

Челябинский государственный технический университет

На правах рукописи

ЮСУБОВ НИЗАМИ ДАМИР ОГЛЫ

ОПТИМИЗАЦИЯ ПЛАНОВ ОБРАБОТКИ ПОВЕРХНОСТЕЙ
НА ТОКАРНО - РЕВОЛЬВЕРНЫХ АВТОМАТАХ ПО
КРИТЕРИЮ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ

Специальность 05.02.08 - "Технология машиностроения"

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

ЧЕЛЯБИНСК - 1992

Работа выполнена на кафедре "Технология машиностроения"
Челябинского государственного технического университета.

Научный руководитель - Заслуженный деятель науки и техники РСФСР,
доктор технических наук, профессор
КОРЧАК С. Н.

Официальные оппоненты - доктор технических наук, профессор
ЛАКИРЕВ С. Г.

- кандидат технических наук
ГЕЛЬФОНД М. Л.

Ведущее предприятие - Челябинский завод измерительных приборов.

Защита состоится " 25 " января 1993г. в 11 часов, в
ауд. _____ на заседании специализированного совета №053.13.05
Челябинского государственного технического университета по аль-
ресу: 454080, г. Челябинск, пр. им. В. И. Ленина, 76.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке университета.
Автореферат разослан " ____ " 1992г.

Ученый секретарь специализированного совета,
доктор экономических наук, профессор *Баев* И. А. БАЕВ

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ.

АКТУАЛЬНОСТЬ. Большая роль в повышении производительности операций механической обработки отводится токарно - револьверным автоматам (ТРА) - одной из традиционных групп автоматизированного оборудования, имеющей широкое применение для изготовления большой и разнообразной номенклатуры деталей всех отраслей массового и крупносерийного машиностроения.

Анализ эксплуатации токарно - револьверных автоматов на ряде заводов показал, что их богатые потенциальные технологические возможности используется не одинаково. Так например, при изготовлении однотипных деталей основное время операций, изменяется в 1,5-2 раза. Это объясняется тем, что заготовкой на ТРА является пруток, форма которого в осевом сечении существенно отличается от профиля детали. Поэтому приходится снимать большие напуски, для чего применяется многопереходная обработка. Проведенный статистический анализ обработки на ТРА показал, что в 34% случаев поверхности формируются за два перехода и в 16% случаев - за три перехода. При обработке наружных цилиндрических поверхностей в 56% случаев обработка ведется за два перехода, а 28% даже за три перехода. Отверстия обрабатываются в основном за два перехода (44%) и реже за три перехода (23%). Для торцевых поверхностей ситуация следующая: 50% поверхности формируются за два перехода, а 16% за три перехода.

Таким образом, многопереходная обработка на ТРА - это распространенное явление. Однако нормативные справочники не содержат рекомендаций по проектированию многопереходной обработки. Они сразу начинаются со второго раздела: расчета подач. Это приводит к тому, что вопросы проектирования планов обработки поверхностей решаются субъективно. В силу этого колебание основного времени обусловлено главным образом различными планами обработки поверхностей, субъективным определением числа переходов и промежуточных квалитетов. Следовательно, актуальна разработка методики расчетного проектирования плана обработки поверхности на ТРА.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ. Оптимизация планов обработки поверхностей при последовательной многопереходной токарной обработке на ТРА по критерию производительности.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ. Теоретические исследования проведены на базе научных основ технологий машиностроения, теории резания металлов, теории упругих деформаций дискретных систем.

Достоверность результатов аналитических решений подтверждена экспериментально в лабораторных и производственных условиях. Обработка экспериментальных данных проведена методами математической статистики с оценкой результатов по критериям Стьюдента и и Романовского.

Численный анализ математических моделей проведен на ЭВМ.

НАУЧНАЯ НОВИЗНА. 1. Разработаны пространственные модели упругих перемещений технологической системы в направлении выполняемых размеров при обработке проходными, подрезными и расточными резцами на токарно - револьверных автоматах, учитывающие влияние как параллельных, так и угловых перемещений револьверной головки и детали. Эти модели позволяют прогнозировать как погрешность формы детали в осевом сечении, так и величины полей рассеивания линейных и диаметральных размеров на стадии проектирования операций.

2. Получена рекурентная пространственная размерно - точностная модель многопереходной обработки на ТРА для проходного, расточного и подрезного резцов, позволяющая рассчитывать погрешности следующих друг за другом переходов с учетом изменения жесткости детали, а также угловых перемещений детали и револьверной головки в процессе обработки.

3. Разработана рекурентная модель управления подачей при многопереходной обработке на ТРА, позволяющая рассчитать предельные подачи по критерию точности обработки на каждом переходе с учетом количества переходов, распределения напуска по переходам, промежуточных квалитетов, схемы нагружения и других условий обработки.

4. Разработан метод оптимизации плана обработки поверхности для точения проходными, подрезными и расточными резцами, состоящий в минимизации основного времени по сумме переходов и позволяющий определить оптимальное количество переходов, распределить напуск по переходам и рассчитать промежуточные квалитеты на каждом переходе.

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЦЕННОСТЬ. 1. Разработана методика расчетного определения параметров плана обработки поверхности на ТРА.

2. Разработана подпрограмма оптимизации многопереходной обработки, включение которой в блок структурной оптимизации САПР операций на ТРА, позволит проектировать высокопроизводительную многоинструментную наладку.

3. Разработаны нормативные карты планов обработки поверхностей, регламентирующие количество переходов, глубины резания и промежуточные квалитеты.

РЕАЛИЗАЦИЯ РАБОТЫ. 1. Разработан руководящий технический материал по проектированию многопереходной обработки поверхностей на ТРА, позволяющий по заданным квалитетам детали и заготовки, виду обработки и величине напуска определять оптимальное количество переходов, глубины резания на каждом переходе и промежуточные квалитеты. Экономический эффект от его внедрение на АО "УРАЛТРАК" составил 100893 рублей.

2. Результаты работы включены в справочник "Общемашиностроительные руководящие материалы по проектированию наладок и нормативы времени и режимов резания на токарно-автоматные работы", разработанные по заданию Центрального бюро нормативов по труду (ЦБНТ).

Основные положения диссертационной работы используются в учебном процессе Челябинского государственного технического университета по курсу "САПР ТП" и при выполнении дипломных проектов по специальности "Технология машиностроения".

АПРОБАЦИЯ РАБОТЫ: Основные положения диссертационной работы докладывались на научно-технических конференциях и семинарах; 1-я республиканская научно - практическая конференции по проблемам управления и информатики. Баку, 1991г; Научная конференция профессорско-преподавательского состава и аспирантов АзДИ им. Ч. Ильдрима. Баку, 1990г; Научно-методической семинар "Методология САПР в машиностроении". Баку, 1992г; Научно-технических конференциях Челябинского государственного технического университета 1990-1992г. г.

ПУБЛИКАЦИИ. По материалам диссертации опубликовано 5 статей.

СТРУКТУРА И ОБЪЕМ РАБОТЫ. Диссертация состоит из введения, пяти глав, общих выводов, списка литературы и приложений. Работа изложена на 235 страницах машинописного текста, содержит 72 рисунок, 10 таблиц, список литературы из 67 наименований и приложений на 38 страницах. Общий объем работы - 373 страницы.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ.

1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ИССЛЕДОВАНИЯ.

Поскольку форма прутковой заготовки на ТРА не соответствует конфигурации детали, в 70 % случаев приходится снимать большие напуски и применять многопереходную обработку.

Многопереходная обработка, как правило, реализуется револьверной головкой, то есть производится по последовательной схеме. Поэтому критерием эффективности такой обработки является суммарное основное время.

Широкое применение многопереходной обработки и отсутствие в нормативной литературе рекомендаций по ее проектированию обуславливает необходимость разработки расчетного метода ее проектирования. При проектировании многопереходной обработки надо: во-первых, решить вопрос о распределении напуска по переходам; во-вторых, определить количество рабочих переходов и в -третьих, для каждого перехода определить промежуточный квалитет. В справочнике

технолога есть ориентировочные рекомендации по первому этапу - по распределению напуска по переходам: за первый переход рекомендуется снимать 60-70 % напуска, за второй 30-40 %. Однако последний справочник по токарно-автоматным операциям учитывает такие факторы, как исходный квалитет заготовки, выполняемый квалитет и, поэтому позволяет рассчитывать производительность при любом перераспределении напуска при многопереходной обработке и любых промежуточных состояниях. На рис. 1 показаны результаты пробного проектирования всех возможных вариантов двухпереходной обработки.

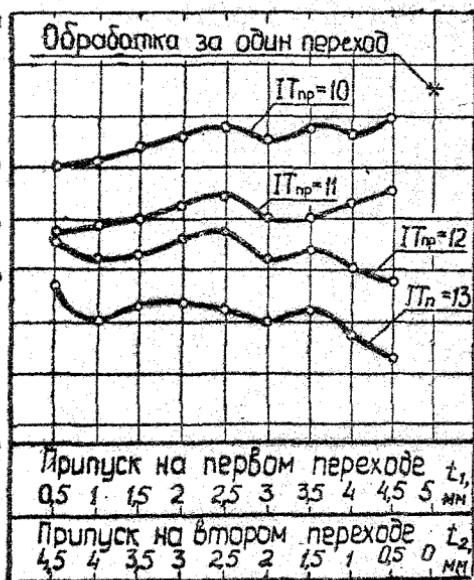


Рис. 1 Суммарное основное время в зависимости от распределения напуска по переходам.

Квалитет заготовки $IT_3=14$; квалитет детали $IT_d=10$;
диаметр обработки $D=40\text{мм}$; напуск $Z=5\text{мм}$

Из рис. 1 видно, что в зависимости от перераспределения напуска по переходам, суммарное основное время весьма сильно колеблется (до 1,85 раза). Аналогичная ситуация наблюдается для расточного и подрезного резцов, где производительность может колебаться до 2 и 2,3 раза соответственно. Эти предварительные исследования показали необходимость разработки теории проектирования многопереходной обработки.

Обзор литературы показал, что есть исследования по вопросам проектирования многопереходной обработки. В частности А. П. Соколовским предложена зависимость для расчета основного времени при многопереходной обработке для отдельно взятого перехода. Однако эта формула не позволяет определить потребное количество переходов. Для потребного количества переходов предложил зависимость В. С. Корсаков. Однако в ней не учтено влияние напуска. Обе зависимости рассматривает вопрос частично, ту или иную сторону этого вопроса. Базой для нормативного справочника 1989 года является зависимость А. А. Кошина, которая учитывает и степень уточнения, и влияние припуска, и влияние еще целого ряда факторов. Однако эта зависимость позволяет рассчитать эффективность многопереходной обработки только для полного перебора вариантов. Поэтому эта модель может быть лишь положена в основу теории расчетного проектирования планов обработки поверхностей. Для этого в ней необходимо учесть особенности токарно - револьверной обработки.

2. ПРОСТРАНСТВЕННАЯ РАЗМЕРНО-ТОЧНОСТНАЯ МОДЕЛЬ МНОГОПЕРЕХОДНОЙ ОБРАБОТКИ ПОВЕРХНОСТИ НА ТРА.

Модель точности А. А. Кошина не учитывает такого важного фактора, как угловые перемещения деформируемых элементов технологической системы. А особенности токарно - револьверной обработки таковы, что детали часто имеют довольно значительный линейный размер. Кроме того есть один элемент технологической системы - револьверная головка, который также имеет существенный линейный размер, и поэтому даже небольшие угловые перемещения вызывают очень существенное линейное перемещение в диаметральном направлении. Поэтому в первую очередь необходимо доработать модель точности путем учета в ней угловых перемещений.

Основу модели точности составляет силовое взаимодействие инструмента и детали и вызванное им перемещение элементов технологической системы. Выделяя в качестве основных две подсистемы: "деталь-шпиндель" и "револьверная головка-инструмент", получаем расчетную схему, изображенную на рис. 2, 3. Считая технологическую систему упруго деформируемой и имеющей три степени свободы - линейные перемещения вдоль оси ОХ, линейные перемещения вдоль оси ОУ и угловые перемещения вокруг оси ОZ, и используя теорию упруго-деформируемых систем, сформированы уравнения баланса сил и перемещений в направлении выполняемых размеров. При помощи аффинных преобразований перемещения вследствие поворота приведены к единой системе координат и после векторного суммирования перемещений получены зависимости для радиального (y) и осевого (x) перемещения в результате суммарного действия всех составляющих сил резания и моментов от них. Для проходного резца зависимости имеют следующий вид:

$$x = P_x \left(\frac{1}{J_x^g} + \frac{1}{J_y^{pr}} \right) + \frac{|P_y L_{ig} - P_x D_i/2|}{J_{ng}} \cdot \frac{D_i}{2} + \frac{P_y L_{pr} + P_x D_i/2}{J_{pr}} R \sin \alpha_i; \quad (1)$$

$$y = P_y \left(\frac{1}{J_y^g} + \frac{1}{J_x^{pr}} \right) + \frac{|P_x D_i/2 - P_y L_{ig}|}{J_{ng}} L_{ig} + \frac{P_y L_{pr} + P_x D_i/2}{J_{pr}} R \cos \alpha_i,$$

где

P_x, P_y - составляющие силы резания в направлении оси ОХ и ОУ; L_{pr} - расстояние от приложения силы инструмента до центра револьверной головки; D_i - диаметр обработки; α_i - угол между направлением i -го инструмента и осью ОХ; R - расстояние от оси револьверной головки до оси инструмента; J_x^g, J_y^g - жесткость параллельного переноса подсистемы "инструмент-револьверная головка" в направлении оси ОХ и ОУ; J_x^{pr}, J_y^{pr} - жесткость параллельного переноса системы "деталь-шпиндель" в направлении оси ОХ и ОУ; J_{ng} - поворотная жесткость системы "деталь-шпиндель"; L_i - расстояние от инструмента до начала координат.

Полученная модель дает возможность определить величину упругих перемещений технологической системы в направлении выполняемых размеров. В результате появилась возможность прогнозирования величины искажения размеров на стадии проектирования

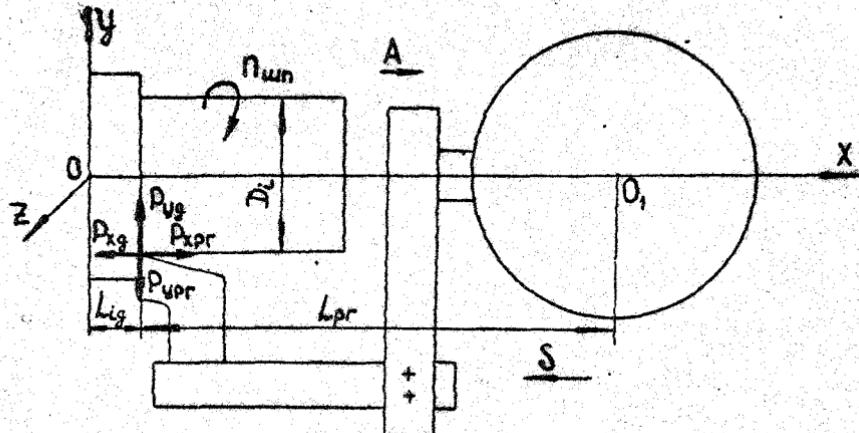


Рис. 2 Схема механической обработки на ТРА.

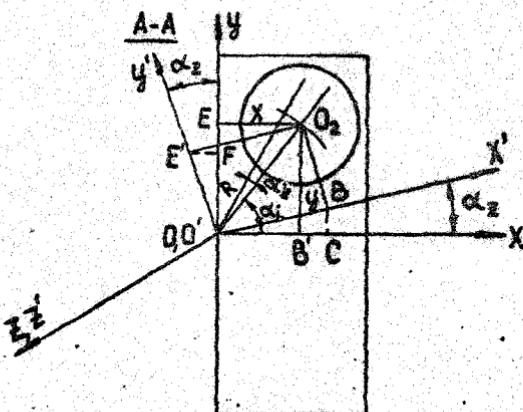


Рис. 3 Схема поворота револьверной головки под действием момента от силы резания.

операции. Используя модели перемещения (угловые части), можно прогнозировать погрешности формы в зависимости от схемы обработки и режимов резания.

Аналогичным образом получены модели для обработки расточными и подрезными резцами.

Учитывая выражения (1) и аналитические зависимости для сил резания (приведены в диссертации), а также вводя колебания припуска (δ_j), прочностных механических свойств (β) и жесткости элементов технологической системы (J), получены выражения для величин полей рассеивания перемещений в направлении выполняемых размеров. Эти зависимости позволяют для исходной погрешности заготовки рассчитать величины полей рассеивания формируемых размеров (Δy_j).

При многопереходной обработке величина полученного рассеивания на первом переходе является исходной погрешностью для второго перехода. Таким образом, можно построить рекуррентную зависимость последовательного уточнения заготовки при многопереходной обработке.

$$\Delta y_j = \beta_i [((A_y S_j + C_y) t_j + B_y S_j + D_y) K_{ij} + (A_y S_j + C_y) \delta_{j-1} K_2 + ((A_x S_j + C_x) t_j + B_x S_j + D_x) K_{3j} + (A_x S_j + C_x) \delta_{j-1} K_{4j}], \quad (2)$$

где

$$K_{ij} = \frac{2(\gamma + \mu)}{J_{ct}^0} + \frac{4\mu}{J_g^0 (D_0 - 2 \sum_{k=1}^{j-1} t_k)} + \frac{2(\mu + \omega)}{J_y^{\text{pr}}} + \frac{2(\mu + \omega)}{J_{\text{прг}}} L_{\text{пр}} R \cos \alpha_i;$$

$$K_{3j} = \frac{1}{J_{ct}^0} + \frac{1}{J_g^0 (D_0 - 2 \sum_{k=1}^{j-1} t_k)} + \frac{1}{J_y^{\text{pr}}} + \frac{L_{\text{пр}} R \cos \alpha_i}{J_{\text{прг}}},$$

$$K_{4j} = \frac{(\mu + \omega)}{J_{\text{прг}}} (D_0 - 2 \sum_{k=1}^{j-1} t_k) R \cos \alpha_i;$$

$$K_{ij} = \frac{(D_0 - 2 \sum_{k=1}^{j-1} t_k)}{J_{\text{прг}}} R \cos \alpha_i.$$

Здесь β_i - интенсивность напряжений в деформируемом объеме металла, характеризующая сопротивление металла пластической деформации, учитывает механические свойства заготовки, в том числе и твердость; S_j, t_j - подача и глубина резания на j -м переходе; A, B, C, D - коэффициенты, учитывающие влияние геометрических параметров инструмента в аналитической зависимости силы резания, полученной Кошиным А. А. и Ефимовым Е. Ю. по расчетной схеме С. Н. Корчака; δ_{j-1} - максимальное колебание глубины резания на j -м переходе, включающее в себя влияние квалитета размера после $(j-1)$ -го перехода; $\mu, \gamma, \beta, \omega$ - относительные колебания твердости заготовки,

жесткости станка, жесткости револьверной головки и поворотной жесткости револьверной головки; $J_y^o(D_o - \sum_{k=1}^n t_k)$. Функция средней жесткости детали с учетом снятия припусков на предшествующих переходах.

Выражение (2) представляет собой зависимость для поля рассеивания диаметрального размера при обработке проходным резцом. Здесь учтена изменение жесткости детали вследствие последовательного удаления напуска.

В формуле (2) коэффициенты K_d , K_q учитывают угловые перемещение револьверной головки и детали, т. е. искажение формы детали в осевом направлении. Эти модели позволяют установить баланс погрешностей для отдельных подсистем технологической системы. Погрешность от поворота револьверной головки составляет в среднем 76 % от суммарной погрешности, погрешность вследствие поворота детали в зависимости от ее вылета составляет 6 %, погрешность вследствие параллельного переноса детали и револьверной головки - 18 %.

Эта модель позволяет учесть влияние промежуточных квалитетов (IT_f), глубин резания (t), промежуточных диаметров (D), вылета резца (L_p) и детали (L_y) на величину поля рассеивания выполняемого размера. С помощью ЭВМ рассчитаны степень влияния различных параметров на величину поля рассеивания. На рис. 4 показано влияние t , S , L_1 и D_y .

Анализ моделей показал, что основное, почти линейное влияние, на величину погрешности выполняемого размера оказывает глубина резания и подача. Более сложный характер оказывает влияние вылета детали и инструмента. В силу перераспределения моментов от сил резания при увеличении вылета инструмента величина погрешности, возрастает, но может и уменьшиться.

Аналогичные формулы получены для расточного и подрезного резцов.

Полученные модели точности прошли экспериментальную проверку на адекватность. Расхождение не превышает 15% при 95% уровне доверительной вероятности.

Таким образом, полученные зависимости позволяют осуществить расчетное прогнозирование точности выполняемых размеров на этапе проектирования токарно-револьверной операции при многопереходной обработке для проходного, расточного и подрезного резцов. Поэтому они могут быть приняты в качестве базовых при расчетном проектировании оптимального плана обработки поверхности.

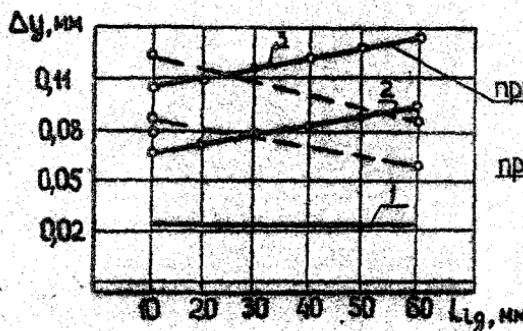
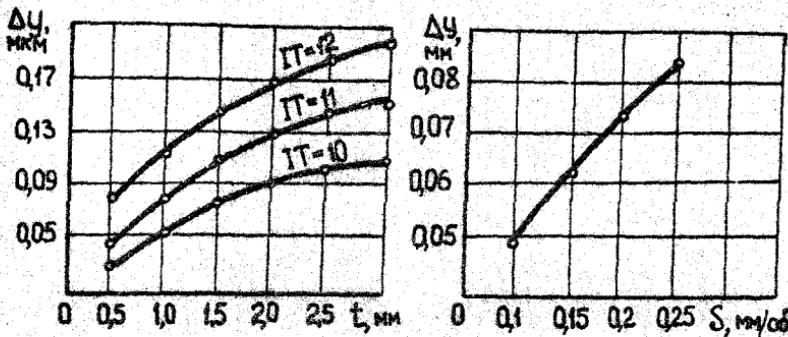


Рис. 4 Влияние некоторых параметров на погрешность размеров.

a) $D = 40 \text{ мм}$; материал Ст. 40Х;
 $E = 630 \text{ ГПа}$; $S = 0,26 \text{ мм}/\text{об}$;
 $IT_z = 12$; $IT_d = 10$;

$J_{Pf} = 10527 \text{ Н/мм}$; $J_{Dd} = 78 \times 10^3 \text{ Н мм/рад}$;

$J_{Pd} = 9,8 \times 10^3 \text{ Н мм/рад}$.

b) $t = 1,5 \text{ мм}$; $IT_z = 12$; $IT_d = 10$;

c) 1-линейные перемещения;

2-угловые перемещения;

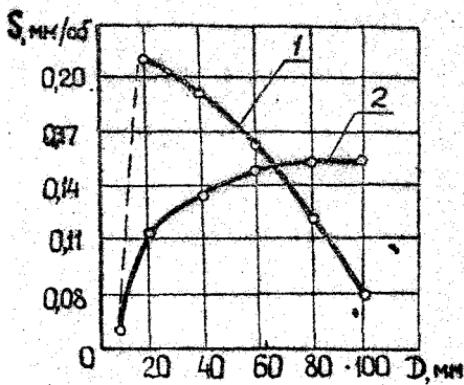
3-суммарное перемещение.

3. МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ ПРИ МНОГОПЕРЕХОДНОЙ ОБРАБОТКЕ

Для разработки алгоритма расчета многопереходной обработки разработаны модели управления. В качестве основного фактора управления, предопределяющего в дальнейшем производительность (суммарное основное время), взяли подачу, поскольку она оказывает наибольшее влияние на суммарное основное время. Разрешив модель (2) относительно подачи, получили модели управления, которые позволяют для любой глубины резания и любых остальных параметров по исходной погрешности заготовки и требуемому квалитету получить предельно допустимую по точности подачу. Учитывая, что при многопереходной обработке точность на первом переходе является исходной погрешностью для второго перехода построены рекуррентные зависимости для диаметрального (3) и линейного размеров на j -м переходе, которые позволяют просчитать по-этапно все переходы.

$$S_j = \frac{\frac{\Delta U_j}{G_j} - [(C_y t_j + D_y) K_{yj} + (C_x K_{xj} + C_z K_{zj}) \delta_{xj-1} + (C_z t_j + D_z) K_{zj}]}{(A_y t_j + B_y) K_y + (A_x K_{xj} + A_z K_{zj}) \delta_{xj-1} + (A_z t_j + B_z) K_{zj}} \quad (3)$$

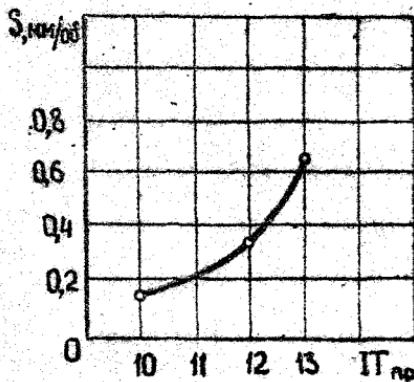
В качестве примера на рис. 5 показано влияние диаметра обработки и промежуточного квалитета на подачу.



a)

1 - при условии $PxD_1/2 > PyLig$

2 - при условии $PxD_1/2 < PyLg$



b)

Рис. 5 Влияние некоторых параметров на подачу.

Как показал анализ модели управления подачами (рис. 5а), при диаметрах детали свыше 30 мм момент от составляющей силы резания R_x становится достаточно большим и нейтрализует собою влияние момента от составляющей силы резания R_y . То есть делает наладку сбалансированной по силовому воздействию. Это позволяет увеличить предельную по точности подачу на 10 %. При малых диаметрах (менее 20 мм) плечо действия R_x становится малым, и поэтому возрастает роль момента от силы резания R_y , что приводит к необходимости снижения предельной подачи до 19 %.

Формула (3) является базой для построения оптимального плана обработки поверхности.

4. РАСЧЕТНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО ПЛАНА ОБРАБОТКИ ПОВЕРХНОСТИ НА ТРА.

Поскольку задача проектирования многопереходной обработки многовариантна, следует ее ставить в оптимизационной постановке. Для разработки метода оптимизации крайне важно знать характер критерия оптимальности. Проведенный анализ поведения критерия оптимальности показал, что эта функция всегда выпукла вверх и не может иметь минимума во внутренних точках. Таким образом, оптимум достигается только на границах. Поэтому в первую очередь решалась задача поиска этих границ. Границы определяются минимально необходимым припуском.

На базе модели управления (3) разработан алгоритм расчетного проектирования оптимального плана обработки. Сначала решается задача параметрической оптимизации (определение глубин резания и промежуточных квалитетов на каждом переходе для заданного числа переходов, затем решается задача определения рационального количества переходов в результате сравнения основных времен при обработке поверхности за один, два, три и более переходов при оптимальных значениях глубин резания и промежуточных квалитетов на каждом переходе).

Поскольку оптимальные глубины резания достигаются на границе области сначала определяем область допустимых глубин резания, а потом для граничных значений глубин резания определяем подачи (3) и частоты вращения шпинделя (Π). Оптимальный вариант промежуточных квалитетов определяется в результате сравнения основных времен для всех возможных комбинаций промежуточных квалитетов.

Оптимальное количество переходов определяется по условию минимума разности штучных времен за j и за $j+1$ переход. Упрощая получаем эквивалентный критерий

$$\min \left\{ \frac{\tau_o^{(j)}}{\tau_o^{(j+1)}} < 1,1 \right\} \quad (4),$$

где $\tau_o^{(j)}$, $\tau_o^{(j+1)}$ - основное время при обработке поверхности за $j+1$ и j переход соответственно.

Разработана компьютерная программа оптимизации многопереходной обработки. Расчет на ЭВМ позволил получить зависимость глубин резания и промежуточных квалитетов на каждом переходе от заданного напуска на обработку (рис. 6). Также получена зависимость количества переходов (n) от напуска и квалитета детали (T_g).

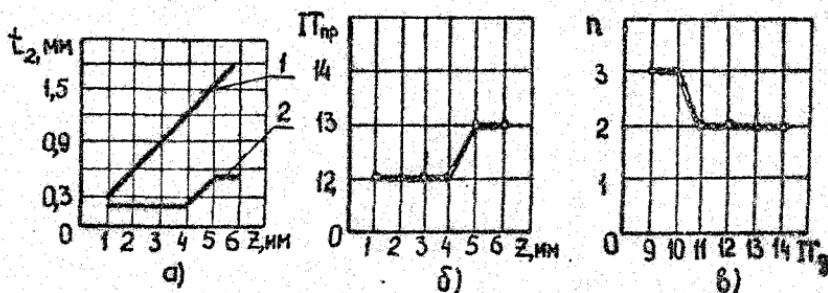


Рис. 6 Влияние напуска на некоторые параметры при двухпереходной обработке.

В рис. 6а показано сравнение расчётного распределения напуска (1) и рекомендуемого (2) по литературе. Как видно, рекомендуемое распределение не учитывает физики процесса, просто предлагается некоторая пропорциональная зависимость. Расчетное распределение имеет более сложную закономерность за счет того, что промежуточный квалитет с увеличением напуска возрастает (6) и такое составляющие минимальной глубины резания, как поле допуска увеличивается.

5. ПРИМЕНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ.

На основе анализа и обобщения результатов проектирования разработаны нормативные карты по проектированию планов обработки поверхностей на ТРА. Фрагмент карты представлен в табл. 1.

Таблица 1.

Фрагмент карты выбора рационального количества переходов и промежуточных квалитетов.

Резцы прокладные													
Напуск		7				8							
Число переходов		Рек. раб.		2		3		Рек. раб.		2		3	
Квалитеты заготовок	п. детали	п.	Пром. квал.	п.	Пром. квал.	п.	Пром. квал.	п.	Пром. квал.	п.	Пром. квал.	п.	Пром. квал.
			JT21	JT31	JT32		JT21	JT31	JT32		JT21	JT31	JT32
	9	3	14	15	12	3	13	15	12				
	10	2	15	15	12	3	14	15	13				
	11	2	15	15	13	2	15	15	14				
13			.	.	.								
	12	2	15	15	14	2	15	15	14				
	13	2	15	15	14	2	15	15	14				

Как видно из таб. 1, по квалитету заготовки, квалитету детали и напуску определяется рекомендуемое число переходов (n), промежуточные квалитеты для двухпереходной, трехпереходной обработки. Указано рациональное число переходов. Возможны случаи, когда рекомендуемое рациональное число переходов невозможно осуществить из-за ограничения на глубину резания (L_{max}), например, по мощности привода. В этих случаях необходимо увеличивать число переходов. Аналогичная таблица разработана для распределения напуска по переходам.

Эффективность предлагаемой методики по сравнению с рекомендациями справочника Мешерякова и Косиловой (1986) показана в табл. 2.

Таблица 2.

Сопоставление расчетов

Квалт. дет.	Напуск заг.	Распределения напуска по переходам	Пром. квал.	По чи	Приведенное основное время	Сокращение основного времени в %
		предла- гаемой	спра- вочной			
10	13	8				
		$t_1=6,75$		15	0,27	
		$t_2=0,89$		13	0,32	15,73
		$t_3=0,36$			0,11	25
			$t=5,2$	13	0,3	
			$t=2,8$		0,06	19,2

Расчеты показали, что применение этой методики позволяет вскрыть резервы повышение производительности при точении на 41 %, при подрезке торца на 26 % и при растачивании на 15 %.

На базе предлагаемой методики разработан РПМ по проектированию многопереходной обработки.

ВЫВОДЫ

В работе решена новая актуальная научно-техническая задача проектирования планов обработки поверхностей, выполняемых на ТРА, с целью повышения производительности.

1. Разработаны пространственные модели перемещений технологической системы в направлении выполняемых размеров при обработке проходными, подрезными и расточными резцами на токарно-револьверных автоматах, учитывающие влияние как параллельных, так и угловых перемещений револьверной головки и детали. Они позволили установить баланс погрешностей для отдельных подсистем, а также позволяют прогнозировать погрешность формы в осевом направлении в зависимости от схемы обработки и режимов резания.

2. Разработаны пространственные модели формирования поля рассеивания выполняемого размера при обработке проходными, подрезными и расточными резцами на ТРА, учитывающие не только влияние силы резания но и момента от силы на точность обработки.

3. Разработана рекурентная пространственная размерно-точностная модель многопереходной обработки на ТРА для проходного, расточного и подрезного резцов, позволяющая рассчитать цепочку погрешностей и следующих друг за другом переходов и учитывать при этом изменение жесткости детали и угловые перемещения детали и револьверной головки в процессе обработки.

4. Разработана рекурентная модель управления подачами при многопереходной обработке на ТРА, позволяющая рассчитать предельные по точности подачи на каждом переходе в зависимости от количества переходов, распределения напуска по переходам, схемы нагружения и других условий обработки.

5. Разработан метод оптимизации плана обработки поверхности для точения проходными, подрезными и расточными резцами, состоящий в минимизации суммарного основного времени и позволяющий определить оптимальное количество переходов, распределить напуск по переходам и рассчитать промежуточные квалитеты и на каждом переходе.

6. Оптимизация плана обработки поверхности позволяет за счет назначения разных глубин резания и подач на каждой переходе повысить производительность на 40 %.

7. Для типовых ситуаций разработан РТМ по проектированию планов обработки поверхностей на ТРА, которые переданы для использования в АО "УРАЛТРАК".

8. Разработан комплекс нормативных таблиц, включенный в "Общемашиностроительные руководящие материалы по проектированию наладок и нормативы времени и режимов резания на токарные - автоматные работы", позволяющие впервые назначать рациональное количество переходов, глубины резания и промежуточные квалитеты на каждом переходе при многопереходной обработке поверхности на ТРА.

9. Разработана методика экспериментальной оценки поворотных жесткостей каждой из подсистем ("шпиндель-деталь", "инструмент-револьверная головка", "инструмент-долеречной суппорта") технологической системы для ТРА.

По теме диссертации опубликованы работы:

1. Юсубов Н. Д. Пространственная размерно-точностная модель при обработке подрезными резцами на токарно-револьверных автоматах//Депонированные научные работы; Библиограф. указатель ВИНИТИ - 1992. -N5-С. 52.

2. Юсубов Н. Д. Модель леформаций технологической системы при

. обработка расточными резами на токарно-револьверных автоматах// Депонированные научные работы; Библиограф. указатель ВИНИТИ. -1992. -N5. -С. 52.

3. Юсубов Н. Д. Пространственная размерно-точностная модель при формировании диаметральных размеров проходными и расточными резами на токарно-револьверных автоматах// Депонированные научные работы; Библиограф. указатель ВИНИТИ. -1992. -N7. -С54.

4. Богатенков С. А., Юсубов Н. Д., Сазонова Н. С. Оптимизация планов обработки поверхностей, выполняемых на токарных полуавтоматах, по критерию производительности// Депонированные научные работы; Библиограф. указатель ВИНИТИ. -1992. -N8. - С59. печати).

5. Проектирование плана обработки поверхности на токарно-револьверных автоматах/ С. А. Богатенков, Н. Д. Юсубов, Р. А. Ахмедов// Научно-методической семинар "Методология САПР в машиностроении"; Тез. докл. -Баку, 1992. - С. 25.