

05.02.08

И 853

Челябинский государственный технический университет

На правах рукописи

ИСАКОВ ВЛАДИСЛАВ МИХАЙЛОВИЧ

ОПТИМИЗАЦИЯ АВТОМАТИЧЕСКИХ ЦИКЛОВ КОЛЕСОВАНИЯ,
ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ ТРЕБУЕМУЮ ШЕРОХОВАТОСТЬ ПОВЕРХНОСТИ

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

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

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

Официальные оппоненты: доктор технических наук,
профессор
А.В.Королев;
кандидат технических наук,
доцент
А.М.Сарайкин.

Ведущее предприятие - Машиностроительное конструкторское
бюро "Факел".

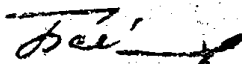
Защита диссертации состоится "22" ноября 1991 г.,
в 14-00 часов, на заседании специализированного совета
Д 053.13.05 в Челябинском государственном техническом университе-
те по адресу: 454080, г.Челябинск, пр.им.В.И.Ленина, 76.

Просим Вас принять участие в заседании специализированного
совета или прислать отзыв в двух экземплярах, заверенных печатью
учреждения, по указанному адресу.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Челябинского
государственного технического университета.

Автореферат разослан "21" октября 1991 г.

Ученый секретарь
специализированного совета,
доктор экономических наук,
профессор



И.А.Баев

Актуальность темы. Около 30% шлифовальных операций выполняется на круглошлифовальных станках. Современные круглошлифовальные станки оснащаются приборами активного контроля и системами автоматического изменения скорости подачи шлифовального круга по заданной программе. Это позволяет существенно уменьшить время съема припуска и повысить стабильность обеспечения требований, предъявляемых к деталям по точности, шероховатости и качеству поверхностных слоев обрабатываемых поверхностей. Однако эти возможности в настоящее время используются не в полную меру. В частности, недоиспользование возможностей круглошлифовальных станков с ЧПУ по производительности составляет примерно 50%. Такое положение во многом объясняется тем, что для построения оптимального автоматического цикла шлифования по существующим методикам необходимо выполнять большое число экспериментов. Причем при изменении условий обработки эксперименты должны повторяться.

В связи с этим задача создания расчетных методов оптимизации автоматических циклов шлифования для круглошлифовальных станков, оснащенных приборами активного контроля и системами автоматического управления скоростью подачи шлифовального круга является актуальной. Диссертация выполнена в рамках НИР, проведенных на кафедре технологии машиностроения Челябинского государственного технического университета. В комплексе с другими работами по созданию автоматизированной системы расчета режимов резания и нормирования операций данная работа выполнена по заказу Госкомтруда СССР в соответствии с заданием 8.01А программы ГИИТ СССР 0.76.01.

Автор защищает:

1. Методику расчетного определения величин параметров рельефа рабочей поверхности шлифовального круга в зависимости от скорости подачи круга и прочностных свойств абразивного зерна и связки.
2. Аналитические зависимости для расчета шероховатости поверхности, сформированной при автоматическом цикле обработки на круглошлифовальных станках с ЧПУ.
3. Методику оптимизации автоматических циклов шлифования, обеспечивающих получение деталей с заданными требованиями по шероховатости поверхности.
4. Внедрение результатов исследований в виде программы расчета на ЭВМ и общемашиностроительных нормативов режимов резания и норм времени для круглошлифовальных станков с ЧПУ.

Цель работы. Повышение производительности операций, выполняемых на круглошлифовальных станках с программным управлением скоростью подачи шлифовального круга путем оптимизации автоматического цикла обработки, обеспечивающего требуемую шероховатость поверхности.

Научная новизна.

1. Установлена математическая зависимость величин параметров рельефа рабочей поверхности круга со скоростью подачи шлифовального круга и с прочностными показателями абразивного зерна и связки.

2. Получены аналитические зависимости для расчета максимальной в цикле и минимальной на этапе выхаживания скоростей подач круга, при которых обеспечивается требуемый уровень шероховатости поверхности.

3. Разработана методика расчетного определения величин параметров автоматического цикла шлифования (количество ступеней, скорость подачи и величину припуска, снимаемого на каждой ступени), обеспечивающего требуемую шероховатость поверхности за минимальное время съема припуска.

Практическая ценность.

1. Предложена методика расчетного определения шероховатости поверхности, формирующейся при автоматическом цикле обработки на круглошлифовальных станках.

2. Разработан расчетный метод оптимизации автоматических циклов шлифования и программа, предназначенная для проектирования автоматических циклов при помощи ЭВМ.

3. Рекомендации по проектированию автоматических циклов шлифования, разработанные на основе созданной методики оптимизации, внедрены на Волжском автомобильном заводе и на предприятиях отраслевого МКБ "Бакал" с экономическим эффектом 72 тысячи рублей.

4. По результатам исследований построены общемашиностроительные нормативы времени и режимов резания для нормирования работ на круглошлифовальных станках с числовым программным управлением.

Апробация работы. Работа докладывалась на заседаниях кафедры "Технология машиностроения" и на научно-технических конференциях Челябинского государственного технического университета 1985-1990 гг. Отдельные положения работы докладывались на зональной научно-технической конференции "Пути повышения производительности и качества механообработки на машиностроительных предприятиях Урала",

Свердловск 1984 г. и на Всесоюзной научно-технической конференции "Технологическое и нормативное обеспечение станков с ЧПУ и гибких производственных систем", Челябинск, 1988 г.

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 8 работ.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы и приложений. Работа изложена на 138 страницах машинописного текста, содержит 40 рисунков, 16 таблиц. Список литературы состоит из 135 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе проведен анализ проблемы повышения производительности операций, выполняемых на круглошлифовальных станках, оснащенных приборами активного контроля и системами автоматического управления скоростью подачи круга по заданной программе.

Приведен обзор работ, посвященных оптимизации автоматических циклов шлифования. Отмечено, что большой вклад в создание методов оптимизации автоматических циклов шлифования внесли советские ученые Б.Г.Дурье, В.Н.Михелькевич, Ю.К.Новоселов, В.И.Островский, П.П.Переверзев, М.М.Тверской, В.Д.Эльянов и др. Показано, что существующие методики хотя и позволяют устанавливать оптимальный закон изменения фактической скорости подачи круга, однако по ним невозможно определить данные, необходимые для построения автоматического цикла, выполняемого на станках с ЧПУ: число ступеней цикла, программную скорость подачи и величину припуска, снимаемого на каждой ступене. Кроме того, по существующим методикам весьма сложно рассчитать шероховатость поверхности, сформированную в конце цикла. Трудности прогнозирования шероховатости обусловлены, в основном, отсутствием расчетных методов определения величин параметров рельефа рабочей поверхности шлифовального круга, который оказывает доминирующее влияние на шероховатость. Рельеф рабочей поверхности зависит от скорости подачи шлифовального круга. Эта взаимосвязь известна из экспериментов, однако в аналитическом виде она не описана. В соответствии с поставленной целью работы сформулированы основные задачи.

1. Построить математическую модель рабочей поверхности шлифовального круга, учитывающую взаимосвязь рельефа со скоростью подачи круга и на этой основе разработать методику расчетного определения шероховатости поверхности сформированной при автоматическом цикле шлифования.

2. Разработать методику оптимизации автоматических циклов обработки на круглошлифовальных станках с программным управлением скоростью подачи, обеспечивающих требуемую шероховатость поверхности.

3. Провести экспериментальную проверку адекватности моделей и установленных на их основе аналитических зависимостей.

4. Разработать и внедрить в промышленность рекомендации по проектированию автоматических циклов шлифования в производственных условиях.

Вторая глава посвящена разработке методики расчета шероховатости поверхности формирующейся при автоматическом цикле шлифования. В основу методики положена геометрическая схема резания, модели внутреннего строения и рельефа рабочей поверхности шлифовального круга, а также модель микропрофиля шлифованной поверхности.

Модель внутреннего строения шлифовального круга представляет собой совокупность абразивных зерен, имеющих форму шаров одинакового диаметра, равномерно распределенных в объеме круга, контактирующих между собой и скрепленных мостиками связки. Получены аналитические выражения, связывающие параметры модели (диаметр зерна, расстояние между зернами и др.) с параметрами характеристики шлифовального круга (зернистостью и структурой, т.е. с объемным соотношением зерна и связки в круге). При осуществлении перехода от модели внутреннего строения к модели рельефа рабочей поверхности круга исходили из того, что в процессе шлифования происходит постепенное обновление затупленных зерен острыми, расположенными в глубине поверхностного слоя. При этом можно выделить два этапа.

Первоначально рельеф формируется в процессе правки круга. Концентрация активных зерен, закономерность распределения вершин этих зерен по глубине поверхностного слоя и величины других параметров рельефа существенно зависят от способа и режима правки.

В процессе шлифования под действием сил резания рельеф круга изменяется. Вершины активных зерен притупляются, а силы, действующие на зерно, возрастают. В результате зерно вырывается из связки и в работу вступают вершины зерен, расположенных в глубине поверхностного слоя. Так формируется относительно устойчивый рельеф рабочей поверхности круга. При таком рельефе, концентрация активных зерен на рабочей поверхности круга определяется по следующему выражению:

$$Z_a = \sqrt{\frac{108 \cdot \eta \cdot W_3^2}{\pi^3 \cdot d_3^4 \cdot \Delta^2 \cdot \operatorname{tg}^2 \alpha}} \quad (1)$$

где Z_a - концентрация вершин активных зерен на глубине h ; d_3 - эквивалентный диаметр зерна; Δ - толщина поверхностного слоя; 2α - угол при модельной вершине зерна; W_3 - удельное содержание абразивного зерна в круге; η - степень затупления круга - обобщенный параметр круга, равный отношению суммарной площади площадок затупления активных зерен к общей площади рабочей поверхности шлифовального круга.

Степень затупления шлифовального круга связана с прочностными свойствами абразивного зерна и связки, а также с силой резания и скоростью подачи шлифовального круга. Методика определения величины степени затупления круга разработана на основе силовой модели процесса шлифования и прочностной модели круга.

Для определения закономерности распределения вершин активных зерен по глубине зоны контакта шлифовального круга с обрабатываемой деталью построена имитационная модель. Установлено, что результаты натуральных экспериментов наиболее точно совпадают с результатами имитационного моделирования на ЭВМ при равновероятном законе распределения вершин зерен по глубине зоны контакта.

Микропрофиль шлифованной поверхности аппроксимирован синусоидой. Свойства этой кривой достаточно точно отражают основные соотношения между высотными параметрами микропрофиля шлифованной поверхности, установленные экспериментальным путем.

Построенные модели рельефа и микропрофиля позволили вывести формулу для расчета шероховатости шлифованной поверхности

$$R_a = \frac{\pi \cdot d_3 \cdot S_{\varphi}}{0,7 V_k \cdot Z_a \cdot b_i \cdot l_k} \quad (2)$$

где R_a - среднеарифметическое отклонение микропрофиля шлифуемой поверхности; S_{φ} - фактическая скорость подачи шлифовального круга; V_k - скорость шлифовального круга; Z_a - концентрация активных зерен на рабочей поверхности круга; b_i - средняя протяженность отрезка (хорды) контура площадки затупления при пересечении рабочей поверхности круга плоскостью; l_k - длина дуги контакта шлифовального круга с деталью; d_3 - диаметр детали.

Исходя из предположения о том, что рельеф рабочей поверхности шлифовального круга, сформированный на этапе черного шлифования автоматического цикла не изменяется во время выхаживания, была выведена формула для расчета шероховатости, которая может быть достигнута на этапе выхаживания:

$$R_{a9} = \frac{1}{0,7n_g} \left(\frac{V_g \cdot \sqrt{S_{фmax}} \cdot \sqrt{(D+d_g)n_g}}{V_k \cdot Z_a \cdot b_l \cdot \sqrt{D \cdot d}} \right)^{4/3} \quad (3)$$

где R_{a9} - минимальная величина среднеарифметического отклонения микропрофиля, которая может быть получена на этапе выхаживания; V_g и n_g - скорость и частота вращения детали, соответственно; D - диаметр шлифовального круга; $S_{фmax}$ - максимальная скорость подачи шлифовального круга в цикле обработки.

Максимальная скорость подачи шлифовального круга в автоматическом цикле обработки, после которой на этапе выхаживания обеспечивается требуемый уровень шероховатости ($R_{от}$), рассчитывается по формуле

$$S_{фmax} = \left((0,7R_{от} n_g)^{3/4} \frac{V_k \cdot Z_a \cdot b_l \cdot \sqrt{D \cdot d_g}}{V_g \sqrt{(D+d_g) \cdot n_g}} \right)^4 \quad (4)$$

Для того, чтобы сформировалась требуемая шероховатость поверхности, скорость подачи шлифовального круга в конце цикла должна снизиться до определенной величины, которую можно рассчитать по формуле

$$S_{фR_{a9}} = \left(\frac{V_g \cdot \sqrt{S_{фmax}} \cdot \sqrt{(D+d)n_g}}{V_k \cdot Z_a \cdot b_l \cdot \sqrt{D \cdot d}} \right)^{4/3} \quad (5)$$

Полученные формулы (4) и (5) для расчета максимальной и минимальной скорости подачи круга задают граничные условия при оптимизации автоматических циклов шлифования исходя из требований к шероховатости поверхности.

В третьей главе представлены результаты экспериментальной проверки адекватности построенных моделей и установленных на их основе аналитических зависимостей. Эксперименты проводились на автоматизированном стенде, спроектированном на базе круглошлифовального станка с программным управлением модели ЗБИ51Ф2. Стенд оснащен датчиками для измерения радиальной и тангенциальной составляющих силы резания, радиального износа шлифовального круга и частоты вращения детали. Для измерения степени затупления круга, концентрации активных зерен и размеров площадок затупления на стенде установлен бинокулярный микроскоп с подсветкой и фотокамерой.

Методика выполнения экспериментальных исследований предусматривает два этапа. На первом этапе проведены эксперименты по проверке адекватности модели рельефа рабочей поверхности шлифовального круга. Результаты проверки зависимости (1) представлены на графике (рис.1). Разница между расчетными и экспериментальными величинами не превышает 30%.

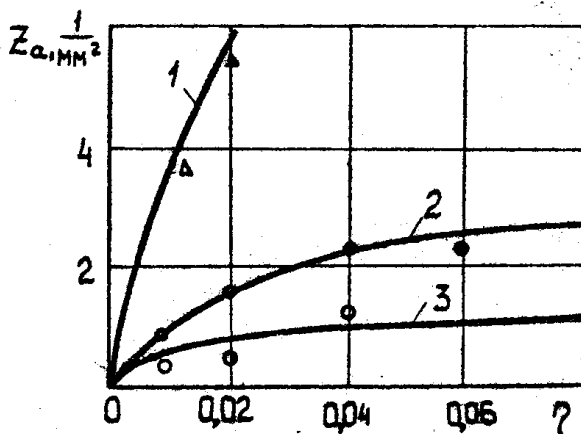


Рис.1. Экспериментальные точки и теоретические кривые зависимости концентрации активных зерен от степени затупления круга:
 1 - круг 91 А 16 СМ;
 2 - круг 91 А 25 СМ;
 3 - круг 91 А 40 СМ

На втором этапе экспериментальных исследований проводилась оценка адекватности аналитических зависимостей для расчета шероховатости шлифуемой поверхности. Суть экспериментов заключалась в шлифовании образцов на стенде кругами различной зернистости и сравнении результатов экспериментов с расчетными данными. Адекватность формулы (2) проверялась по результатам шлифования образцов с постоянной скоростью подачи круга, а формулы (3) при шлифовании образцов по двухступенчатому циклу обработки (второй этап - выхаживание).

В процессе обработки образцов измеряли радиальную составляющую силы резания и частоту вращения детали. После обработки каждого образца измеряли степень затупления и концентрацию активных зерен на рабочей поверхности круга. Шероховатость поверхности обработанного образца измеряли при помощи профилографа-профилометра. По результатам расчетов строили графики, на которые наносили точки, соответствующие данным эксперимента. Один из таких графиков показан на рис.2. Отклонение расчетных величин от экспериментальных данных в широком диапазоне изменения скорости подачи не превышает 40%. Это позволяет сделать вывод о возможности использования полученных зависимостей для расчета шероховатости при разработке методики оптимизации автоматических циклов шлифования.

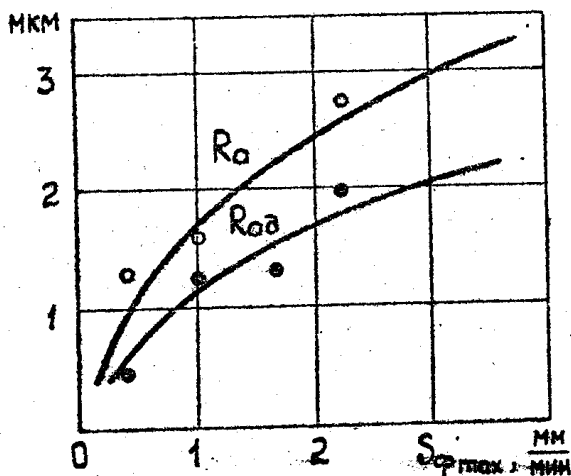


Рис.2. Экспериментальные точки и теоретические кривые зависимости шероховатости поверхности от скорости подачи круга (круг 9I A 25 СМI)

Четвертая глава посвящена разработке методики оптимизации автоматических циклов шлифования. В качестве критерия оптимальности принят минимум времени съема припуска $T_{\text{ц}}$. Построена целевая функция, заданы ограничения на скорость подачи шлифовального круга, исходя из условия обеспечения требований по шероховатости поверхности (рис.3).

Для поиска оптимального варианта автоматического цикла шлифования методом динамического программирования операция представлена в виде сложной системы. На вход системы (операции) подается объект (заготовка) с требуемым для расчета набором характеристик (припуск, шероховатость поверхности, качество и др.). В процессе обработки под действием внешних факторов (управления) происходит изменение заготовки, и на выходе операции (системы) получается деталь с соответствующим набором характеристик. При использовании метода ди-

Оптимизационная модель процесса шлифования

Целевая функция

$$\tau = \sum_{i=1}^Z \left(j \left(\kappa_1 - \frac{\kappa_2}{2\sqrt{S_{ni}}} \right) \ln \frac{\sqrt{S_{\varphi i-1}} - \sqrt{S_{\varphi n}}}{\sqrt{S_{\varphi i}} \sqrt{S_{\varphi n}}} \right. \\ \left. + \left(\kappa_1 - \frac{\kappa_2}{2\sqrt{S_{ni}}} \right) \ln \left| \frac{\sqrt{S_{\varphi i-1}} + \sqrt{S_{ni}}}{\sqrt{S_{\varphi i}} + \sqrt{S_{ni}}} \right| \right)$$

где τ - время съема припуска; Z - число ступеней переключения скорости номинальной подачи при шлифовании в автоматическом цикле; j - податливость технологической системы в месте установки прибора активного контроля; $S_{\varphi i}$ и $S_{\varphi i-1}$ - фактическая скорость подачи шлифовального круга на i -м и на $i-1$ -м обороте детали соответственно; S_{ni} и S_{n-1} - программная скорость подачи шлифовального круга на i -м и на $i-1$ -м обороте детали.

Величины коэффициентов κ_1 и κ_2 находятся из следующих выражений:

$$\kappa_1 = \frac{\pi \cdot d_2 \cdot B \cdot \sigma_i \cdot \varepsilon_i \cdot \tan \beta}{V_k}$$

$$\kappa_2 = \frac{B \cdot \sigma_i \cdot \eta \cdot \sqrt{D_k \cdot d_2}}{c \cdot \sqrt{(D_k + d_2) \cdot n_g}}$$

где B - ширина обрабатываемой поверхности; σ_i - средняя величина интенсивности напряжений в движущемся объеме деформируемого металла; ε_i - интенсивность скорости деформации металла; β - угол сдвига; η - степень затупления рабочей поверхности шлифовального круга; c - соотношение между нормальными напряжениями и напряжениями сдвига.

Ограничения по шероховатости

$$S_{\varphi \max} \leq \left(\left(0,7 R_{ag} \cdot n_g \right)^{3/4} \frac{v_k \cdot z_a \cdot b_i \cdot \sqrt{D \cdot d_g}}{v_g \sqrt{(D+d_g)} \cdot n_g} \right)^{4/3}$$

$$S_{\varphi \text{рат}} \leq \left(\frac{v_g \sqrt{S_{\varphi \max}} \cdot \sqrt{(D+d) n_g}}{v_k \cdot z_a \cdot b_i \sqrt{D \cdot d}} \right)^{4/3}$$

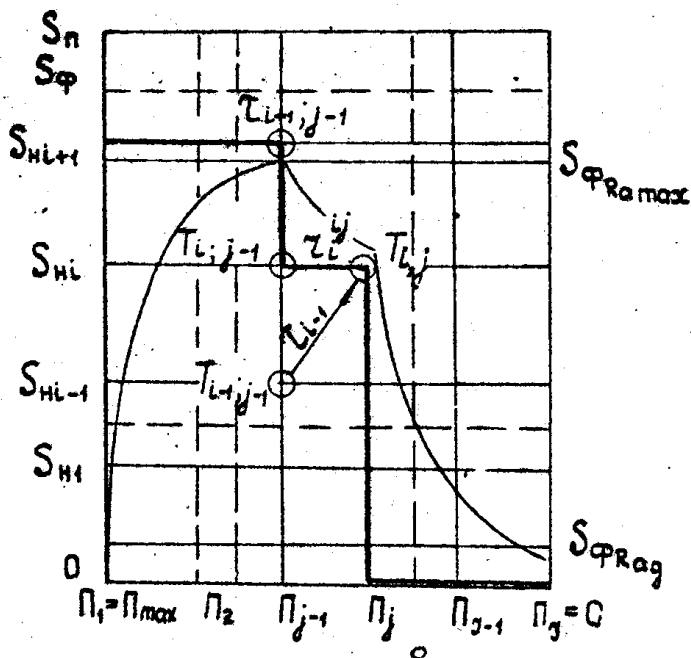


Рис.3. Построение оптимального цикла шлифования методом динамического программирования

намического программирования целесообразно непрерывный процесс съема припуска представить в виде n -шагового. На каждом шаге оценивается допустимость варианта управления скоростью подачи круга. Для допустимых вариантов рассчитывается время съема припуска. Допустимость варианта управления с учетом ограничения по шероховатости проверяется путем сравнения величины фактической скорости подачи $\Delta\varphi_i$, которая рассчитывается на каждом обороте детали, с величиной рассчитываемой по формуле (4). Минимальная скорость подачи в конце цикла сравнивается с величиной рассчитываемой по формуле (5). Время поиска оптимального варианта на ЭВМ составляет 2...5 мин. В результате решения оптимизационной задачи определяется количество ступеней, программная скорость подачи и величина припуска, снимаемого на каждой ступени, а также время цикла шлифования.

В пятой главе представлены результаты реализации разработанной методики оптимизации в производство. Методика реализована в двух направлениях.

1. При проектировании на ЭВМ оптимального автоматического цикла шлифования для конкретных условий обработки.

2. При разработке справочно-нормативных материалов по режимам резания и нормам времени работ, выполняемых на круглошлифовальных станках с программным управлением.

Методика оптимизации автоматических циклов была передана Волжскому автомобильному заводу, прошла апробацию в лаборатории абразивной и алмазной обработки и используется при проектировании шлифовальных операций.

Разработаны и внедрены в промышленность два способа представления справочных материалов: в виде таблиц и в виде графиков. Общемашиностроительные нормативы построены в виде совокупности таблиц и охватывают широкий диапазон изменения величин параметров, определяющих условия обработки.

Рекомендации по режимам шлифования сталей со специальными свойствами представлены в виде графиков, были выданы головному предприятию МКБ "Факел".

Экономический эффект от внедрения результатов исследований составил 72 (Семьдесят две) тысячи рублей.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Разработана методика расчетного определения величин параметров рельефа рабочей поверхности в зависимости от скорости подачи круга и прочностных свойств абразивного зерна и связки.

2. Разработана методика расчетного определения шероховатости поверхности, обрабатываемой на круглошлифовальных станках с ЧПУ.

3. Получены аналитические зависимости для расчета максимальной в цикле и минимальной в конце цикла скорости подачи шлифовального круга, при которых обеспечивается требуемая шероховатость поверхности.

4. Результаты экспериментальной проверки адекватности разработанных моделей и установленных на их основе аналитических зависимостей подтвердили возможность использования их для решения практических задач.

5. Разработана методика оптимизации автоматических циклов шлифования, включающая целевую функцию, ограничения по шероховатости и программу для ЭВМ, обеспечивающую выбор оптимального варианта управления скоростью подачи круга, числа ступеней подач, программную скорость подачи и припуск на каждой ступени.

6. По результатам теоретических и экспериментальных исследований разработаны и внедрены:

а) общемашиностроительные нормативы времени и режимов резания для нормирования работ на универсальных и многоцелевых станках с числовым программным управлением;

б) руководящие технические материалы для Волжского автомобильного завода;

в) рекомендации по проектированию автоматических циклов шлифования сталея со специальными свойствами внедрены на предприятиях головной организации МКБ "Факел" с экономическим эффектом 72 тысячи рублей.

По материалам диссертации опубликованы следующие работы:

1. Буторин Г.И., Исаков В.М., Ардашев Е.И. Комплекс эксплуатационных показателей абразивных инструментов // Абразивные инструменты. Абразивные инструменты с полимерными и керамическими связующими: процессы получения и применения. - Свердловск, 1982. - С.25 - 31.

2. Исаков В.М. Расчет шероховатости обрабатываемой поверхности детали при круглом врезном шлифовании // Прогрессивная

технология чистовой и отделочной обработки.- Челябинск: ЧПИ, 1984.- С.71-74.

3. Исаков В.М., Переверзев П.П., Оптимизация автоматических циклов шлифования // Пути повышения производительности и качества механообработки деталей на машиностроительных предприятиях Урала: Тез. докл. науч.-техн. конф.- Свердловск, 1984.- С.74-75.

4. Исаков В.М. Выбор эффективных условий обработки по эксплуатационным показателям шлифовальных кругов // Повышение эффективности и качества в механосборочном производстве: Тез. докл. науч.-техн. конф.- Пермь, 1985.- С.31-32.

5. Корчак С.Н., Переверзев П.П., Рассказов В.Н., Исаков В.М. Оптимизация режимов резания для операций шлифования, выполняемых на станках с автоматическим циклом управления // Технологическое и нормативное обеспечение станков с ЧПУ и гибких производственных систем: Тез. докл. Всесоюзн. науч.-техн. конф.- Челябинск, 1988.- С.20-21.

6. Корчак С.Н., Переверзев П.П., Кулыгин В.Л., Исаков В.М. Оптимизация условий обработки для операций круглого шлифования на станках с автоматическим циклом управления // Отделочно-чистовые методы обработки и инструменты в технологии машиностроения.- Барнаул: АПИ, 1984.- С.31-35.

7. Кулыгин В.Л., Исаков В.М., Рассказов В.Н., Фадюшин О.С. Управление режимными параметрами абразивной обработки на стадии проектирования технологического процесса // Алмазная и абразивная обработка деталей машин и инструмента: Межвуз. сб. науч. трудов.- Пенза: Пенз. политехн. ин-т, 1989.- Вып. 17.- С.90-94.

8. Переверзев П.П., Кулыгин В.Л., Ивашинчиков А.В., Исаков В.М., Беляков А.Л., Иголевич В.А. Описание методики и математических моделей оптимизации режимов резания для операций, выполняемых в автоматическом цикле на круглошлифовальных станках // Отделочно-чистовые методы обработки и инструменты в технологии машиностроения.- Барнаул: АПИ, 1987.- С.103-110.

Подписано к печати 17.10.91. Формат 60x90 1/16. Печ. л. 0,75.
 Уч.-изд. л. 0,8. Тираж 100 экз. Заказ 283/610.

ГОП ЧПУ. 454080. Челябинск, пр. им. В.И. Ленина, 76.