

Системный анализ процесса плоского шлифования торцом круга

07, июль 2014

DOI: 10.7463/0814.0719749

Иванова Т. Н.^{1,a}

УДК 621.9

¹Россия, Чайковский филиал ФГБОУ ВПО
«Пермский национальный исследовательский политехнический университет»

^atatnic2013@yandex.ru

Проведён системный анализ процесса плоского шлифования торцом круга, рассмотрены параметры состояния, входные и выходные переменные подсистем - станок, приспособление, деталь, шлифовальный круг, СОЖ, зона контакта. Выявлены факторы, влияющие на температурно-силовые условия процесса шлифования. Для разработки комплексной модели процесса плоского шлифования торцом круга сам процесс подразделен на составляющие: геометрические соотношения и связи; термодинамическая, гидродинамическая составляющие; динамические процессы; силовые составляющие. Для определения оптимальных режимов устанавливается зависимость температуры шлифованной поверхности, удельной мощности, интенсивности съема, параметра шероховатости поверхности от условий плоского шлифования торцом круга. Проведение системного анализа процесса плоского шлифования торцом круга позволило разработать систему показателей процесса шлифования как технической системы, которая дает возможность оценить проявление каждого параметра в отдельности и осуществить оптимизацию всей системы.

Ключевые слова: шлифование, торец круга, плоские детали, температура шлифованной поверхности, интенсивность съема, параметр шероховатости поверхности

Введение

Основное удовлетворение возрастающих требований к качеству шлифованных поверхностей связано с разработкой и внедрением высокоэффективных технологических процессов. Процесс плоского шлифования торцом круга по описанию и моделированию является наиболее сложным. Он характеризуется пространственно-временными связями, детальное изучение которых выполняется на основе системного подхода. До настоящего времени отсутствовал системный анализ плоского шлифования торцом круга, описывающий взаимосвязи технологических факторов процесса с геометрическими характери-

ками круга и состоянием поверхностного слоя деталей, что не позволяло создать единую методологию проектирования технологии плоского шлифования торцом круга.

Цель: Проведение системного анализа процесса плоского шлифования торцом круга позволит разработать систему показателей процесса шлифования как технической системы, которая даст возможность оценить проявление каждого параметра в отдельности и осуществить оптимизацию всей системы.

Поставленная цель потребовала решение **задачи:**

Провести системный анализ процесса плоского шлифования торцом круга, классифицировать основные группы факторов, определяющих качество обрабатываемой поверхности, производительность обработки, стойкость инструмента, выдвинуть критерии оценки эффективности процесса.

Научная новизна работы:

- впервые проведён системный анализ, выявлены конструкторско-технологические факторы, температурно-силовые условия и критерии, определяющие эффективность технологии шлифования торцом круга.

Основная часть

Состояние и функционирование системы определяется следующими характеристиками: связями со средой, свойствами, структурой, целями функционирования, историей развития. Операция шлифования, являясь частью технологического процесса, включает совокупность целенаправленных действий, связанных между собой структурно и сама может рассматриваться как система, разбиваясь по функциональным признакам на подсистемы: станок, приспособление, инструмент, деталь, смазочно-охлаждающая жидкость (рисунок 1).

Каждая из выделенных подсистем имеет свой набор свойств, параметров состояния, историю развития, входные и выходные параметры. Управление процессом осуществляется подсистемой станка, в которую и включаем приспособление. Работа подсистемы «станок-приспособление» оценивается, например, режимами резания. Подсистема «инструмент» дает возможность, изменяя характеристики круга и параметры, более существенно влиять на течение процесса обработки, на проявление свойств в подсистемах, а значит на выходные параметры всего процесса шлифования. Зона контакта инструмента с обрабатываемой деталью характеризуется совокупностью сложных механических, физических и химических взаимодействий обрабатываемого материала, инструмента, СОЖ. Процессы стружкообразования, контакта и трения формообразующих элементов с обрабатываемым материалом связаны с появлением силы резания, выделением большого количества тепла, износом и разрушением режущих кромок [1]. Сила резания и тепловой поток вызывают упругие и температурные деформации инструмента и заготовки, деталей узлов станка и

приспособления, что приводит к изменению их пространственного расположения и соответствующему изменению размеров и формы зоны контакта. На структурной схеме (рисунок 1) это отражено обратными связями, без учета которых бывает невозможна качественная и количественная оценка процесса плоского шлифования торцом круга.

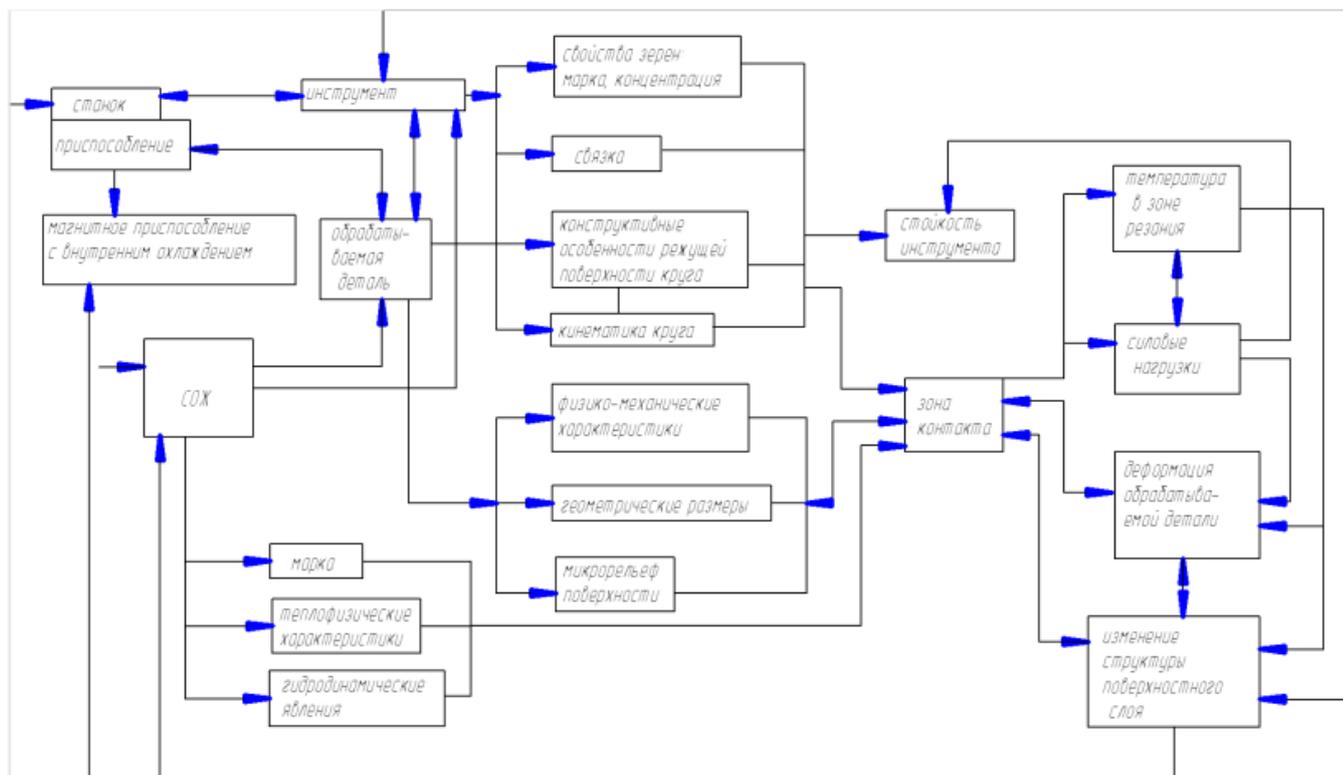


Рисунок 1 - Структурная схема процесса плоского шлифования торцом круга с подсистемами

При выполнении структурного анализа процесса шлифования необходимо детальное описание свойств подсистем, связей между ними, законов функционирования. Свойства подсистем включают: временные, пространственные, пространственно-временные, физико-механические и химические характеристики. Входные и выходные переменные отражают связи системы и образуют структуру. Переход входных переменных к выходным осуществляется через параметры состояния подсистем, представленные в таблице 1.

Таблица 1 - Основные входные переменные, параметры состояния и выходные переменные подсистем операции торцового шлифования

Подсистема	Входные переменные, начальные условия	Параметры состояния	Выходные переменные
Станок, приспособление	1. Технические данные станка, приспособления. 2. Исходные положения деталей станка. 3. Начальная температура узлов станка. 4. Параметры настройки станка. 5. Силы закрепления заго-	1. Текущие технические данные станка, приспособления. 2. Текущие характеристики пространственного положения узлов станка и детали. 3. Режимы резания. 4. Составляющие силы	1. Пространственное расположение исполнительных механизмов. 2. Скорость истечения СОЖ. 3. Тепловой поток в окружающую среду, деталь, инструмент. 4. Составляющие силы

Подсистема	Входные переменные, начальные условия	Параметры состояния	Выходные переменные
	товки. 6. Тепловой поток от заготовки и инструмента. 7. СОЖ.	резания в системе станок - приспособление. 5. Текущая температура узлов станка и детали.	резания 5. Износ узлов и деталей станка. 6. Расход электроэнергии. 7. Неизотермичность установочной поверхности детали.
Обрабатываемая деталь	1. Начальное пространственное положение узлов станка. 2. Начальные геометрические параметры, физико-механические и химические свойства обрабатываемого материала. 3. Начальная температура в зоне контакта. 4. Сила закрепления на приспособлении 5. Режимы шлифования 6. Начальные параметры шероховатости, отклонений от плоскости и прямолинейности.	1. Координаты положения относительно системы. 2. Текущие геометрические параметры, физико-механические и химические свойства поверхности обрабатываемого материала. 3. Текущая температура в зоне контакта. 4. Скорость движения заготовки.	1. Координаты положения инструмента. 2. Скорость круга, скорость детали, глубина шлифования. 3. Размеры, форма, число, распределение единичных рисок зерна круга. 4. Состояние поверхностного слоя. 4. Составляющие силы резания. 5. Тепловой поток в зоне контакта. 6. Температурные погрешности массивных, тонких и клиновидных пластин из труднообрабатываемых сталей 7. Параметры шероховатости, отклонений от плоскости и прямолинейности. 8. Допускаемые погрешности детали
СОЖ	1. Начальный состав и свойства СОЖ. 2. Начальная температура СОЖ. 3. Изменение химического состава СОЖ. 4. Составляющие силы резания от инструмента и заготовки. 5. Тепловой поток от инструмента, заготовки, станка.	1. Текущие характеристики состава и свойства СОЖ. 2. Текущая температура СОЖ. 3. Гидродинамические параметры потока СОЖ. 4. Степень загрязненности СОЖ. 5. Скорость потока.	1. Охлаждающее, смазывающее и химическое действие СОЖ на заготовку и на инструмент. 2. Составляющие силы резания. 3. Тепловой поток в зоне контакта. 4. Расход СОЖ. 5. Влияние СОЖ на процессы зоны контакта. 6. Коэффициент теплообмена.
Зона контакта	1. Пространственное расположение инструмента, заготовки. 2. Размеры, форма, характеристики зерна, связки, прерывистого режущего слоя инструмента. 3. Скорость круга, ско-	1. Форма и размеры зоны контакта 2. Параметры процесса стружкообразования. Размеры и форма срезков. 3. Реакция на зерно, связку, обрабатываемый материал, СОЖ.	1. Составляющие силы резания 2. Тепловой поток в инструмент, заготовку, стружку, СОЖ. 3. Удельный расход абразивного слоя инструмента. Износостойкость кру-

Подсистема	Входные переменные, начальные условия	Параметры состояния	Выходные переменные
	рость детали, глубина шлифования. 4. Составляющие силы резания. 5. Размеры, форма, свойства обрабатываемой поверхности. 6. Охлаждающее, смазывающее и химическое действие СОЖ.	4. Текущие скорости круга, детали, глубина шлифования 5. Параметры процессов пластических, упругих, температурных деформаций 6. Температура в зоне контакта. 7. Состояние абразивного слоя круга. Вероятность вырывания и разрушения зерна.	га. 4. Скорость съема материала, толщина срезаемого слоя. 5. Параметры качества, физико-механических свойств обрабатываемого материала. 6. Изменение свойств СОЖ. 7. Производительность процесса.

Процесс шлифования торцом круга деталей включает элементы абразивный слой шлифовального круга – обрабатываемую поверхность детали – рабочую среду (СОЖ) – температурно-силовые условия. Системный анализ предполагает разделение параметров подсистем между элементами системы на внутренние (между переменными) и внешние – например, связи между свойствами шлифовального круга и параметрами процесса шлифования. Связи между подсистемами станок – приспособление – инструмент – деталь – температурно-силовые условия целесообразно разделить на прямые и многофакторно взаимосвязанные. Например, прямая связь существует между количеством канавок на режущем слое торцового шлифовального круга для подачи потока СОЖ в зону резания и температурой в зоне контакта или между размерами канавок на рабочей поверхности шлифовального круга и производительностью процесса. В первом случае связь формализуется уравнениями теплопередачи, а во втором – рекомендациями по проектированию шлифовального круга, основанными на расчетах и на экспериментальных данных. Многофакторные связи в системе предполагают взаимное влияние двух или более элементов друг на друга. Например, концентрация алмазных зерен шлифовального круга лимитирует силы резания, которые определяют температуру в зоне резания и качество получаемой обрабатываемой поверхности. Изменение температуры, в свою очередь, влияет на физико-механическое состояние и качество поверхностного слоя обрабатываемой детали, и режимы шлифования, и на работоспособность инструмента.

Для разработки комплексной модели процесса алмазного торцового шлифования, сам процесс шлифования подразделяем на ряд составляющих: геометрические соотношения и связи; термодинамическая, гидродинамическая составляющие; динамические процессы; силовые составляющие. Каждая составляющая формализуется в виде математической модели – набора функциональных зависимостей от переменных параметров самого процесса резания.

Геометрические соотношения – зависимость геометрических размеров режущего слоя шлифовального круга, абразивных зерен от скоростей и глубин резания, формирующая возможность шлифовать с максимальной производительностью.

Термодинамическая составляющая определяет функциональную зависимость температуры в зоне резания от скоростей круга и детали, глубины шлифования, составляющих силы резания и свойств обрабатываемого материала, обеспечивает требования по геометрической точности и физико-механическому состоянию поверхностно слоя.

Гидродинамическая составляющая устанавливает характер движения потока СОЖ в зоне резания, функциональную зависимость коэффициента теплообмена от скорости потока, температуры, изотермичности или неизотермичности установочной поверхности детали, обеспечивающая охлаждение зоны контакта обрабатываемой поверхности и шлифовального круга, и очистку круга от шлама.

Динамическая составляющая – процесс деформации срезаемого слоя, абразивного зерна, связки в зависимости от глубины, скоростей круга и детали, и составляющих силы резания с обеспечением стойкости инструмента, максимальной производительности и минимальной шероховатости. *Силовая составляющая* – изменение силы шлифования во времени в зависимости от скоростей круга и детали, глубины резания, свойств обрабатываемого материала, характеристик абразивного инструмента, обеспечивающая процесс шлифования с максимальной производительностью, стойкостью инструмента, минимальной геометрической погрешностью. На базе каждой математической модели строится и решается задача многокритериальной оптимизации.

Каждая подсистема характеризуется входными ($x_1, x_2 \dots x_n$) и выходными ($y_1, y_2 \dots y_n$) параметрами (см. табл. 1). Целевая функция зависит абсолютно от всех параметров. Но часть из них может быть в виде независимых переменных – x_1, x_2, \dots, x_n , часть параметров задается в виде постоянных значений (конструкторско-технологические константы) $a_1, a_2 \dots a_m$, некоторые из них формализуют вектор критериев оптимальности $K = \{K_1, K_2, \dots, K_k\}$. В качестве критериев оптимальности на практике принимается: производительность обработки, качество обработанной поверхности, износостойкость инструмента, стоимость инструмента, себестоимость продукции. Критерий – это показатель, который оценивает эффективность решений достижения цели, т.е. позволяет выбрать среди них наилучшее.

Показатели системы можно выразить в виде:

$$\left. \begin{aligned} y_1 &= \max \{f_1(x_2, x_3, \dots, x_n; a_1, a_2, \dots, a_m; K_1, K_2, \dots, K_k)\} \\ y_2 &= \max \{f_2(x_1, x_3, \dots, x_n; a_1, a_2, \dots, a_m; K_1, K_2, \dots, K_k)\} \\ &\dots\dots\dots \dots\dots\dots \dots\dots\dots \dots\dots\dots \dots\dots\dots \dots\dots\dots \dots\dots\dots \\ y_n &= \max \{f_n(x_1, x_2, \dots; a_1, a_2, \dots, a_m; K_1, K_2, \dots, K_k)\} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

при $x \in D$, где D – множество допустимых решений.

Векторная функция $f(x)$ отображает допустимое множество D на множество достижимости $G = \{Y \in E^m | Y = F(x), x \in D\}$.

На основании рассмотренных связей задача оптимизации технологического процесса торцового шлифования может быть сформулирована следующим образом: зная начальное y_0 и конечное y_n состояния, выбрать допустимое управление $x \in D$, которое будет экстре-

мальным значением. Для этого решения в явном виде необходимо выразить соотношения (1) в виде зависимостей параметров от технологических факторов, определяющих процесс шлифования торцом круга и подачей СОЖ в зону резания.

Одним из важнейших критериев при установлении оптимального режима обработки является температура шлифования, которая во избежание появления дефектов на поверхности детали не должна превышать критических значений температур $T_{кр}^{\circ}$. По температурному критерию можно выбирать режимы максимальной производительности бездефектного торцового шлифования. Определение $T_{кр}^{\circ}$ требует сложных экспериментов, поэтому для установления режимов максимальной производительности бездефектного шлифования можно применять и другие критерии: критическую удельную мощность $N_{уд.кр}$, косвенно отражающую допустимую тепловую напряженность процесса шлифования; структуру шлифованной поверхности, отражающую наличие или отсутствие дефектного слоя, которая определяется после большого числа опытов; расход алмазосодержащего слоя круга.

Оптимальные режимы не должны превосходить режима бездефектного шлифования. Поэтому перед определением производительности при оптимальных режимах $Q_{опт}$ ($\text{мм}^3/\text{мин}$) необходимо установить производительность бездефектного шлифования $Q_{б.д.}$ ($\text{мм}^3/\text{мин}$), сравнить эти показатели и затем назначить режимы обработки.

Для определения оптимальных режимов устанавливается зависимость температуры шлифованной поверхности $T_{дет}^{\circ}$, удельной мощности от режимов $N_{уд}$, интенсивности съема Q , параметра шероховатости поверхности R_a от условий торцового шлифования:

$$\begin{aligned} T_{дет}^{\circ} &= f(v_{кр}, v_{д}, R, t, a, b, l, \Phi_{мат}, \Phi_{СОЖ}, \psi_1, \psi_2, \psi_3, K_n, K_k) \leq T_{кр} \\ N_{уд} &= f(v_{кр}, v_{д}, t, b, K_n, K_k, K_m, K_0) \leq N_{уд.кр} \\ Q &= f(v_{кр}, v_{д}, t, b, K_n, K_k, K_m, K_0) \rightarrow \max \\ R_a &= f(v_{кр}, v_{д}, t, K_n, K_k, K_m, K_0) \rightarrow \min \end{aligned} \quad (2)$$

где R – радиус торцевой поверхности шлифовального круга,

l – длина зоны контакта,

a – выступание зерна над связкой;

$\Phi_{мат}, \Phi_{СОЖ}$ – физические свойства материала детали и СОЖ;

ψ_1, ψ_2, ψ_3 – доля поглощения выделенного при шлифовании тепла стружкой, кругом, СОЖ,

b – ширина шлифуемой поверхности,

K_n, K_m, K_k, K_0 – коэффициенты, отражающие, соответственно, влияние площади контакта, обрабатываемого материала, характеристики круга, охлаждения.

При определении максимальной производительности $Q_{б.д.}$ исходят из условия бездефектного шлифования

$$T_{дет}^{\circ} \leq T_{кр}^{\circ} \quad (3)$$

Критические температуры нагрева поверхностного слоя деталей зависят от свойств обрабатываемых материалов.

Зависимость $T^{\circ}_{дет}$ поверхностного слоя от режимов и условий шлифования после одного прохода круга составит [2]

$$T^{\circ}_{дет} = C_T v_{сп}^{\alpha} v_{д}^{\beta} t^{\gamma} a^{\delta} b^{\kappa} K_n K_o K_m K_{\kappa}$$

или

$$T^{\circ}_{дет} = \frac{q}{2\pi\lambda} \exp\left(-\frac{v_{д}z}{2a}\right) K_0 \left[\frac{v_{д}(x^2 + z^2)^{1/2}}{2a} \right] \times \left\{ 1 + \frac{\sum_{n=-\infty}^{n=\infty} K_0 \left\{ \frac{v_{д}[(x-2dn)^2 + z^2]^{1/2}}{2a} \right\}}{K_0 \left[\frac{v_{д}(x^2 + z^2)^{1/2}}{2a} \right]} \right\} \quad (4)$$

где q – интенсивность теплового потока,

z, x – координаты перемещения детали,

a, λ – коэффициенты температуропроводности и теплопроводности обрабатываемого материала,

d – толщина обрабатываемой детали,

K_0 – функция Бесселя.

Зная $T^{\circ}_{кр}$ и зависимость $T^{\circ}_{дет}$ от режимов и условий шлифования, по температурному критерию определяют режимы максимальной производительности. Для определения максимальной производительности преобразуем выражение (4) через Q в выражение, из которого находим

$$T^{\circ}_{кр} = C_T \frac{v_{сп}^m}{Q_{б,д}^n} \quad (5)$$

где C_T – обобщенный коэффициент, учитывающий влияние $K_n, K_m, K_{\kappa}, K_o$ на критическую температуру шлифования пластин.

По найденному значению $Q_{б,д}$ и известной ширине шлифуемой поверхности b определяют произведение параметров режима максимальной производительности бездефектного торцового шлифования деталей

$$t \cdot v_{д} = \frac{Q_{б,д}}{10^3 b} \quad (6)$$

Для выбора оптимальных режимов необходимо учитывать себестоимость операции C в зависимости от

- затрат на инструмент Z_{κ}

$$C = C_m t_{маш} + Z_{\kappa},$$

где $t_{маш}$ – машинное время;

- удельного расхода алмазов q , срезанного за операцию объема металла W и интенсивности съема Q :

$$C = \frac{C_m W}{Q} + q \frac{C_k W}{180},$$

где $q = f(v_{кр}, v_{\delta}, t, K_n, K_k, K_m, K_0)$ или $q_{ал} = 0,63 \cdot v_{\delta}^{0,16} \cdot t^{0,04} \cdot v_{кр}^{0,44}$

- стойкости шлифовального инструмента T

$$C = \frac{C_m W}{Q} + \frac{C_k U W}{Q T}$$

где C_m – стоимость станкоочаса,

C_k – стоимость одного карата алмазов,

U – период работы.

Для нахождения оптимального значения производительности и режима шлифования по температурному критерию берем производную dC/dQ функции себестоимости операции C и из него определяем Q_{opt} .

Режим оптимальной производительности выбирается в том случае, когда он исключает дефекты на обрабатываемой поверхности, т.е. $Q_{opt} < Q_{б.д.}$. В случае когда $Q_{opt} > Q_{б.д.}$, принимаем режим максимальной производительности бездефектного шлифования.

Определив оптимальную производительность Q_{opt} и зная ширину шлифуемой поверхности b , находят произведение глубины и скорости детали по выражению (6) и, зная Q_{opt} и $T_{кр}$, по выражению (5), можно установить скорость круга $v_{кр}$ для оптимальных условий шлифования.

Аналогично определяются режимы шлифования по критическому значению удельной мощности $N_{уд.кр}$, гарантирующей отсутствие дефектов на обработанной поверхности и максимальную производительность бездефектного шлифования $Q_{б.д.}$

$$(tv_{\delta})^{\beta} = \frac{N_{уд.кр} F_k}{C_N b^{\gamma} K_k^n K_m^m K_B^z} \text{ или } t \cdot v_{\delta} = \sqrt[\beta]{\frac{N_{уд.кр} b}{C_N K_k^{\alpha} K_F^{\beta} K_M^{\delta}}}$$

Оптимальное значение производительности Q_{opt} будет

$$Q_{opt} = \frac{C_m}{C_q C_k K_k^q K_m^q} \text{ или } Q_{opt} = \left(\frac{A}{K_k^q K_m^q} \right)^{\frac{1}{x+1}} \quad (7)$$

где A – коэффициент, учитывающий удельный расход алмазов.

$K_k^q K_m^q$ – коэффициенты, отражающие влияние характеристики круга и марки обрабатываемого материала на расход алмазов.

По найденному Q_{opt} и выражению (6) находим произведение параметров оптимального режима $t \cdot v_{\delta}$ при скорости круга, выбранной из минимального удельного расхода алмазов. Эти оптимальные режимы шлифования применяем при $Q_{opt} < Q_{б.д.}$

Эмпирическая зависимость параметра шероховатости поверхности от технологических факторов будет

$$R_a = C_{Ra} K_{\alpha} K_k K_o K_{выл} \frac{Q^m}{v_{сп}^n}$$

или

$$R_a = \frac{C_t C_s C_v C_{HB} t^a v_d^6}{v_{\text{жс}}^{2c} HB^k}, \quad (8)$$

где C_{Ra} - общий поправочный коэффициент, учитывающий условия работы,

$K_{св}$, K_k , K_o – коэффициенты, характеризующие влияние связки, зернистости, охлаждения, концентрации.

Зная требуемую шероховатость, получим

$$Q_{onm} = \left(\frac{R_a}{K_{Ra}} \right)^{\frac{1}{n}} v_{kp}^{\frac{m}{n}} \quad (9)$$

Откуда можно определить скорость круга $v_{kp} = Q_{onm} \left(\frac{K_{Ra}}{R_a} \right)^{\gamma}$

Параметры $t \cdot v_d$ определяем по выражению (6).

Анализ полученных зависимостей показывает, что максимальная производительность $Q_{б.д}$ зависит от характеристики кругов, марки обрабатываемого материала, площади контакта, условий шлифования. Оптимальная производительность Q_{onm} зависит от стоимости алмазов, удельного расхода алмазов в круге. Режим оптимальной производительности выбирается в том случае, когда он исключает дефекты на обрабатываемой поверхности, т.е. $Q_{onm} < Q_{б.д}$. В случае когда $Q_{onm} > Q_{б.д}$, принимается режим максимальной производительности бездефектного шлифования.

Кроме того, в процессе шлифования необходимо обеспечить требуемое качество не только по шероховатости, но и по точности. Оценивают это свойство показателем:

$$y_d = \frac{P_y}{a_{ст} \cdot I \cdot \delta} \rightarrow \min \quad (10)$$

где P_y – радиальная составляющая силы резания.

Например, при шлифовании торцом круга экспериментальная зависимость будет [2]

$$P_y = 3750 v_d^{0,20} \cdot t^{0,16} \cdot v_{kp}^{-0,53} \cdot k^{-0,13},$$

$a_{ст}$ – доля допуска на возможные погрешности, связанные с прогибом детали и отжимом инструмента

I – жесткость системы СПИД;

δ – допуск на обработку детали.

Плоское шлифование поверхностей сопровождается возникновением остаточных напряжений, которые являются результатом совместного действия пластических деформаций, силовых нагрузок и интенсивности теплового потока. На величину остаточных напряжений и влияют режимы шлифования. Оценку остаточных напряжений производят с помощью показателя

$$y_n = \frac{|\sigma_{пред}|}{[\sigma]} = \frac{\sigma \cdot K_t}{[\sigma]} \quad (11)$$

где $|\sigma_{\text{пред}}|$ – абсолютное максимальное предельное напряжение, возникающее на обрабатываемой поверхности;

σ – напряжение, вызванное воздействием теплового фактора;

K_i – поправочный коэффициент, оценивающий влияние режимов шлифования, определяется экспериментально;

$[\sigma]$ – допускаемое напряжение для материала детали.

Перечисленные критерии требуют формализации в виде зависимости от переменных параметров процесса шлифования. Появляется возможность выбора компромисса критериев оптимальности между собой, и тем самым, обеспечивается получение множества приемлемых решений, из которых можно выбрать наилучшее.

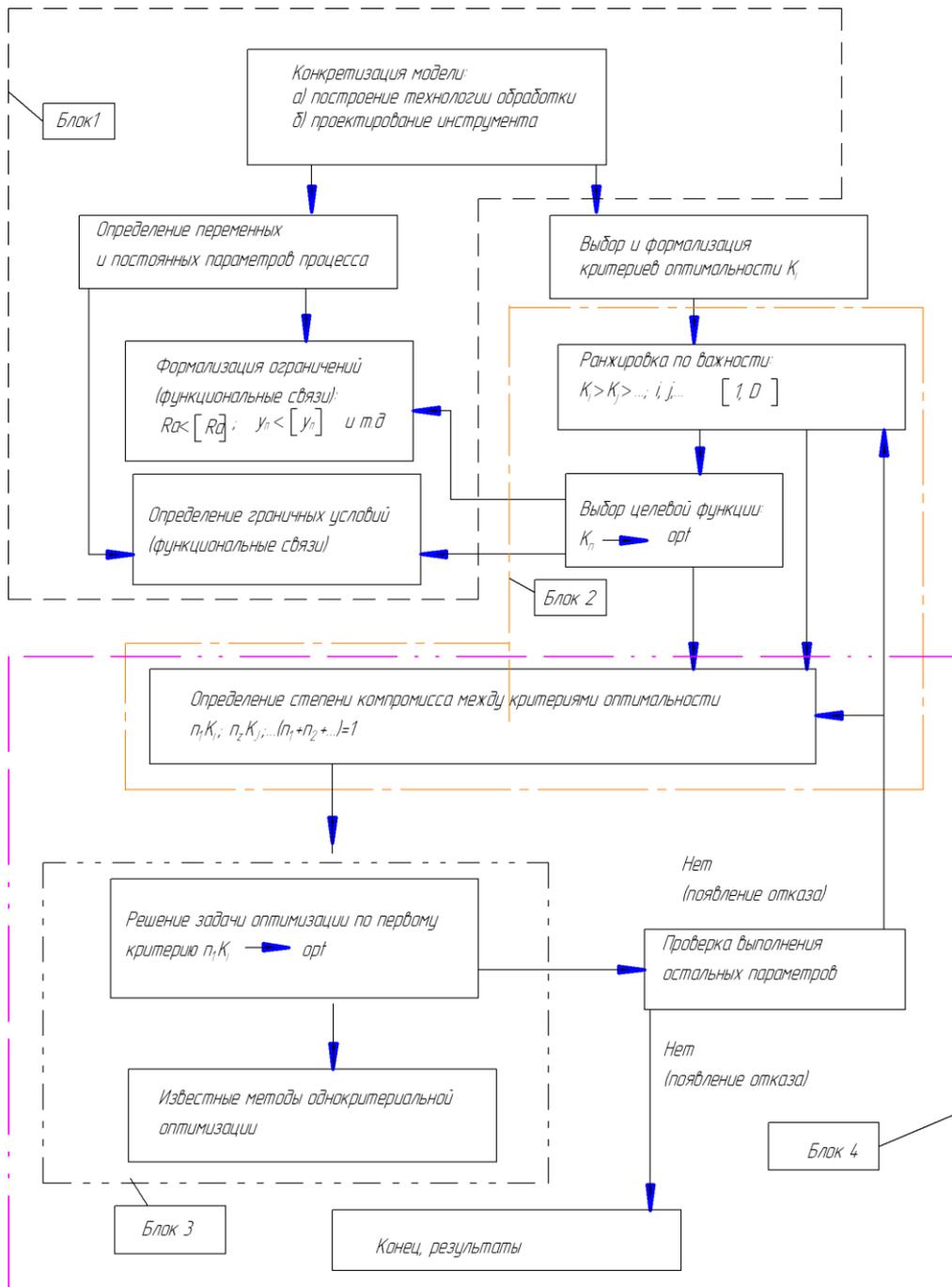


Рисунок 2 - Блок – схема построения обобщенной модели процесса шлифования

На рисунке 2 представлена блок – схема построения обобщенной модели процесса шлифования.

Блок 1 включает определение модели процесса, формализацию ограничений, граничных условий и выбор постоянных параметров проектирования. Результатом является конкретизация целевой функции.

Блок 2 представляет лексикографический подход многокритериальной оптимизации и содержит ранжировку критериев по важности и степень компромисса между ними.

Блок 3 посвящен применению известных методов однокритериальной оптимизации (целенаправленный перебор, градиентные методы, барьерные функции) для решения задачи либо по каждому критерию, либо по самому важному.

Блок 4 посвящен проверке выполнения требований остальных критериев оптимальности с учетом степени их компромисса (взаимных уступок). В этом случае применяется метод последовательных приближений – выбирается наилучший вариант компромисса критериев с обеспечением реальности процесса.

Результат решения этой оптимизационной задачи – определение параметров технологии шлифования конкретного материала инструментом с определенными характеристиками при удовлетворении следующих критериев оптимальности: определение максимальной или оптимальной производительности шлифования деталей по температурному критерию, шероховатости поверхностей и экономичности процесса.

Заключение

Таким образом, в результате выполненных исследований:

1. Разработан процесс плоского шлифования как технической системы, которая отражает совокупность функциональных связей между элементами абразивный слой шлифовального круга – обрабатываемую поверхность детали – рабочую среду (СОЖ) – температурно-силовые условия.

2. Разработана система показателей технической системы процесса шлифования, которая позволяет оценить проявление каждого параметра в отдельности. Показатели представлены в безразмерном виде, это дает возможность оценить отношение интенсивности проявления текущих свойств к максимально возможному. Совокупность показателей позволяет осуществить оптимизацию всей системы.

3. Подтверждено, что наибольшее влияние на состояние технической системы процесса шлифования оказывает температурный режим в зоне контакта шлифовальный круг – обрабатываемая поверхность.

4. Режим оптимальной производительности выбирается при условии $Q_{onm} < Q_{б.д.}$, а при $Q_{onm} > Q_{б.д.}$ принимаем режим максимальной производительности бездефектного шлифования.

Материалы статьи используются при выполнении государственного заказа (рег. № 7.8525.2013) Министерства образования и науки РФ (2013 - 2015 г.г.)

Список литературы

1. Шаврин О.И., Репко А.В. Многокритериальный подход в технологии шлифования титановых сплавов. Екатеринбург: Изд-во Института экономики УрО РАН, 2007. 199 с.
2. Долганова А.М., Иванова Т.Н. Современная оснастка в технологии алмазного торцового шлифования плоских поверхностей: монография. Екатеринбург - Ижевск: Изд-во Института экономики УрО РАН, 2007. 364 с.

System Analysis of Flat Grinding Process with Wheel Face

08, August 2014

T.N. Ivanova^{1,a}

¹Tchaikovsky branch "Perm National Research Polytechnic University", Tchaikovsky, Perm region, 617760, Russian Federation

^atatnic2013@yandex.ru

Keywords: [grinding](#), [the end of the circle](#), [flat parts](#), [temperature of the ground surface](#), [removal rate](#), [surface roughness](#)

The paper presents a conducted system analysis of the flat grinding wheel face, considers the state parameters, input and output variables of subsystems, namely: machine tool, workpiece, grinding wheel, cutting fluids, and the contact area. It reveals the factors influencing the temperature and power conditions for the grinding process.

Aim: conducting the system analysis of the flat grinding process with wheel face expects to enable a development of the system of grinding process parameters as a technical system, which will make it possible to evaluate each parameter individually and implement optimization of the entire system.

One of the most important criteria in defining the optimal process conditions is the grinding temperature, which, to avoid defects appearance of on the surface of component, should not exceed the critical temperature values to be experimentally determined. The temperature criterion can be useful for choosing the conditions for the maximum defect-free performance of the mechanical face grinding. To define the maximum performance of defect-free grinding can also use other criteria such as a critical power density, indirectly reflecting the allowable thermal stress grinding process; the structure of the ground surface, which reflects the presence or absence of a defect layer, which is determined after the large number of experiments; flow range of the diamond layer.

Optimal conditions should not exceed those of defect-free grinding. It is found that a maximum performance depends on the characteristics of circles and grade of processed material, as well as on the contact area and grinding conditions. Optimal performance depends on the diamond value (cost) and specific consumption of diamonds in a circle.

Above criteria require formalization as a function of the variable parameters of the grinding process. There is an option for the compromise of inter-criteria optimality, thereby providing a set of acceptable solutions, from which one can choose the best.

A block – diagram for constructing a generalized model of the grinding process is presented.

References

1. Shavrin O.I., Repko A.V. *Mnogokriterial'nyi podkhod v tekhnologii shlifovaniia titanovykh splavov* [Multi-criteria approach in grinding technology of titanium alloys]. Ekaterinburg, Institute of Economics, the Ural Branch of Russian Academy of Sciences Publ., 2007. 199 p. (in Russian).
2. Dolganova A.M., Ivanova T.N. *Sovremennaiia osnastka v tekhnologii almaznogo tortsovogo shlifovaniia ploskikh poverkhnostei* [Modern snap in technology of diamond face grinding of flat surfaces]. Ekaterinburg – Izhevsk, Institute of Economics, the Ural Branch of Russian Academy of Sciences Publ., 2007. 364 p. (in Russian).