

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ АВТОМАТИЧЕСКОГО  
УПРАВЛЕНИЯ КОНТАКТНОЙ ТЕМПЕРАТУРОЙ ШЛИФОВАНИЯ**

*Рассмотрены вопросы автоматического управления контактной температурой шлифования в целях стабилизации качественных характеристик наплавленных поверхностей тел вращения при шлифовании. Определены объект управления, управляемая величина, законы управления, разработан алгоритм и блок схема процесса управления.*

*Ключевые слова: температура шлифования, автоматическое управление, алгоритм управления.*

**Введение.** Для повышения ресурса деталей, работающих в тяжелых условиях, необходимо, чтобы рабочие поверхности этих деталей обладали комплексом необходимых свойств. В настоящее время комплекс необходимых свойств получают за счет наплавки качественных сталей и сплавов на рабочие поверхности деталей. Это значительно дешевле, чем изготавливать детали целиком из вышеупомянутых материалов. Однако, в то же время Повышение требований к точности деталей машин, применение новых труднообрабатываемых материалов для наплавки, остро поставили вопрос об эффективной чистовой обработке заготовок, придающей им окончательную точность и необходимый комплекс физико – механических характеристик. Одним из видов такой обработки, и часто единственно возможным, является шлифование.

Формирование физических свойств поверхностного слоя детали при шлифовании в значительной степени зависит от температуры в зоне контакта круга с деталью, что обеспечивает определенный фазово – структурный состав, текстуру этого слоя, напряженное состояние его. Все это оказывает большое влияние на эксплуатационные характеристики детали – на показатели надежности и долговечности.

Температура, возникающая в зоне контакта шлифовального круга с деталью, может иметь максимальные значения, достигающие до 1200 – 1300<sup>0</sup>С, что вызывает шлифовочные дефекты – глубокие изменения фазово – структурного состава поверхностного слоя, что создает благоприятные условия для образования остаточных напряжений и как следствие трещин [1]. Как известно из литературы [2], тепловые шлифовочные дефекты снижают долговечность детали в 3...4 раза. В настоящее время, в связи появлением новых многочисленных сталей и сплавов, которые обрабатываются шлифованием, весьма актуален вопрос создания нормативной базы режимов обработки, которые, наряду с достаточной производительностью, обеспечивают высокое качество поверхностного слоя.

Громадное количество деталей, поверхности которых подвергаются наплавке при изготовлении и при ремонте это тела вращения. Естественно после наплавки, которая обеспечивает точность порядка h9 имеются погрешности геометрической формы деталей, которые укладываются в поля допусков. При наплавке коротких цилиндрических поверхностей таких как шейки коленвалов, распредвалов, шейки валов газовых турбин практически всегда имеется комплексные погрешности геометрической формы – некруглость и нецилиндричность. При обработке, из-за указанных погрешностей, происходят периодические колебания мгновенной глубины резания, что вызывает периодические изменения величины контактной температуры шлифования в результате чего могут возникать тепловые дефекты поверхностного слоя – такие как фазовые и структурные превращения, которые резко снижают работоспособность поверхностного слоя.

Наиболее рациональный выход из положения это автоматическое поддержание контактной температуры шлифования на безопасном уровне. Это может быть выполнено за счет компенсации колебаний глубины резания другими составляющими режимов обработки.

В работе [4]. Рассмотрены вопросы математического моделирование режимов резания при обработке материалов абразивными инструментами, однако эти расчеты мало связаны со спецификой резание металла абразивным зерном и не могут быть использованы для создания модели процесса управления.

**Цель и задачи исследования.** Целью настоящей работы является попытка создание математических моделей процесса автоматического управления контактной температурой шлифования наплавленных поверхностей.

Для достижения этой цели необходимо решить следующие задачи:

## ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ПРИЛАДИ

- выбрать объект управления,
- выбрать управляемую величину,
- выбрать законы управления,
- разработать алгоритм и блок схему процесса управления.

Эта задача может быть выполнена с помощью аналитического анализа процесса теплообразования при шлифовании, рассматривая процесс резания абразивным зерном с его противоречивыми закономерностями. [3, 5] рассматривая изменения глубины шлифования как следствие погрешностей геометрической формы в пределах поля допуска  $h_9$

Действительно, при колебании глубины резания, контактная температура шлифования может быть представлена в виде [5]:

$$T(x') = \frac{1}{2\pi\lambda} \int_{-\frac{1}{2}}^{+\frac{1}{2}} dx \int_{-2}^{+2} dy \left( \frac{c\sqrt{\sqrt{D[t_3 \pm f(x')] - x}}}{R} \exp\left[-\frac{v_o(R-x)}{2a}\right] \right) \quad (1)$$

где  $\theta(x')$  – мгновенной значение контактной температуры,  $t_3$  – установленное значение глубины шлифования,  $x'$  – текущая координата точки теплового поля,  $x$  – граничная величина теплового поля,  $v_o$  – скорость детали относительно заторможенного шлифовального круга м/с,  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности – дж/м·с·град,  $a$  – коэффициент температуропроводности – м<sup>2</sup>/с,  $R$  – радиус шлифовального круга – м.

Для дифференцированных погрешностей геометрической формы функция  $f(x')$  имеет значения

Для конусности

$$f(x') = \frac{hx'}{L}, \quad (2)$$

Для бочкообразности и вогнутости

$$f(x') = h \sin \frac{\pi D}{L} \tau, \quad (3)$$

Для овальности и для биения соответственно

$$f(x') = h \sin 2\pi n \tau \quad (4)$$

$$f(x') = h \sin \pi n \tau \quad (5)$$

Для изогнутости и для волнистости соответственно

$$f(x') = h \sin \frac{\pi v_a}{L} \tau \sin \pi n \tau, \quad (6)$$

$$f(x') = w_z \sin \frac{2\pi}{S} \tau, \quad (7)$$

Для ступенчатого припуска

$$f(x') = \frac{v_a^2 \tau^2}{2R}, \quad (8)$$

где  $h$  – максимальное отклонение погрешности геометрической формы;  $L$  – длина детали;  $n$  – частота вращения детали;  $\tau$  – время, за которое круг переместился в заданную точку;  $w_z$  – высота волны;  $S$  – шаг волны;  $n$  – число оборотов детали в единицу времени;  $\tau$  – текущее время.

Величина контактной температуры шлифования, может быть определена по выражению, которое неоднократно проверено и которое дает удовлетворительную точность при расчетах температуры шлифования: [2]

$$T = \frac{1,12 \cdot \eta \cdot q \cdot \sqrt{\tau}}{F \cdot \varepsilon_{мет}} \left[ e^{\frac{-y^2}{4 \cdot \alpha \cdot \tau}} + y \cdot \Phi \cdot \left[ \frac{y}{2 \cdot \sqrt{\alpha \cdot \tau}} \right] \right] \quad (9)$$

Это выражение может быть преобразовано к следующему виду, если рассматривать температуру только на поверхности при  $y=0$ :

$$T = \frac{1,12 \cdot \eta \cdot P_z \cdot v_{кр} \cdot \sqrt{\sqrt{D \cdot t_m}}}{\sqrt{D \cdot t_m} \cdot S \cdot \varepsilon_{мет}}, \quad (10)$$

## ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ПРИЛАДИ

где  $P_z$  – тангенциальная составляющая силы резания,  $v_{кр}$  – скорость вращения круга,  $D$  – диаметр шлифовального круга,  $S$  – ширина шлифования,  $\varepsilon_{мет}$  – коэффициент тепловой активности металла –  $\text{дж}/\text{м}^2 \cdot \text{с}^{0,5}$ .

Поскольку  $t_m$  определяется по выражению 2, то ясно, что при вращении детали будут иметь место периодические колебания, температуры шлифования. Кроме того, из полученного выражения очевидно, что компенсировать эти колебания возможно только за счет изменения в противофазе скорости круга.

Таким образом имеем:

$$v_{кр} = \frac{T \cdot \sqrt{D \cdot t_m} \cdot S \cdot \varepsilon_{мет}}{1,12 \cdot \eta \cdot P_z \cdot \sqrt{\frac{D \cdot t_m}{v_0}}} \quad (11)$$

Алгоритм и блок – схема расчетов создана на базе алгоритма и блок схемы работы [5] по определению контактной температуры шлифования и представлены на рис. 1.

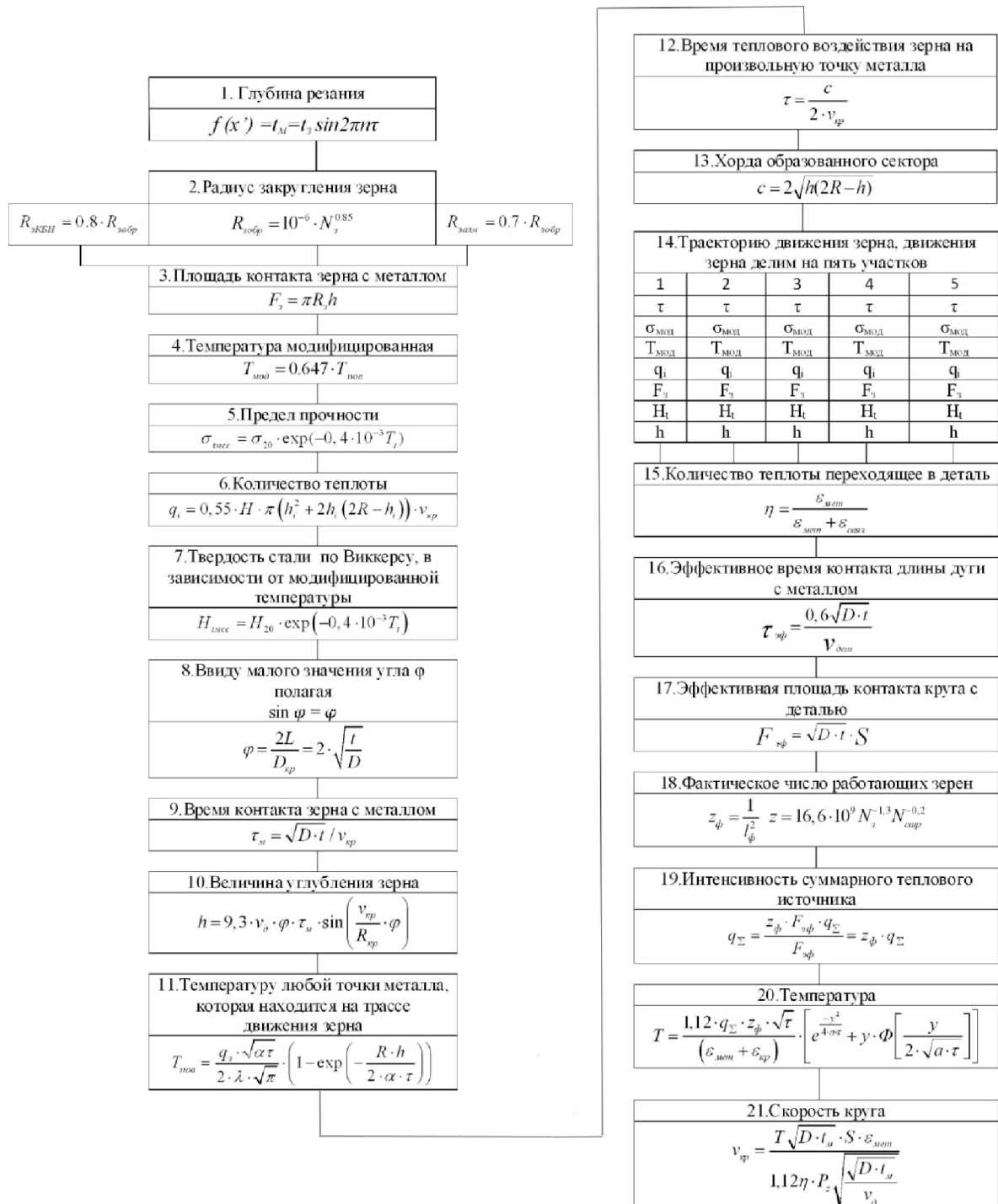


Рис. 1. Алгоритм и блок – схема расчетов по определению контактной температуры шлифования и управляемой величины  $V_{кр}$

## ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ПРИЛАДИ

Изменение глубины резания, контактной температуры и управляемой величины при погрешности формы типа овалности, показано на рис. 2.

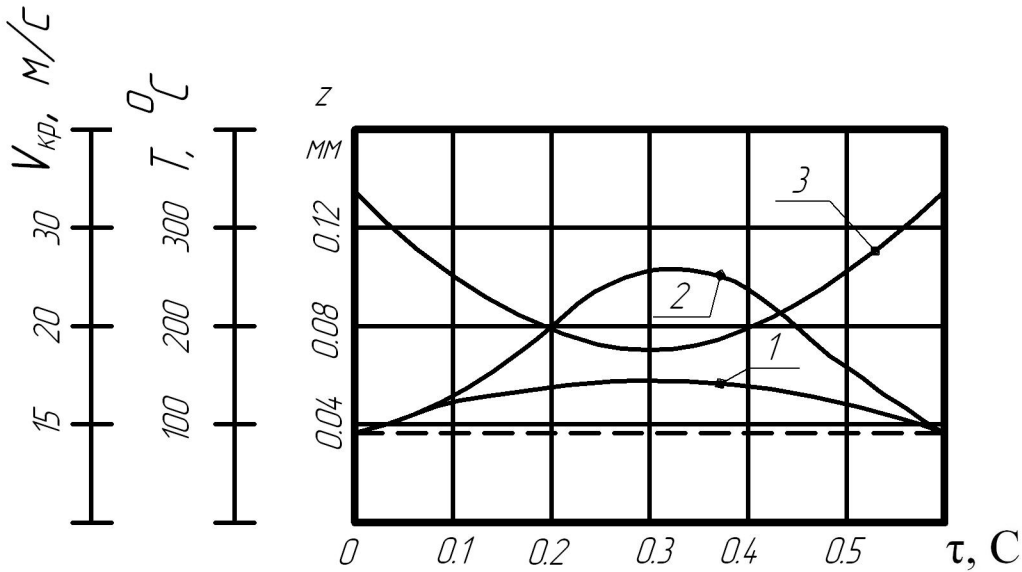


Рис.2. Прирост глубины резания (1), прирост температуры шлифования (2) и закон изменения управляющей величины  $v_{кр}$  (3).

Несколько изменяя блок 21 в блок-схеме расчетов, можно получить законы изменения глубины шлифования, контактной температуры и регулируемой величины для случая других погрешностей геометрической формы, например для случая конусности имеем.

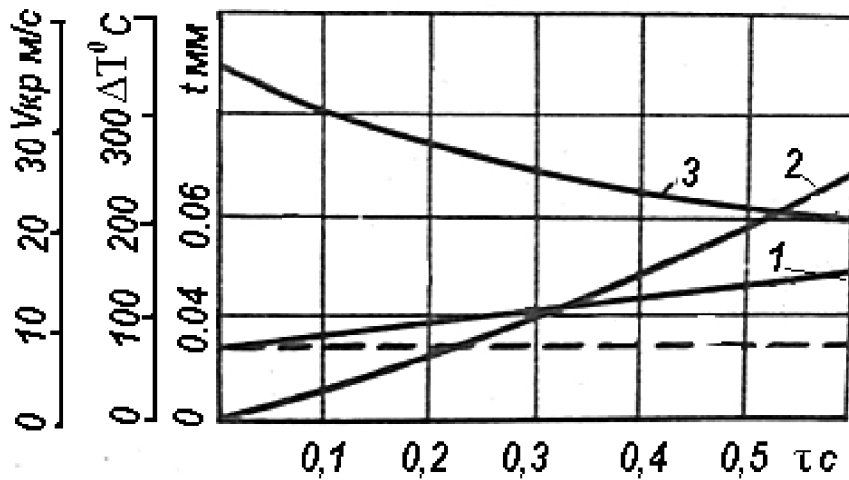


Рис. 3. Изменения глубины шлифования - 1, температурного уровня - 2, управляемой величины  $V_{кр}$  при шлифовании заготовок, имеющих погрешность форм типа конусности: 1 -  $t$ ; 2-  $\Delta T$ ; 3-  $V_{кр}$ ,  $t_{зад} = 0,03$  мм;

Следует отметить, что при выборе в качестве управляемой величины скорости круга наблюдается ухудшение шероховатости на первых проходах по сравнению с заданной по чертежу. Однако на последующих проходах, когда погрешность формы устранена шероховатость поверхности соответствует заданной.

### Выводы

1. Разработанная имитационная модель автоматического управления процессом шлифования доказывает принципиальную возможность реализации этого процесса для стабилизации качественных характеристик поверхностного слоя шлифуемой детали.

2. Разработанный алгоритм управления может быть реализован на практике при использовании современных технических средств.

3. При практической реализации, в качестве привода шлифовального круга целесообразно использовать асинхронный двигатель с частотным регулированием. Кроме того

## ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ПРИЛАДИ

необходимо иметь датчик мощности, сигнал которого в режиме реального времени, пересчитывается в температуру шлифования и далее обрабатывается в блоках 20 и 21 рис. 1.

### Информационные источники

1. Маслов Е.Н Теория шлифования материалов. – М: Машиностроение, 1984–340 с.
2. Редько С.Г. Процессы теплообразования при шлифовании металлов. – изд. Саратов: Саратовского университета, 1986. – 231 с.
3. Чумаченко Т.В. Лебедев В.Г. Фактическое расстояние между режущими зернами в эльборовом круге □№ 2 – Проблемы техники. – Одесса 2009.
4. Чирков Т.В. Математическое моделирование режимов резания при обработке материалов абразивными инструментами № 6 – Технология машиностроения. – 2004.
5. V.G. Lebedev, N.N. Klimenko, I.V. Uryadnikova, T.V. Chumachenko, A.V. Ovcharenko The definition of amount of heat released during metal cutting by abrasive grain and the contact temperature of the surface being grinded // Eastern–European Journal of Enterprise Technologies. – Харьков: 2016.

Лебедев В.Г., д.т.н., Клименко М.М., к.т.н., Луговська Е.А., к.т.н., Чумаченко Т.В., к.т.н. .  
Одеський національний політехнічний університет

### МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ КОНТАКТНОЮ ТЕМПЕРАТУРОЮ ШЛІФУВАННЯ

*Розглянуто питання автоматичного управління контактної температурою шліфування з метою стабілізації якісних характеристик наплавлених поверхонь тіл обертання при шліфуванні. Визначено об'єкт управління, керована величина, закони управління, розроблений алгоритм і блок схема процесу управління.*

*Ключові слова: температура шліфування, автоматичне керування, алгоритм управління.*

**V. Lebedev, N. Klimenko, E. Lugovskaya, T Chumachenko**

Odessa National Polytechnic University

### MATHEMATICAL MODELING OF AUTOMATIC CONTROL CONTACT POINT GRINDING

*The questions of automatic contact grinding temperature control in order to stabilize the quality characteristics of the weld surfaces of bodies of rotation while grinding were observed. Determined the control object, controlled variable, control laws, the algorithm and the block diagram of the control process.*

*Keywords: grinding temperature, automatic control, the control algorithm.*