 1979.

2. Кошин А.А., Шаламова И.А. Особенности моделирования технологических ограничений при автоматизированном проектировании оптимальных автоматных операций. Тезисы зональной научно-технической конференции "Повышение качества деталей в машиностроении технологическими методами", Рыбинск, 1980.

3. Шаламова И.А. Влияние механических свойств обрабатываемого материала на шероховатость при точении. В сб. "Повышение надежности технологических процессов изготовления изделий машиностроения", Кемерово, 1979.

4. Шаламова И.А. Модель шероховатости для условий автоматизированного проектирования оптимальных токарных операций. Тезисы докладов краевой научно-технической конференции "Автоматизация технологического проектирования в системе повышения эффективности производства и качества продукции", Владивосток, 1979.

5. Юшин А.А., Шаламова И.А. Влияние податливости элементов системы СПИД на точность обработки. В сб. трудов ЧПИ № 249 "Прогрессивная технология чистовой и отделочной обработки", Челябинск, 1980.

6. Шаламова И.А., Юшин А.А. Влияние режимов резания на условия пластического деформирования обрабатываемого материала при тчении. Там же.

7. Шаламова И.А. Влияние жесткости детали на точность обработки при многоинструментной наладке. Там же.

8. Корчак С.Н., Шаламова И.А. и др. Разработка математического и информационного обеспечения по оптимизации режимов автоматической обработки. Отчет по НИР, № гос. рег. 80006380, инв. № 6821442, Челябинск, 1979.

Техн. редактор Миних А.В.

ФБ 00188. Подписано к печати 18/XI-80 г. Формат бумаги 60x90 1/16.
Объем 1 п.л., 0,8 уч. - изд.л. ЧПИ. Тираж 100 экз. Заказ № 466/1326.