

Челябинский государственный технический университет

На правах рукописи

НИКОЛАЕНКО Александр Алексеевич

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ РАСЧЕТА АВТОМАТИЧЕСКИХ
ЦИКЛОВ ПЛОСКОГО ГЛУБИННОГО ШЛИФОВАНИЯ

Специальность 05.02.08 - "Технология машиностроения"

А н н о т а ц и я

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Челябинск - 1993

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
В.В.ЕДИНОВ;
кандидат технических наук,
доцент
А.К.САРАЖКИН.

Ведущее предприятие -- Санкт-Петербургский
инструментальный завод
"Измерон".


Защита диссертации состоится " 27 " января 1992 г.
в 14-00 часов, на заседании специализированного совета
Д 053.13.05 в Челябинском государственном техническом универси-
тете по адресу: 454080, г.Челябинск, пр.им.В.И.Ленина, 70.

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 " 27 " декабря 1991 г.

Ученый секретарь
специализированного совета,
доктор экономических наук,
профессор

 В.К.Сидорин

Актуальность темы. Стремление улучшить технико-экономические показатели изделий машиностроения за счет применения деталей из материалов с высокими прочностными характеристиками приводит к снижению производительности при их изготовлении. Избежать этого за счет увеличения режимов механической обработки невозможно из-за низкой стойкости режущего лезвийного инструмента.

Одним из путей повышения производительности при механической обработке деталей из высокопрочных материалов является внедрение в производство плоского глубинного шлифования, которое во многих случаях более эффективно, чем обработка лезвийным инструментом. Глубинное шлифование отличается от традиционного шлифования повышением глубины резания за один рабочий ход (от 0,5 мм до нескольких десятков миллиметров) и снижением скорости продольной подачи стола.

В получающих все большее распространение процессах малоотходной технологии изготовления деталей, когда из точной заготовки путем шлифования получают готовую деталь, операции глубинного шлифования являются наиболее распространенными. Сочетание большой глубины съема металла с высокой точностью и качеством обработанной поверхности позволяет успешно заменять сочетание операций фрезерования или строгания и последующего традиционного шлифования одной операцией плоского глубинного шлифования.

В настоящее время плоское глубинное шлифование - это высокоэффективный метод механической обработки деталей в авиационной, инструментальной, автомобильной промышленности, применяемый при обработке глубоких пазов (с прямыми параллельными боковыми сторонами) и плоских поверхностей. Широкое внедрение плоского глубинного шлифования в промышленность сдерживается из-за отсутствия нормативов режимов резания, в которых количественно увязывались бы режимы обработки, эксплуатационные характеристики шлифовального круга, число рабочих ходов с точностью обработки.

Поэтому задача разработки автоматических циклов плоского глубинного шлифования, обеспечивающих получение деталей заданной точности на основе нормативных материалов по назначению режимов резания является актуальной. Кроме того, широкий выпуск станков с ЧПУ для глубинного шлифования на Липецком станкостроительном заводе и других расширяет рассматриваемую проблему, а именно: назначаемые режимы резания должны обеспечивать настрой-

ку и перенастройку станков на автоматическую работу с наибольшей производительностью, при обеспечении требуемого качества готовой детали.

Цель работы - разработка методики расчета режимов резания и автоматических циклов наибольшей производительности, при заданной точности обработки, для операций плоского глубинного шлифования.

Научная новизна. 1. Для операций плоского глубинного шлифования разработаны аналитические зависимости по расчету силы резания, учитывающие эксплуатационные характеристики шлифовального круга.

2. Получены математические зависимости для расчета погрешности одно- и многоходового шлифования, учитывающие исходную погрешность заготовки, податливость технологической системы, количество рабочих ходов и силу резания на каждом рабочем ходе.

3. Разработана методика по расчету наиболее производительных режимов резания, для получения деталей заданной точности, при одно- и многоходовом шлифовании, учитывающая жесткость станка, величину припуска, заданный на выполняемый размер допуск и мощность привода станка.

4. Разработан способ стабилизации силы резания по всей длине обработки за счет изменения скорости продольной подачи пропорционально изменению площади контакта шлифовального круга с деталью (получено положительное решение по заявке на изобретение).

5. Разработано устройство для определения жесткости (податливости) шлифовальных станков (получено положительное решение по заявке на изобретение).

Практическая ценность

1. Разработаны нормативы режимов резания и основного времени для операций плоского глубинного шлифования, выполняемых на станках с ЧПУ.

2. Разработана программа для ЭВМ по расчету режимов резания, основного времени и автоматических циклов наибольшей производительности, при заданной точности обработки, которая используется в качестве режимного блока САПР.

3. Нормативы режимов резания и методика расчета автоматических циклов плоского глубинного шлифования внедрены на ряде промышленных предприятий.

Апробация работы. Диссертационная работа в целом и отдельные ее положения доложены и обсуждены на научно-практической конференции "Повышение эффективности технологических процессов машиностроительных производств" в Алтайском политехническом институте, Барнаул, 1989 г.; на заседаниях Первой Всесоюзной, с международным участием, школы-конференции "Математическое моделирование в машиностроении" в Куйбышевском авиационном институте, 1990 г.; на научно-техническом семинаре "Состояние, перспективы создания и внедрения в производство абразивных инструментов" в УралВНИИАШ, Челябинск, 1991 г.; на заседаниях кафедры "Технология машиностроения и научно-технических конференциях Челябинского государственного технического университета, 1989-1992 гг.

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 7 печатных работ, из них 3 в центральных издательствах.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, 7 глав, общих выводов, списка литературы и приложений. Работа изложена на 158 страницах машинописного текста, содержит 45 рисунков, 25 таблиц, список литературы из 98 наименований, 5 приложений на 61 странице. Общий объем работы 219 страниц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Состояние вопроса. Проведен обзор использования в отечественной промышленности технологических процессов механической обработки, включающих операции плоского глубинного шлифования. Приведен анализ работ, посвященных вопросам точности изготовления деталей. Большой вклад в развитие теории точности изготовления деталей машин внесли Б.С.Балашкин, А.П.Соколовский, К.В.Вотинов и другие.

Развитие теории управления точностью при механической обработке, применительно к операциям шлифования, было сделано в работах Л.А.Глейзера, Д.В.Худобина, С.С.Силина, А.В.Якимова, С.Н.Корчака, А.В.Королева и других.

Показано, что существующие методы расчетов сил резания устанавливают общие закономерности процесса шлифования, но не позволяют определить параметры, необходимые для построения автоматических циклов плоского глубинного шлифования.

Таким образом, для управления точностью обработки, через

управление силой резания, необходимо разработать методику расчета режимов резания и автоматических циклов плоского глубинного шлифования. В соответствии с поставленной целью работы сформулированы следующие основные задачи:

1. Разработать модели силы резания при плоском глубинном шлифовании.
2. Разработать модели погрешностей одно- и многоходового шлифования.
3. Разработать методику расчета наиболее производительных режимов резания для получения деталей заданной точности при одно- и многоходовом шлифовании.
4. Разработать методику стабилизации силы резания для операций плоского глубинного шлифования.
5. Разработать методику расчета автоматических циклов наибольшей производительности, при заданной точности обработки, для операций плоского глубинного шлифования.
6. Разработать нормативы режимов резания для операций плоского глубинного шлифования.
7. В производственных условиях выполнить проверку теоретических и экспериментальных исследований и внедрить нормативы режимов резания в производство.

Силы резания.

В основу методики аналитического расчета сил резания при шлифовании положены, предложенные С.Н.Корчаком и П.П.Переверзевым, подходы к расчету сил резания единичным шлифзерном и интенсивности съема металла шлифовальным кругом. Путем суммирования силовых реакций, возникающих при резании совокупностью зерен круга, находящихся в данный момент времени в зоне контакта круга с деталью, получены следующие расчетные зависимости радиальной и главной составляющих силы резания:

$$P_{\text{ушр}} = \frac{V_{\text{шр}} S_x t_{\text{ш}} \sigma_i \cdot \sigma_k \cdot t_{\text{ш}} D}{V} + \frac{S_x \sqrt{A t_{\text{ш}}} \cdot \sigma_i \cdot \sigma_k}{C} \cdot \pi \left(\frac{K_i d_0}{2} \right)^2 \frac{W_3 W_c M_l (V \pm V_{\text{шр}})}{(W_3 + W_c + W_0) W_{\text{ш}} d_0^2 V} \quad (1)$$

$$P_{\text{гшр}} = \frac{V_{\text{шр}} S_x t_{\text{ш}} \sigma_i \cdot \sigma_k}{V} + \frac{M S_x \sqrt{A t_{\text{ш}}} \cdot \sigma_i \cdot \sigma_k}{C} \cdot \pi \left(\frac{K_i d_0}{2} \right)^2 \frac{W_3 W_c M_l (V \pm V_{\text{шр}})}{(W_3 + W_c + W_0) W_{\text{ш}} d_0^2 V} \quad (2)$$

где $V_{\text{спр}}$ - скорость продольной подачи стола, м/с; S_x - поперечная подача на ход стола, м/ход; $t_{\text{ф}}$ - фактическая глубина резания; m ; σ_i - средняя интенсивность напряжений, характеризующая сопротивляемость материала пластической деформации в условиях, присущих процессу шлифования, н/м²; δ_i - интенсивность степени деформаций; $t_{\text{гВ}}$ - тангенс угла между вектором скорости круга и равнодействующей силы резания; V - скорость вращения круга, м/с; D - наружный диаметр круга, м; C - коэффициент, устанавливающий соотношение между σ_i и средним контактным давлением; K_i - коэффициент, устанавливающий соотношение между размером шлифзерна и длиной участка затупления на этом зерне; d_0 - средний размер шлифзерна соответствующей зернистости, м; M_i - коэффициент, учитывающий измененные условия шлифования; W_z - объемное содержание зерна в круге, %; W_c - объемное содержание связки, %; $W_{\text{п}}$ - объемное содержание пор, %; μ - коэффициент трения шлифзерна о металл.

Расчет производился при значениях $\sigma_i, \delta_i, t_{\text{гВ}}$ взятых из работы С.Н.Корчака, значения C взяты из работы П.П.Переверзева, значения $d_0, W_z, W_c, W_{\text{п}}$ взяты из рецептуры шлифовальных кругов, опубликованной в работе А.В.Якимова.

Экспериментальная проверка полученных зависимостей (1), (2) проводилась на специальном стенде, смонтированном на базе станка для глубинного шлифования модели ЛШ-220. Статистическая обработка результатов экспериментов показала адекватность расчетных зависимостей (1) и (2) реальному процессу. Результаты проверки зависимости (1) представлены на графике (рис.1). Разница между расчетными и экспериментальными величинами не превышает 20%.

Взаимосвязь сил резания и точности обработки

В трудах В.С.Балашихина, А.П.Соколовского и других установлена взаимосвязь производительности и точности обработки с жесткостью (податливостью) технологической системы и режимами резания. На этой основе, в ходе проведенного исследования, установлена взаимосвязь фактической глубины резания с номинальной глубиной и податливостью технологической системы, которая выражена следующей зависимостью:

$$t_{\text{ф}} = \left[\frac{-f k_3 + \sqrt{(f k_3)^2 + 4 t_{\text{н}} (1 + f k_1)}}{2(1 + f k_1)} \right]^2, \quad (3)$$

График сравнения расчетной зависимости и экспериментальных точек изменения радиальной составляющей силы резания от зернистости круга

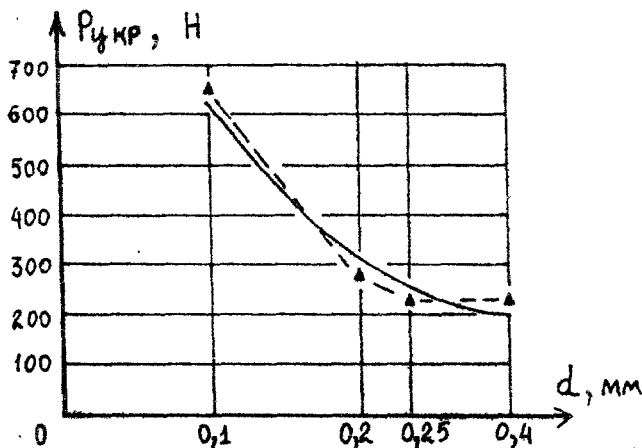


Рис. I

круг: I 500x20x203 25A ВМ I2Н5;

материал: сталь 45;

режимы резания: $V = 35$ м/с; $S_x = 20$ мм; $t_\varphi = 1$ мм;

$V_{спр} = 400$ мм/мин

где f - податливость технологической системы, м/Н;
 t_H - номинальная глубина резания, м.

$$R_1 = V_{спр} \cdot R_2 = V_{спр} \frac{S_x \sigma_i \varepsilon_i t_\varphi B}{V};$$

$$R_3 = \frac{S_x \sqrt{A'} \cdot \sigma_i}{c} \pi \left(\frac{K_i d_0}{2} \right)^2 \frac{W_3 W_c M_i (V \pm V_{спр})}{(W_3 + W_c + W_\Pi) W_\Pi d_0^2 V}$$

Величина упругих отжатий технологической системы равна

$$y = t_H - \left[\frac{-f R_3 + \sqrt{(f R_3)^2 + 4 t_H (1 + f R_1)}}{2 (1 + f R_1)} \right]^2 \quad (4)$$

Погрешность обработки Δy при одноходовом шлифовании, выраженная через максимальное и минимальное отжатие технологической системы, показана на рис.2 и описана следующими уравнениями:

$$y_{\max} = t_H - \left[\frac{-fk_3 + \sqrt{(fk_3)^2 + 4t_H(1+fk_1)}}{2(1+fk_1)} \right]^2 \quad (5)$$

$$y_{\min} = t_H - \Delta h - \left[\frac{-fk_3 + \sqrt{(fk_3)^2 + 4(t_H - \Delta h)(1+fk_1)}}{2(1+fk_1)} \right]^2 \quad (6)$$

$$\Delta y = y_{\max} - y_{\min}, \quad (7)$$

где Δh - исходная погрешность заготовки, м.

Погрешность обработки при многоходовом шлифовании показана на рис.3 и описана следующими уравнениями:

$$y_n^{\max} = t_n + y_{n-1}^{\max} - \left[\frac{-fk_3 + \sqrt{(fk_3)^2 + 4(t_n + y_{n-1}^{\max})(1+fk_1)}}{2(1+fk_1)} \right]^2 \quad (8)$$

$$y_n^{\min} = t_n + y_{n-1}^{\min} - \left[\frac{-fk_3 + \sqrt{(fk_3)^2 + 4(t_n + y_{n-1}^{\min})(1+fk_1)}}{2(1+fk_1)} \right]^2 \quad (9)$$

$$\Delta y_n = y_n^{\max} - y_n^{\min} \quad (10)$$

Экспериментальная проверка полученных зависимостей (8), (9), (10) проводилась на специальном стенде, смонтированном на базе станка для глубинного шлифования модели ЛШ-220 с применением разработанного устройства для определения жесткости (податливости) шлифовальных станков. Особенностью указанного устройства является то, что оно позволяет определять жесткость (податливость) как в статике, так и в динамике. На устройство для определения жесткости (податливости) шлифовальных станков получено положительное решение № 5004275/08 от 02.07.1991 г. по заявке на изобретение.

Выполнена статистическая обработка результатов экспериментов по проверке зависимостей (5 - 10). В качестве примера на

Расчетная схема погрешности обработки
при одноходовом шлифовании

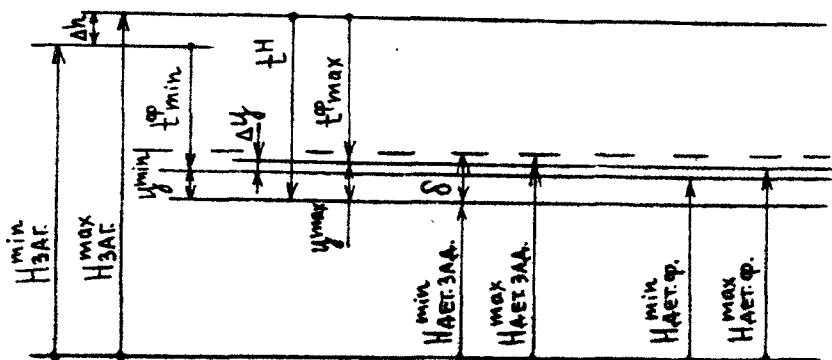


Рис.2

Расчетная схема погрешности обработки
при многоходовом шлифовании

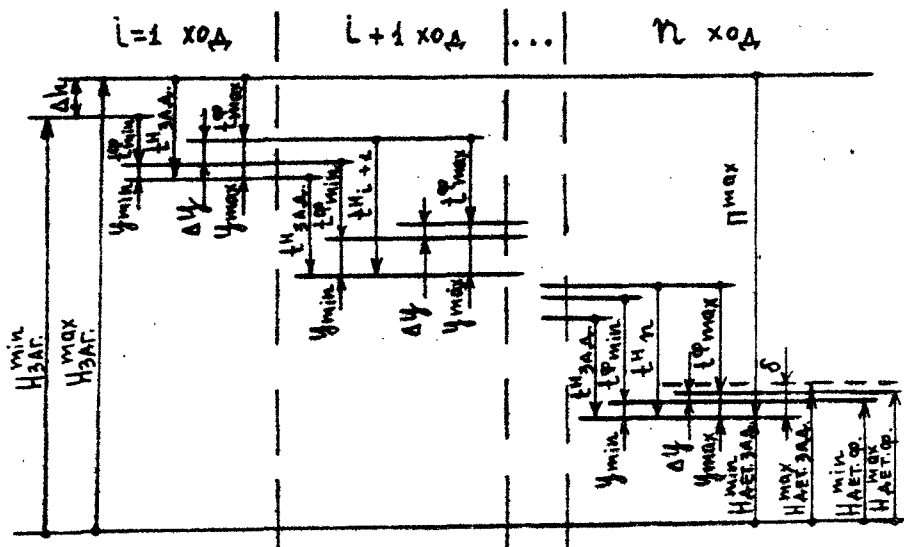


Рис.3

рис.4 представлены результаты проверки зависимости (8). Разница между расчетными и экспериментальными величинами не превышает 20%.

Зависимость величины упругих отжатий технологической системы от скорости продольной подачи стола

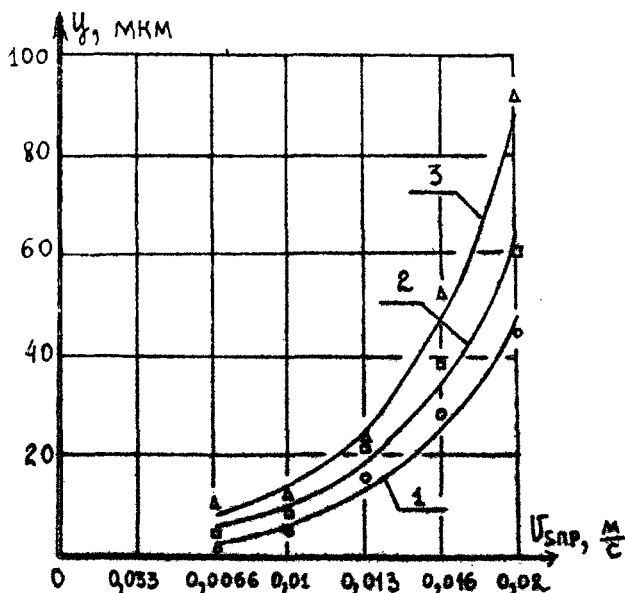


Рис.4

1 - сталь 45; 2 - 40X13; 3 - P18;
 круг: I 500x20x20С 25А 40П ВЛ I 2K5;
 режимы резания: $V = 35$ м/с; $S_x = 0,02$ м; $t_{\phi} = 600$ мм;
 податливость станка; $f = 0,032$ мм/н

Расчет режимов резания

На основании формулы (5), отражающей изменение фактической глубины резания t_{ϕ} , в зависимости от назначаемых t_H и V_{snp} (при $V = \text{const}$, $S_x = \text{const}$, $f = \text{const}$) построена область изменения фактических глубин резания. Ограничив эту область по оси ординат (рис.5, 6) минимальным значением глубины резания $[t_{\phi}^{\min}]$ (для глубинного шлифования $[t_{\phi}^{\min}] = 0,5$ мм) и максимальным значением допустимым по мощности привода шпинделя

$[t_{\phi}^{\max} (P_{\text{зкр}})]$, по оси абсцисс минимальным и максимальным

значением скорости продольной подачи $[v_{СПР}^{min}]$, $[v_{СПР}^{max}]$ (согласно техническим данным станка) и максимальным значением допустимым по мощности привода шпинделя $[v_{СПР}^{max}(P_{ЭКР}^{max})]$, получили область допустимых глубин резания и допустимых значений скорости продольной подачи.

Расчет точности обработки, отслеживающий изменение точности обрабатываемой детали от первого по последнего рабочего хода при разных значениях глубины резания и скорости продольной подачи стола, производится по формулам (5 - 10) одновременно с расчетом количества рабочих ходов n_x . Расчет количества рабочих ходов ведется с учетом мощности привода шлифовального круга по формуле

$$n_x = \frac{\prod^{max}}{K \cdot [t_{ф}^{max}(P_{ЭКР}^{max})]}, \quad (II)$$

где \prod^{max} - максимальный припуск, м;
 K - поправочный коэффициент, учитывающий расчетную точность обработки;
 $[t_{ф}^{max}(P_{ЭКР}^{max})]$ - максимальная фактическая глубина резания, допустимая по мощности привода шлифовального круга, м.

Расчетное количество рабочих ходов округляется в большую сторону до целого. При недостижении требований по точности обработки дальнейшее управление режимными параметрами осуществляется путем увеличения числа рабочих ходов (если требуется большое уточнение) и уменьшением скорости продольной подачи (если требуется небольшое уточнение).

Если (при достижении требований по точности) $n_x \leq 1$, то одноходовое шлифование, если $n_x > 1$, то многоходовое шлифование.

Методика расчета режимов резания при одно- и многоходовом шлифовании показана на рис.5, 6, где фактическая глубина резания $t_{ф}$ и скорость продольной подачи $v_{СПР}$ определяются с учетом допуска на размер детали δ .

Для получения заданного размера детали при одноходовом шлифовании и на последнем рабочем ходе многоходового шлифования, согласно рис.2, 3, необходимо выполнение следующего условия:

$$y^{max} \leq \delta, \quad (I2)$$

где y_{δ}^{max} - максимальное отжатие технологической системы, м;
 δ - допуск на размер детали, м.

Схема для определения максимальных режимов резания при одноходовом шлифовании

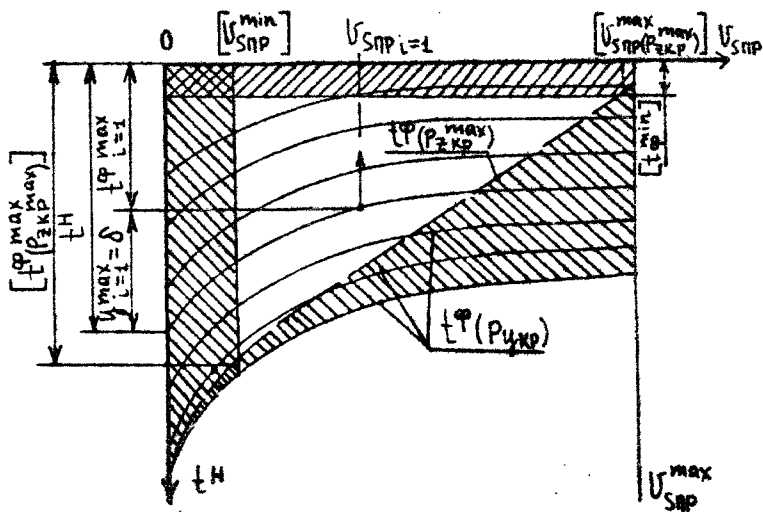


Рис.5

Схема для определения максимальных режимов резания при многоходовом шлифовании

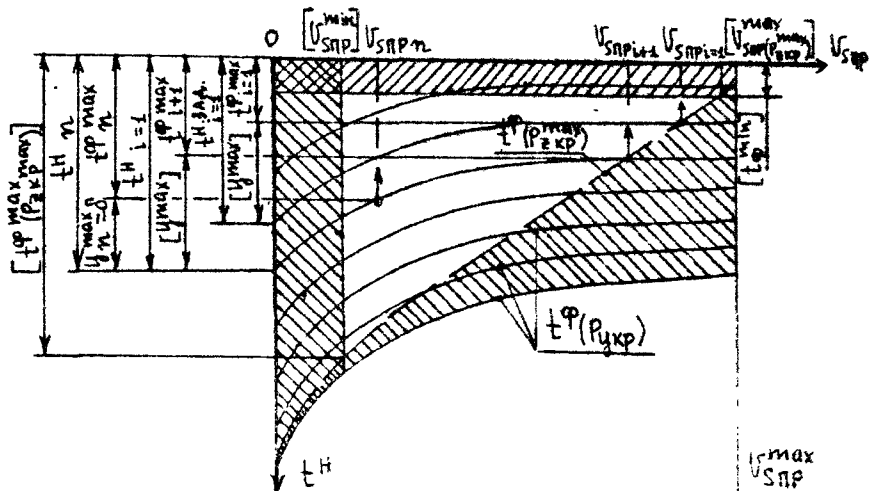


Рис.6

При одноходовом шлифовании расчет номинальной глубины резания t_H и максимальной фактической глубины резания t_{φ}^{\max} производится согласно схеме, представленной на рис.2. Максимальная скорость продольной подачи стола, обеспечивающая получение детали заданной точности, равна

$$V_{\text{СПР}}(\sigma) = \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a \cdot k_2}, \quad (13)$$

где $a = 4 t_{\varphi}^{\max} \cdot f^2$;

$$b = 4 f (t_{\varphi}^{\max} + \sqrt{t_{\varphi}^{\max}} \cdot f k_3 - t_H);$$

$$c = 4 (t_{\varphi}^{\max} + \sqrt{t_{\varphi}^{\max}} \cdot f k_3 - t_H);$$

$$k_2 = \frac{S_x G_i G_i \operatorname{tg} \beta}{V}$$

При многоходовом шлифовании расчет номинальной глубины резания t_H и максимальных фактических глубин резания t_{φ}^{\max} производится для всех рабочих ходов согласно схеме, представленной на рис.3. Расчет скорости продольной подачи для всех рабочих ходов, кроме последнего, производится по следующей формуле:

$$V_{\text{СПР}}(P_{\text{ЗКР}}^{\max}) = \frac{[P_{\text{ЗКР}}^{\max}] - k_3 \sqrt{t_{\varphi}^{\max}}}{k_7 \cdot t_{\varphi}^{\max}}, \quad (14)$$

где $[P_{\text{ЗКР}}^{\max}]$ - максимально-допустимое по мощности привода шлифовального круга значение главной составляющей силы резания, Н;

$$k_7 = \frac{S_x G_i G_i}{V};$$

$$k_3 = \frac{\mu S_x \sqrt{A} \cdot G_i}{c} \pi \left(\frac{K_i d_0}{2} \right)^2 \frac{W_3 W_c M_i}{(W_3 + W_c + W_n) W_n d_0^2}$$

Расчет скорости продольной подачи на последнем рабочем ходе при многоходовом шлифовании производится с учетом условия (12) по формуле (13).

Для расчета режимов резания разработана программа для ЭВМ, которая используется в качестве режимного блока САПР.

Автоматические циклы шлифования

Глубинное шлифование в сравнении с традиционным шлифованием приводит к увеличению длины дуги контакта круга с деталью и расстояния, которое проходит деталь от момента касания круга до полного контакта. Аналогично с участком врезания увеличивается и длина участка выхода.

На участках врезания и выхода происходит изменение интенсивности съема металла, что приводит к изменению силы резания и натяга в технологической системе. Это вызывает появление на детали участков "завалов", то есть участков, где горизонтальная образующая обработанной поверхности становится криволинейно наклонной.

Для стабилизации силы резания по всей длине обработки разработан способ расчета и изменения скоростей подачи. Длины участков врезания и выхода делятся на отрезки. Для каждого отрезка рассчитывают площадь контакта круга с деталью. Изменение скорости подачи производится по отрезкам пропорционально изменению площади контакта круга с деталью. Значения скорости подачи по отрезкам заносится в кадры управляющей программы, которая вводится в систему ЧПУ станка.

На данный способ автоматического регулирования силы резания при глубинном шлифовании получено положительное решение № 4914304/08 от 25.02.1991 г. по заявке на изобретение.

Использование переменной скорости подачи позволяет сократить время цикла. Графическое изображение автоматических циклов шлифования, содержащих один и два рабочих хода, представлено, соответственно, на рис. 7а, 7б, где пунктирной линией показан цикл с использованием переменной скорости подачи, а сплошной линией показан цикл без использования переменной скорости подачи. Из графиков видно, что использование переменной скорости подачи сокращает время цикла на величину $\Delta \tau$, которая растет с увеличением количества рабочих ходов.

Для расчета времени всего цикла используется следующая формула:

$$\tau_{ц} = \sum_{i=1}^K \tau_i, \quad (15)$$

где τ_i - время, необходимое на осуществление i -ой подачи цикла, с;

K - количество подач в цикле.

Автоматические циклы плоского глубинного шлифования
с использованием и без использования переменной скорости
продольной подачи стола

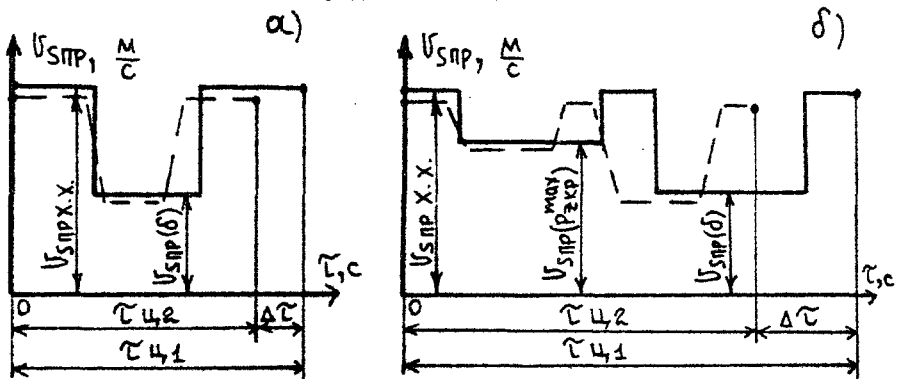


Рис. 7

- $V_{SPP X.X.}$ - скорость продольной подачи при холостом ходе;
 $V_{SPP(\delta_{max})}$ - скорость продольной подачи допустимая по мощности привода шпинделя;
 $V_{SPP(\delta)}$ - скорость продольной подачи, обеспечивающая заданную точность обработки.

Внедрение рассчитанных автоматических циклов шлифования на четырех промышленных предприятиях повысило производительность труда на операциях в 1,3-1,5 раза по сравнению с экспериментально подобранными на заводах циклами.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Получены расчетные зависимости для определения силы резания при плоском глубинном шлифовании, учитывающие эксплуатационные характеристики шлифовального круга.
2. Получены математические зависимости для расчета погрешности одно- и многоходового шлифования, учитывающие исходную погрешность заготовки, податливость технологической системы, количество рабочих ходов и силу резания на каждом рабочем ходе.
3. Разработана методика расчета наиболее производительных режимов резания, для получения деталей заданной точности, при одно- и многоходовом шлифовании, учитывающая допуск на выполняемый размер, величину припуска, жесткость станка, мощность привода станка.

4. Разработана методика стабилизации силы резания по всей длине обработки за счет изменения скорости продольной подачи стола, пропорционально изменению площадки контакта шлифовального круга с деталью, при врезании и выходе круга.

5. Разработана методика расчета автоматических циклов наибольшей производительности, при заданной точности обработки, для операций плоского глубинного шлифования.

6. Разработана программа для ЭВМ по расчету режимов резания, основного времени и автоматических циклов наибольшей производительности, при заданной точности обработки, которая используется в качестве режимного блока САПР операций шлифования.

7. Разработаны нормативы режимов резания и основного времени для операций плоского глубинного шлифования.

8. Суммарный годовой экономический эффект от внедрения результатов исследования на четырех промышленных предприятиях составляет 244 тысячи рублей.

По материалам диссертации опубликованы следующие работы:

1. Николаенко А.А., Кулыгин В.Л. Абразивные круги для глубинного шлифования // Механизация и электрификация сельского хозяйства.- 1992.- № 3-4.- С.45.

2. Николаенко А.А., Кулыгин В.Л. Обеспечение точности обработки деталей шлифованием // Механизация и автоматизация сельского хозяйства.- 1991.- № 7.- С.56.

3. Кулыгин В.Л., Николаенко А.А. Глубинное шлифование при восстановлении деталей // Механизация и электрификация сельского хозяйства.- 1991.- № 10.- С.51.

4. Кулыгин В.Л., Николаенко А.А. Математическое моделирование процесса плоского глубинного шлифования // Математическое моделирование в машиностроении.- Курбатов: ФАИ, 1990.- С.48-49.

5. Кулыгин В.Л., Николаенко А.А. Повышение производительности и точности обработки плоского глубинного шлифования // Отделочно-чистовые методы и инструмент автоматизированных производств.- Барнаул: АлтПИ, 1992.- С.27-31.

6. Кулыгин В.Л., Николаенко А.А. Исследование колебаний сил резания при глубинном шлифовании // Повышение эффективности технологических процессов машиностроительных производств.- Барнаул; АлтПИ, 1989.- С.50-51.

7. Кулыгин В.Л., Николаенко А.А. Особенности процесса резания при плоском глубинном и маятниковом шлифовании // Алмазная и абразивная обработка деталей машин и инструмента.- Пенза: ППИ, 1991.- С.40-44.

Подписано в печати 19.12.92. Формат 60x90 1/16. Печ. л. 1.
Уч.-изд. л. 1. Тираж 100 экз. Заказ 297/727.

УОП ЧГТУ. 454080, г. Челябинск, пр. им. В.И.Ленина, 76.