

## Исследование системы управления процессом обработки длинномерных нежестких заготовок на устройстве ротационного ленточного охватывающего шлифования

# 02, февраль 2011

автор: Шиляев С. А.

Кафедра «Автомобили и металлообрабатывающее оборудование»

ГОУ ВПО «ИжГТУ»

shiljaev@mail.ru

Одним из современных высокопроизводительных способов удаления дефектного слоя с длинномерных нежестких заготовок – мелкогабаритного проката, труб, катанки, проволоки является способ ротационного ленточного охватывающего шлифования бесконечной лентой [1, 2]. Эффективное использование предлагаемого способа предопределяет установление и оптимизацию взаимосвязей между параметрами его сопровождающими и характеризующими.

Традиционная система управления процессом обработки объединяет первичные параметры и вторичные параметры (рис. 1).

Первичные параметры характеризуют технологическую систему: станок – приспособление – инструмент – деталь (систему СПИД); вторичные – технологические показатели: точность и качество обработанной поверхности, стойкость и прочность инструмента, производительность и экономичность процесса. Сам процесс обработки включает различные физические явления и процессы его сопровождающие – кинематические, динамические, тепловые, контактные и т.д.

Как правило, регулятором процесса обработки являются режимы резания – скорость, подача, глубина. В совокупности с рациональными конструктивными и геометрическими параметрами режущего инструмента, оптимальные режимы резания обеспечивают наиболее

производительную и экономичную обработку заготовок с заданными точностными и качественными характеристиками обработанной поверхности. Многофакторность процесса обработки, тесная взаимосвязь явлений, его составляющих, свидетельствуют об отсутствии единственного и универсального критерия оптимизации.

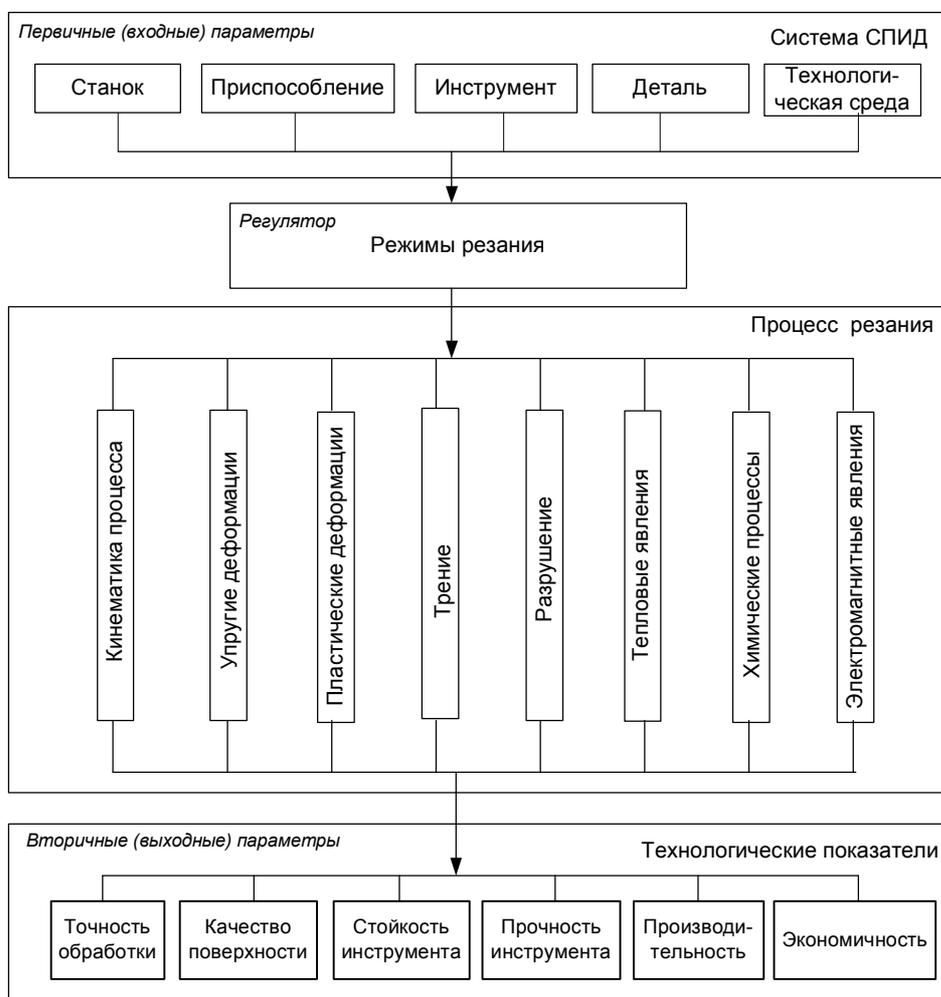


Рис. 1. Традиционная система управления процессом обработки

В предлагаемой системе управления процессом обработки (рис. 2) длинномерных нежестких заготовок с учетом конструктивных особенностей оборудования и его составной части – режущего инструмента, выделяются, в сравнении с традиционной, основные подсистемы – кинематическая, динамическая и теплофизическая, во многом определяющих выходные технологические показатели.

Приведенные подсистемы описываются математическими моделями, позволяющими определять закономерности протекания процесса обработки, выявлять рациональные условия обработки и служить базой для построения системы автоматического регулирования.

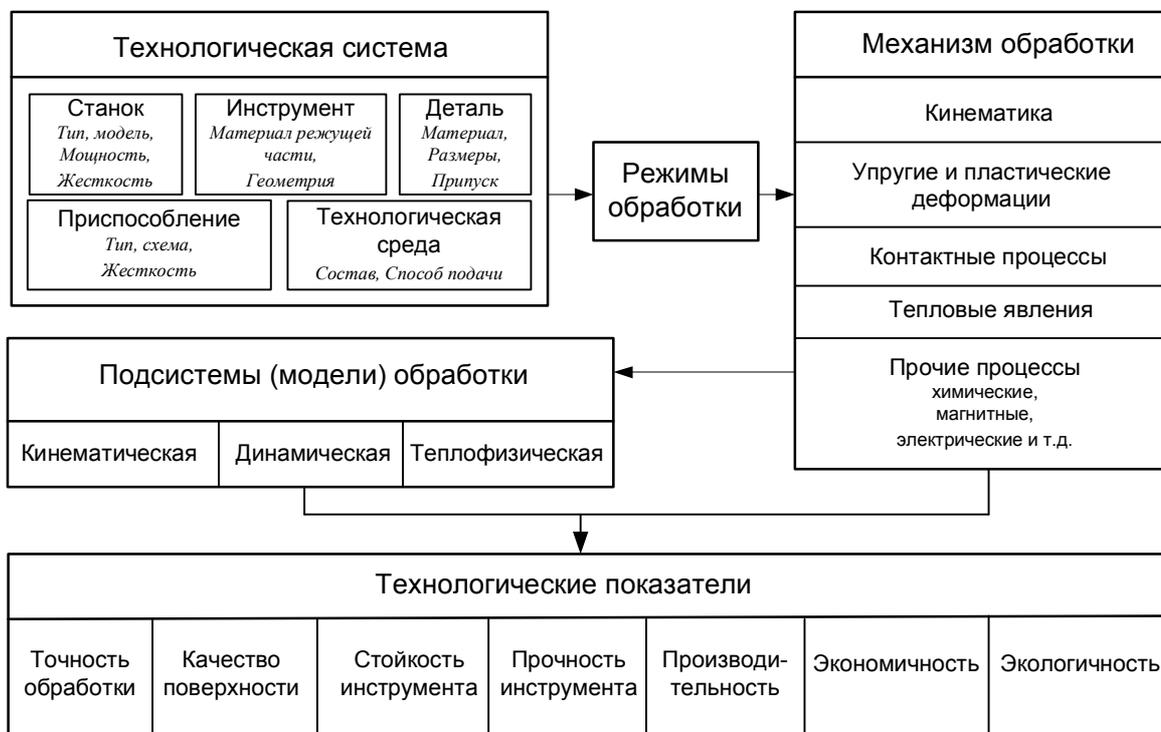


Рис. 2. Структурная схема управления процессом механической обработки длинномерных нежестких заготовок

**Кинематическая подсистема обработки** нежестких тел вращения взаимосвязывает движения заготовки и режущего инструмента без учета физических явлений, сопровождающих процесс обработки.

Способ ротационного ленточного охватывающего шлифования реализуется за счет сочетания движений абразивной ленты со скоростью резания и планетарного движения планшайбы, обеспечивающей круговую подачу, при этом продольная подача обеспечивается за счет перемещения заготовки (рис. 3) [3].

При решении кинематических задач были определены основные геометрические параметры устройства: угол охвата, длина абразивной ленты, площадь контакта ленты с деталью, влияющие как на работоспособность, так и на производительность всего устройства.

Кинематическая подсистема обеспечивает разработку рациональной компоновки установки, реализующей предлагаемый способ обработки.

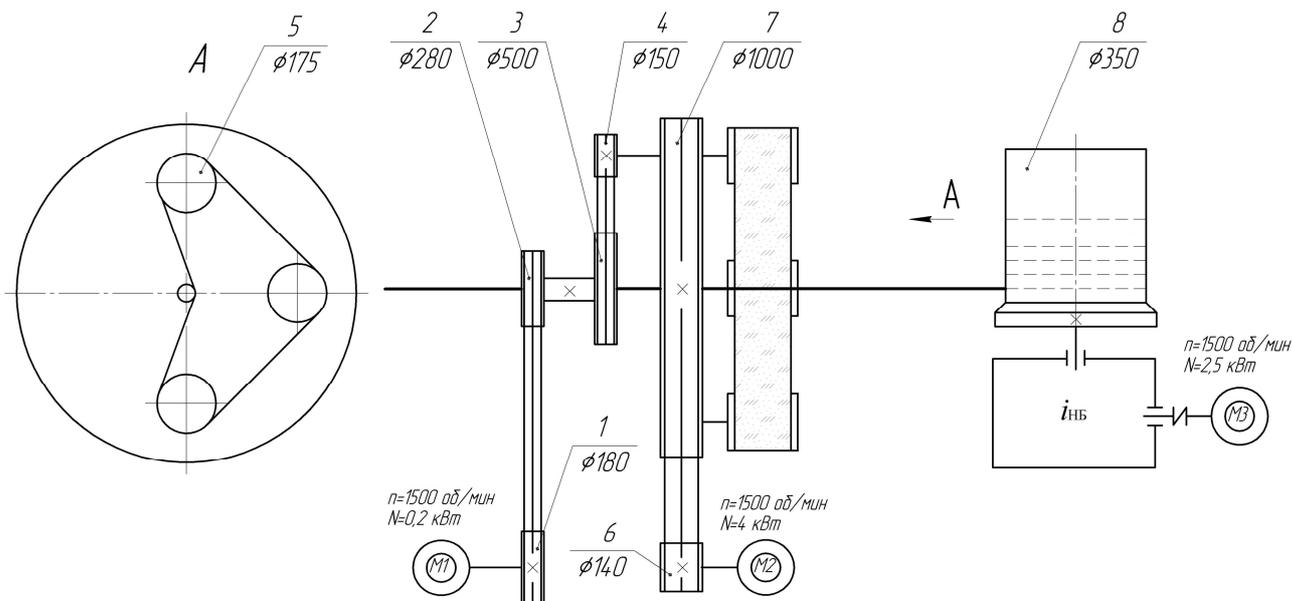


Рис. 3. Кинематическая схема устройства при обработке одной абразивной лентой

**Динамическая подсистема процесса обработки.** Современное понятие динамического качества станка базируется на замкнутости динамической системы, которая определяется взаимодействием элементов упругой системы станок – приспособление – инструмент – деталь с рабочими процессами, протекающими в подвижных соединениях этих элементов, т.е. процессами резания, трения, тепловыми и т.д.

При проектировании, изготовлении и эксплуатации устройства ротационного ленточного охватывающего шлифования одним из важных факторов является обеспечение условий, необходимых для получения детали с минимальными погрешностями размеров и формы. Связанные с этим отклонения возникают как результат различных внешних воздействий на

деформируемую систему устройства.

Динамическая подсистема процесса обработки описывается динамической моделью. При разработке математической модели динамических процессов, происходящих в процессе обработки, использованы уравнения Лагранжа второго рода [4].

В работе [4] представлен вывод аналитических зависимостей на основе уравнений динамики относительного движения абразивной ленты устройства ротационного ленточного охватывающего шлифования, которые позволяют установить критерии и режимы работы устройства, при которых наблюдаемые автоколебания не ухудшают качество поверхности готового изделия.

Для исследования поведения шлифовального слоя ленты с учетом упругих свойств связки (рис. 4) устройства ротационного ленточного охватывающего шлифования была решена система уравнений:

$$\begin{cases} m\ddot{x} + Cx = N, \\ J\ddot{\alpha} + C_{\alpha}\alpha = F_{рез} \cdot h_1 + Nh_2, \end{cases}$$

где  $c$  – коэффициент жесткости материала связки, Н/м;  $C_{\alpha}$  – коэффициент угловой жесткости зерна, Н·м/рад;  $h_1$ ,  $h_2$  – плечи сил, рис.4.

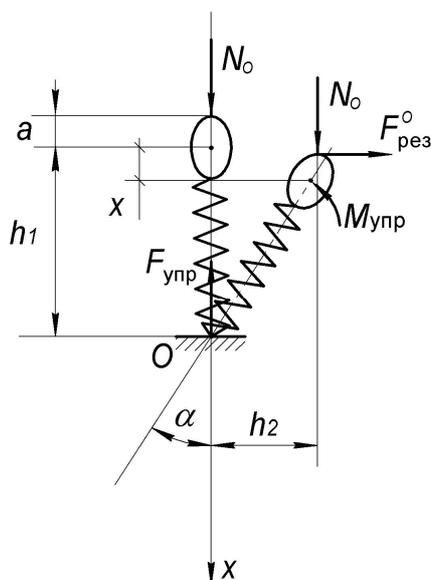


Рис. 4. Схема сил, действующих на абразивное зерно

В результате решения системы уравнений разработанной динамической модели для заданных конструктивных и геометрических параметров инструмента устанавливаются допустимые режимы обработки, обеспечивающие высокую производительность процесса при заданных точности размеров и качестве поверхности деталей. После обработки полученных зависимостей были построены графики линейных и угловых колебаний зерна в зависимости от технологических параметров обработки. Некоторые зависимости приведены на рис. 5.

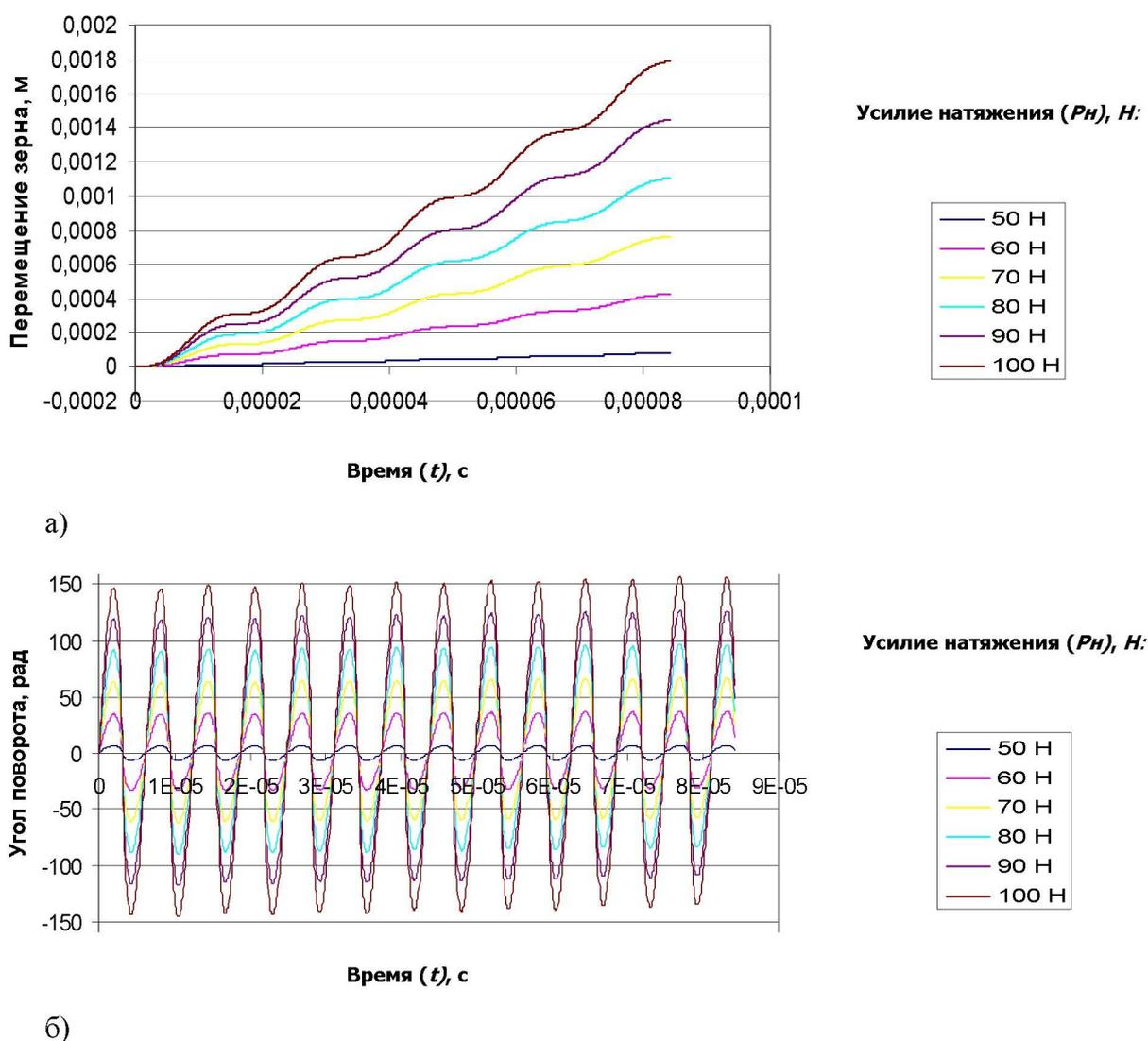


Рис. 5. Графики линейных (а) и угловых (б) колебаний зерна в зависимости от технологических параметров обработки при скорости абразивной ленты 18 м/с и зернистости абразивной ленты 40Н, материал зерен электрокорунд

Решение динамической задачи позволило выявить следующие: установлено, что для обеспечения производительности установки, достаточной для промышленных масштабов, скорость ленты должна быть не менее 17 м/с, что гарантирует до резонансный колебательный режим работы абразивного зерна. Для привода ленты можно рекомендовать скоростной диапазон 17...20 м/с. При увеличении силы  $P_n$  натяжения ленты роликом, при неизменных условиях, увеличивается амплитуда линейных и угловых колебаний зерна, достигая недопустимых значений при силе  $P_n$  больше 90 Н. При больших значениях натяжения происходит выкрашивание зерен, снижается стойкость ленты. Внедрение зерен в обрабатываемый материал проволоки достигает максимального значения, что сказывается на увеличении величины шероховатости. При скоростях менее 15-16 м/с производительность процесса шлифования снижается. Для увеличения производительности процесса шлифования рекомендуется принять следующее сочетание рациональных режимов работы устройства, которые обеспечивают достаточно высокую производительность, сочетающуюся с большой стойкостью ленты:  $V_l = 17-20$  м/с,  $P_n = 50-70$  Н.

**Теплофизическая модель процесса обработки** позволяет определить тепловые потоки в системе инструмент – заготовка, рассчитать тепловые поля в зоне резания.

В процессе ленточного шлифования теплота выделяется в результате трения режущего инструмента (ленты) об обрабатываемую поверхность (проволоку) в зоне их контакта. Зона контакта инструмента и заготовки ограничена шириной ленты и углом охвата лентой обрабатываемой поверхности. В данном случае математическое моделирование процесса ротационного ленточного охватывающего шлифования проволоки требуется для оптимизации условий обработки при ограничении температуры поверхности детали.

Определение величины тепловых потоков с использованием вычислительной техники позволили осуществить расчет и построение тепловых полей методом контрольных объемов (рис. 6).

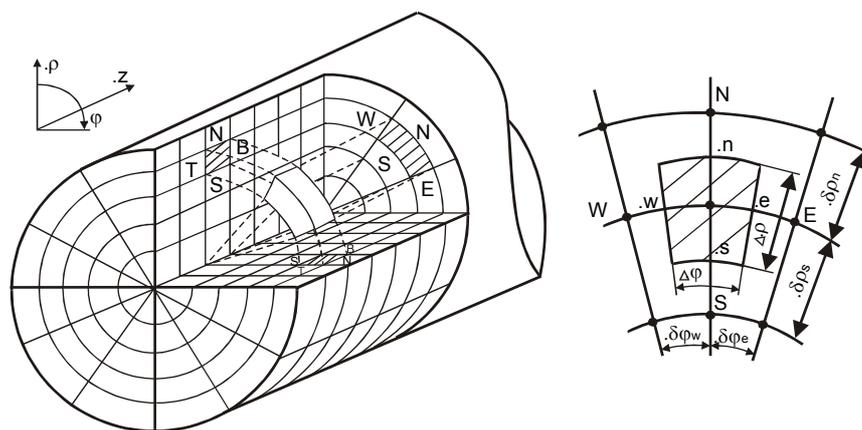


Рис. 6. Сетка и контрольный объем в цилиндрических координатах

Разработанная методика расчета температур обеспечивает определение времени стабилизации температурного режима процесса обработки, и определение значений температуры в обрабатываемой заготовке в зоне резания по угловой и линейной координатам [5].

Дискретный аналог дифференциального уравнения выглядит следующим образом:

$$\begin{aligned}
 T_P = & [T_E^0 \Delta r \Delta z / (r_e \cdot \delta \phi) + T_W^0 \Delta r \Delta z / (r_w \cdot \delta \phi) + T_N^0 r_n \Delta \phi \Delta z / \delta r + T_S^0 r_s \Delta \phi \Delta z / \delta r + \\
 & + T_T^0 \Delta r \cdot r_t \Delta \phi / \delta z + T_B^0 \Delta r \cdot r_b \Delta \phi / \delta z + (c_V / \lambda \cdot \Delta V / \Delta t - \Delta r \Delta z / (r_e \cdot \delta \phi) - \Delta r \Delta z / (r_w \cdot \delta \phi) - \\
 & - r_n \Delta \phi \Delta z / \delta r - r_s \Delta \phi \Delta z / \delta r - \Delta r \cdot r_t \Delta \phi / \delta z - \Delta r \cdot r_b \Delta \phi / \delta z) T^0] / [\Delta r \Delta z / (r_e \cdot \delta \phi) + \\
 & + \Delta r \Delta z / (r_w \cdot \delta \phi) + r_n \Delta \phi \Delta z / \delta r + r_s \Delta \phi \Delta z / \delta r + \Delta r \cdot r_t \Delta \phi / \delta z + \Delta r \cdot r_b \Delta \phi / \delta z + c_V / \lambda \cdot \Delta V / \Delta t] .
 \end{aligned}$$

Расчет и построение графиков (рис. 7) проводились на ПЭВМ типа *IBM PC* по программам, созданным в среде разработки *Turbo Pascal 7.0*. При визуализации данных численного эксперимента использовался аппарат сплайн-функций. Расчет выполнялся на сетке из  $16 \times 10 \times 20 = 3200$  узлов (16 в угловом направлении, 10 – в радиальном, 20 – в осевом) с шагом по времени 0,01 с.

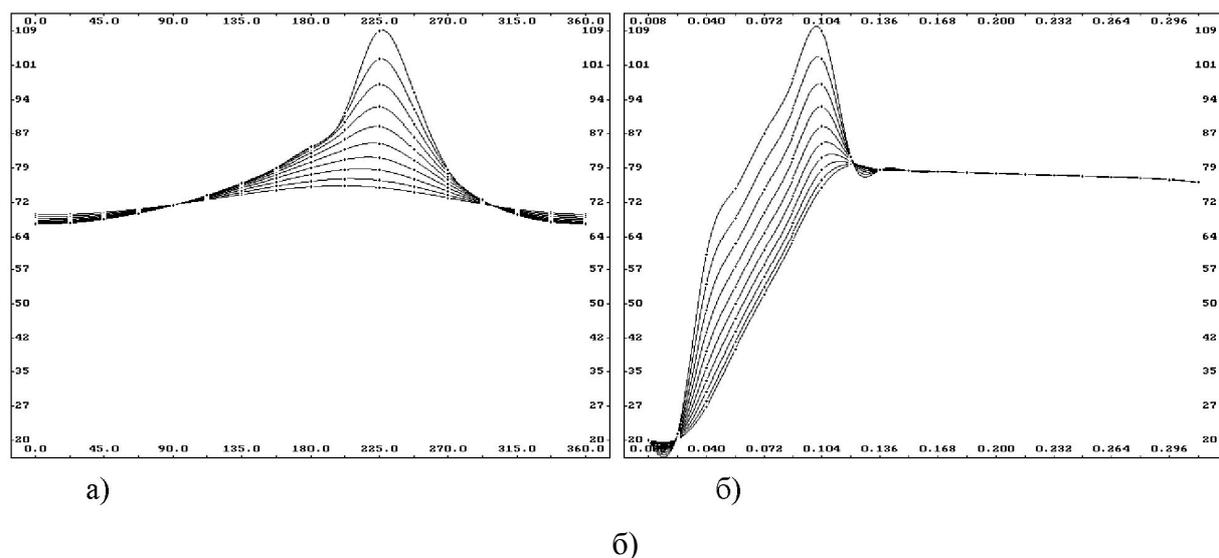


Рис. 7. Результаты расчета температуры в обрабатываемой заготовке в зоне резания;  $d_{пр}=5$  мм,  $V_d=20$  м/с,  $S_{пр}=4$  м/мин,  $\tau = 15$  сек : а) Развертка по угловой координате  $\varphi = 0 \dots 2\pi$ ; б) Развертка по линейной координате  $z = 0 \dots 0,32$  м

Моделирование позволило выявить наличие двух периодов протекания процесса обработки. Первый – начальный – неустановившийся, второй – стационарный (стабильный) – постоянный по времени. Продолжительность начального периода обработки зависит от длины рабочей зоны инструмента и скорости перемещения заготовки. Показано, что одним из основных параметров, влияющих на износ инструмента и качество обработанной поверхности, является скорость движения инструмента. При этом температурный режим процесса стабилизируется через несколько секунд после начала обработки; максимальная температура развивается у заднего по оси  $Z$  края источника, достигая при заданных параметрах модели  $112^\circ C$ ; участок проволоки, находящийся перед передним краем источника, не успевает нагреваться – другими словами, скорость распространения теплоты в осевом направлении ниже скорости движения источника, что подтверждает справедливость использования критерия Пекле, для определения скорости распространения теплоты.

Таким образом, выделение подсистем процесса механической обработки длинномерных нежестких заготовок и их моделирование позволяют предложить рациональные конструктивные, геометрические и кинематические параметры, а также выбрать и обосновать

рациональные технологические режимы обработки на устройстве ротационного ленточного охватывающего шлифования.

В качестве ограничений, обеспечивающих требуемые выходные технологические показатели – наибольшую производительность и наименьшую себестоимость, выбраны предельно допустимая сила резания, предельно допустимая температура резания, предельно допустимая шероховатость обработанной поверхности, предельно допустимые сочетания скорости вращения инструмента и перемещения заготовки.

Разработанная система управления позволяет эффективно использовать способ ротационного ленточного охватывающего шлифования и предлагаемое устройство для обработки длинномерных материалов в промышленности.

### **Список литературы**

1. Ленточно-шлифовальный станок: Патент на изобретение №2228831 РФ / С.А.Шиляев, Ф.Ю.Свитковский, Т.Н.Иванова. Заявл.25.07.02, опубл. 20.05.04. Бюл.№14.
2. Шиляев С.А. Автоматическая линия для ротационного охватывающего ленточного шлифования длинномерных заготовок малого диаметра // Вестник машиностроения. М.: ООО «Издательство Машиностроение», 2009 . №4. С. 71-74.
3. Шиляев С.А. Основные закономерности формообразования при обработке бунтовой проволоки // Современные технологии в машиностроении: Сб. статей VIII Всерос. науч. - техн. конф. Пенза, 2004. С. 98-100.
4. Шиляев С.А., Иванов А.Г. Исследование динамики относительного движения абразивной ленты устройства ротационного охватывающего ленточного шлифования // Вестник ИжГТУ. Ижевск: ИжГТУ, 2009. №3 (43). С. 46-50.
5. Шиляев С.А. Исследование тепловых процессов при ротационном охватывающем ленточном шлифовании бунтовой проволоки // СТИН. М.: ООО «СТИН», 2009. №6 С. 32-34.