

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САМАРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С.П.КОРОЛЕВА»

**ЧИСЛЕННОЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ  
ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ В ЗОНЕ РЕЗАНИЯ  
ПРИ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКЕ**

*Методические указания к лабораторной работе*

Самара 2017

УДК 621.9

Составители: *Сазонов М.Б., Евдокимов Д.В., Федоров Д.Г.*

Рецензент: д.т.н., профессор Н.Д. Проничев

**Численное и экспериментальное исследование температуры в зоне резания при токарной обработке:** метод. указания к лабораторной работе / сост. Сазонов М.Б., Евдокимов Д.В., Федоров Д.Г. – Самара: Изд-во Самар. ун-та, 2017. – 28 с.

Показано применение компьютерной вычислительной техники для проведения исследований по определению температуры в зоне резания. Предлагается определять температуру в зоне резания и расчет температурных полей на основе конечно-элементной модели.

Кроме того, в работе, изложена методика измерения температуры в зоне резания, с помощью естественной термопары, и экспериментального установления зависимости температуры от элементов режима резания – подачи, скорости и глубины резания.

Предназначены для проведения лабораторной работы студентам специальности ТКМ 221400.62, ТКМ 160400.62, ТКМ 151600.62, ОКМ 141100.62, ОКМ 160700.65. Выполнены на кафедре технологий производства двигателей.

Выполнены на кафедре технологий производства двигателей Самарского университета.

© Самарский университет, 2017

## СОДЕРЖАНИЕ

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ТЕПЛОФИЗИКЕ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ .....	4
2. РАСЧЕТ ТЕМПЕРАТУРЫ В ЗОНЕ РЕЗАНИЯ .....	6
3. ОБОРУДОВАНИЕ, ИНСТРУМЕНТ, МАТЕРИАЛ.....	8
4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ.....	8
5. ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ РЕЗАНИЯ.....	14
6. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ РЕЗАНИЯ .....	18
7. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.....	21
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК .....	23
ПРИЛОЖЕНИЕ А.....	25
ПРИЛОЖЕНИЕ Б .....	26

**Цель работы:** ознакомление с принципами работы в инженерных программных пакетах; ознакомление с областью применения конечно-элементных программных пакетов; получение базовых знаний о теплофизике процесса резания.

## 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ТЕПЛОФИЗИКЕ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ

При механической обработке материалов лезвийным инструментом почти вся затраченная механическая энергия (работа) превращается в тепло. Основными источниками теплообразования являются: область наибольших пластических деформаций  $Q_0$  вблизи плоскости скалывания (сдвига) под углом  $\beta_1$ , зоны трения в месте контакта стружки с передней поверхностью инструмента  $Q_{m.n.}$  и задних поверхностей резца с заготовкой  $Q_{m.z.}$  (рис.1). Наибольшее количество выделяемого тепла уносится со стружкой. Несколько меньшая часть тепла отводится в заготовку и резец, вызывая их нагрев.

Переменное действие и суммирование тепловых потоков определяет неравномерность температурного поля (рис.2) и износа инструмента. Температура в зоне контакта стружки на передней поверхности может достигать  $900...1000^\circ\text{C}$  и на задних поверхностях  $700...800^\circ\text{C}$  при резании твёрдосплавными инструментами. Высокий уровень температуры обуславливает изменение физических сторон процесса резания – разупрочнение обрабатываемого материала и материала инструмента. В подповерхностном слое детали под действием тепла могут происходить структурно-фазовые изменения и термопластические деформации, приводящие к дополнительному упрочнению или разупрочнению (отдыху) материала, к формированию остаточных напряжений. Изменение в связи с разогревом условий контакта и трения в зоне резания поверхности приводит к образованию нароста или текущего слоя.

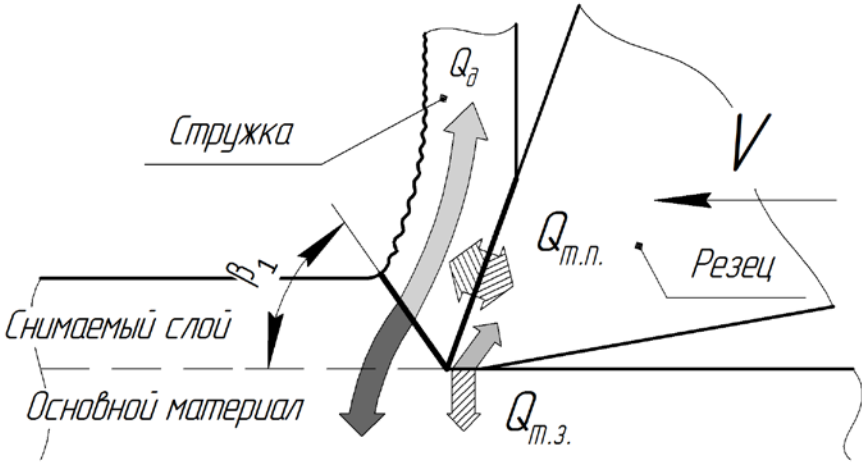


Рис. 1. Источники теплообразования  $Q_\phi$ ,  $Q_{т.п.}$ ,  $Q_{т.з.}$  и потоки отводимого тепла в стружку, резец и деталь

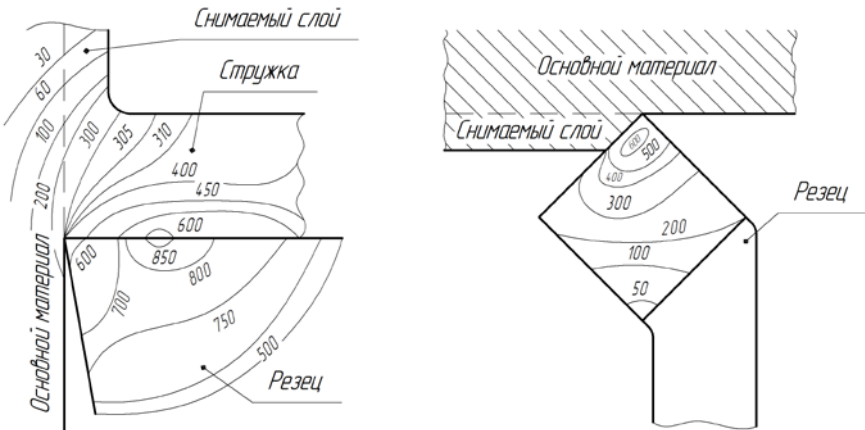


Рис. 2. Температурные поля в стружке, детали, резце (а), и на поверхности резца (б), при точении стали ШХ15 резцом Т14К8 ( $t = 4$  мм,  $S_0 = 0,5$  мм/об,  $v = 80$  м/мин)

## 2. РАСЧЕТ ТЕМПЕРАТУРЫ В ЗОНЕ РЕЗАНИЯ

Температура в зоне резания, в значительной мере определяет скорость износа инструмента, который определяет себестоимость операции механической обработки.

Используя компьютерную вычислительную технику можно значительно сократить время на проведение исследований физических параметров механической обработки. За последние время было разработано большое количество виртуальных моделей, прогнозирующих какие либо физические явления процессов лезвийной обработки. Все эти компьютерные модели строят свои вычисления на основе метода конечных элементов. При этом в настоящее время существуют два общих типа моделей: при первом типе воспроизводятся максимально все параметры конкретной обработки. Во втором типе воспроизводятся только те параметры, которые позволяют рассчитать определенные физические явления.

Достоинством первого типа является то, что существует возможность определить все физические параметры процесса резания, с заданной точностью. Однако появляется необходимость корректно определить полный набор всех известных характеристик материала. А это влечет за собой дополнительные затраты времени на проведение дополнительных экспериментов.

В данной работе предлагается определять температуру в зоне резания с использованием виртуальной модели, разработанной на кафедре ТПД.

Виртуальная модель представлена конечно-элементной моделью резца, с заданными поверхностями контакта режущего клина с заго-

товкой и стружкой. В ходе численного эксперимента предлагается определять для данных поверхностей заранее вычисленные величины итоговых плотностей тепловых потоков, возникающих в процессе обработки. Используя эти данные в качестве граничных условий программный комплекс конечно-элементного анализа в автоматическом режиме построит объемные температурные эпюры, рассредоточенные по телу резца. Однако интересующими нас значениями будут величины температур, распределенных по передней поверхности, так как максимальная температура в ходе резания образуется именно там.

Для вычисления величин плотностей тепловых потоков, идущих в режущий клин, предложено использовать математическую модель, разработанную профессором А.Н. Резниковым. Для сокращения времени расчета, математическая модель была перенесена в программу MathCad. При проведении эксперимента рассматривалось влияние параметров режима резания: подача  $S_0$  (мм/об), глубина резания  $t$  (мм), начальный диаметр заготовки  $d$  (мм), обороты шпинделя  $n$  (об/мин); величина составляющих сил резания ( $P_x$  (Н),  $P_y$  (Н),  $P_z$  (Н)), передний угол резца  $\gamma$ , на температуру в зоне резания.

При этом составляющие силы резания, используемые для расчетов, соответствующих режиму резания и геометрии резца берутся из ранее проведенных исследований по силам (см. приложение А).

Также для расчета температуры используют коэффициенты, характеризующие усадку и сплошность стружки:  $k_a$ ,  $k_b$ ,  $\varepsilon_0$ , позволяющие определить длину контакта стружки с заготовкой по передней  $l_n$  и по задней  $l_s$  поверхностям. Для резца, с неизношенной задней поверхностью  $l_s = 0,05$  мм, а  $l_n$  рассчитывается по формуле Абуладзе:

$$l_n = a \cdot (2,05 \cdot k_l - 0,5),$$

где  $a$  – толщина снимаемого слоя стружки,  $k_l$  – коэффициент продольной усадки стружки. Положение  $l_n$  и  $l_3$  на режущем клине показано на рис.3.

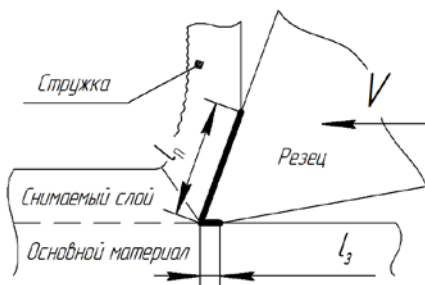


Рис. 3. Положение  $l_n$  и  $l_3$  на режущем клине

Толщина срезаемого слоя  $a = S_0 \cdot \sin \varphi$ , где  $\varphi$  – главный угол в плане.

Цель эксперимента: построить график зависимости максимальной температуры в зоне резания от параметров, характеризующих режим резания.

### 3. ОБОРУДОВАНИЕ, ИНСТРУМЕНТ, МАТЕРИАЛ

При выполнении виртуального эксперимента используются данные, соответствующие обработке стали 45 ГОСТ 1050-88 резцом из быстрорежущей стали. Вычисления производятся на компьютерной вычислительной технике.

### 4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

- 1) Получить исходные данные у преподавателя ( $\gamma$ ,  $S_0$ ,  $t$ ,  $d$ ,  $n$ ,  $P_x$ ,  $P_y$ ,  $P_z$ ,  $k_a$ ,  $k_b$ ,  $\varepsilon_0$ ). Записать свой вариант в бланк отчета (пункт 1 бланка отчета, приложение Б).



2) Зарисовать схему источников теплообразования (пункт 2 бланка отчета, приложение Б).

3) Рассчитать коэффициент продольной усадки стружки по формуле:

$$k_l = k_a \cdot k_b \cdot \varepsilon_0,$$

где,  $k_a$  – коэффициент усадки по толщине стружки,  $k_b$  – коэффициент усадки стружки по ширине,  $\varepsilon_0$  – коэффициент сплошности стружки. Этот коэффициент характеризует величину изменения объема стружки при ее снятии. Находится экспериментально для каждого материала. Расчетные формулы и результат занести в бланк (пункт 3 бланка отчета, приложение Б).

4) По формуле Абуладзе рассчитать длину контакта стружки с режущим клином по передней поверхности.

$$l_n = a \cdot (2,05 \cdot k_l - 0,5),$$

где  $a$  – толщина снимаемого слоя стружки, определяется как  $a = S_0 \cdot \sin\varphi$ . Здесь  $\varphi$  – главный угол в плане, принимается равным  $45^\circ$ . Длина контакта по задней поверхности  $l_z$  принимается равной 0,05 мм (как у нового резца).

5) В программу MathCad внести начальные данные и получить величины итоговых плотностей тепловых потоков  $Q_{m.n.}$  и  $Q_{m.z.}$ . Их также следует записать в бланк отчета (пункт 4, приложение Б).

На рисунке 4, представлено рабочее поле программы MathCad, куда вносятся характеристики стружки и геометрические параметры резца в соответствии с исходными данными.

Вводятся данные, характеризующие режим обработки (рис. 5). В среде MathCad эти данные вводятся в поля «Параметры резания» и «Силы резания».

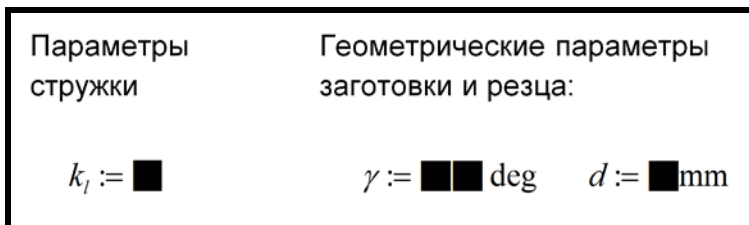


Рис. 4 – Рабочее поле программы MathCad  
(«Параметры стружки» и «Геометрические параметры реза»)

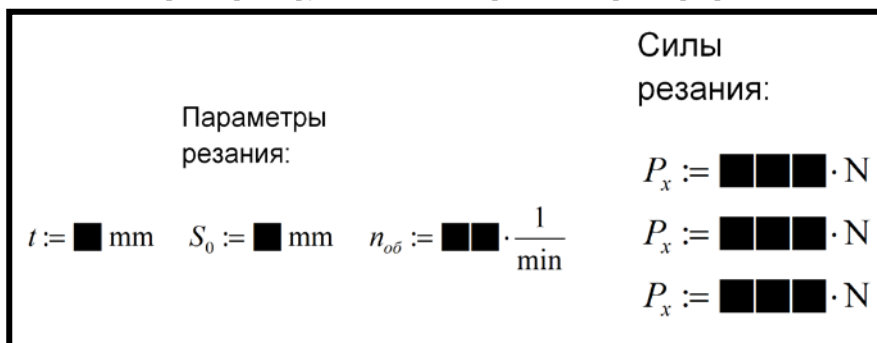


Рис. 5. Рабочее поле программы MathCad  
(«Параметры резания» и «Силы резания»)

Последними вводятся длины контакта стружки (заготовки) с режущим клином (рис. 6).

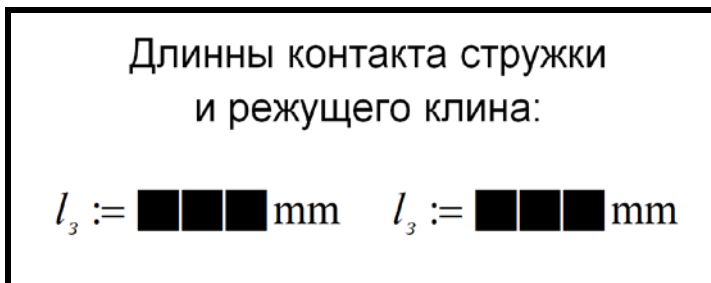


Рис. 6. Рабочее поле MathCad  
(«Длины контакта стружки и режущего клина»)

При вводе информации все величины, которые вводит пользователь – выделены зеленым цветом. Красным выделены рабочие формулы, вносить изменения в которые не допускается! Желтым цветом выделены искомые величины. Их необходимо записать в бланк.

б) Открыть программу ANSYS Workbench.

- открыть расчетный файл «Терлов-  
оу\_analiz\_rezec\_1.0.wbpj» следуя алгоритму: File –  
open...
- внутри рабочего поля, где отображаются модули Engineering Data, Geometry, Steady State Thermal и пр., необходимо выбрать вкладку Setup (рис. 7).

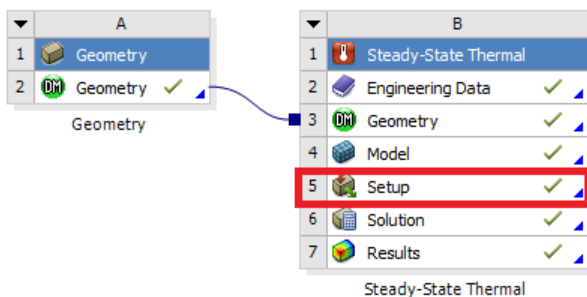


Рис. 7. Расчетные модули системы Workbench

- следующим этапом для передней и задней поверхностей виртуальной конечно-элементной модели резца присваивается соответствующая величина итоговой плотности теплового потока. Так как расчетная программа не воспринимает кириллицу, названия тепловых потоков обозначены как  $Q_{fp}$  – для передней по-

верхности и  $Q_{tz}$  – для задней. На рис. 8 представлен вид конечно-элементной модели резца.

Величина теплового потока вводится во вкладке «magnitude» (представлена на рис. 9). Необходимо указать ее в соответствии с текущей размерностью (Вт/мм<sup>2</sup>).

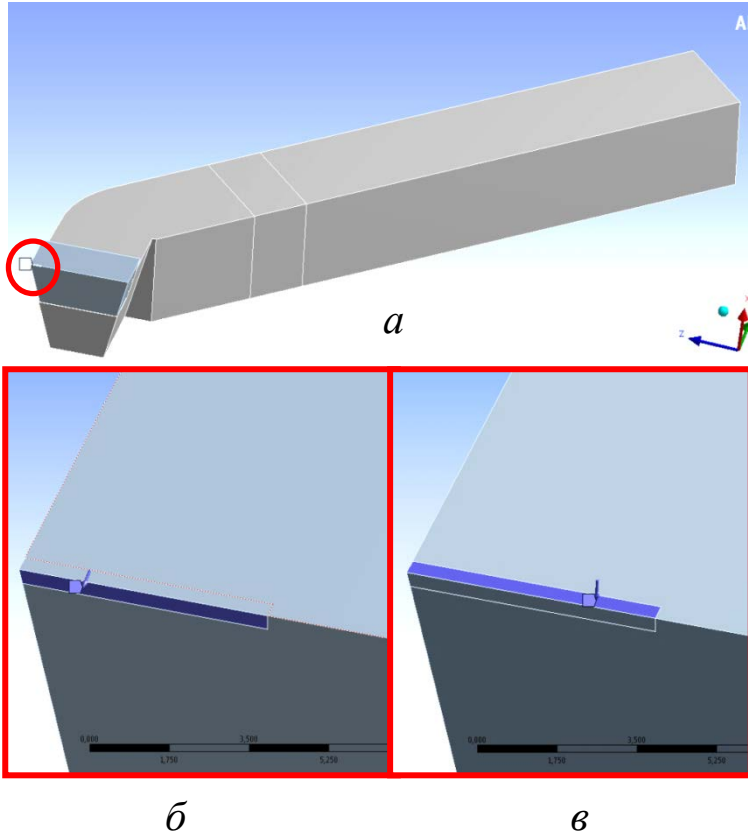


Рис. 8. Вид на конечно-элементную модель резца:

*a* – общий вид токарного резца, *б* – задняя поверхность, *в* – передняя поверхность

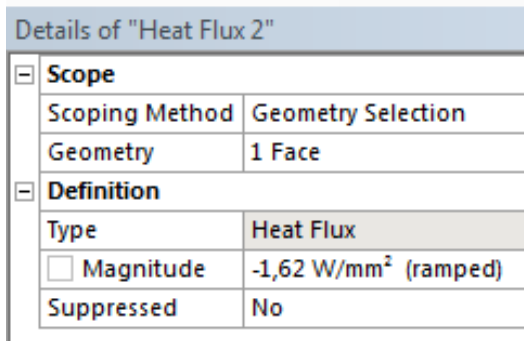




Рис. 9. Окно определения величины итоговой плотности теплового потока

- 7) После приложения плотностей тепловых потоков необходимо в рабочем окне щелкнуть по кнопке « Solve». Какое то время компьютер будет занят вычислениями, по окончании которых выведет сообщение «Solution is done!». После чего необходимо просмотреть результаты расчета, во вкладке « Temperature». На рис.10 показаны результаты подобных вычислений. Шкала изменения температуры указана слева. Верхнее значение (соответствующее красному цвету на модели) и будет максимальной температурой в зоне резания.
- 8) После выполнения расчета каждым из членов группы, будут получены 4 значения максимальной температуры в зоне резания. По этим данным необходимо построить график зависимости максимальной температуры от параметров режима резания ( $t$ ,  $n$ ,  $S_0$ ) или угла  $\gamma$ . График строится в пункте 5 бланка отчета (приложение Б).
- 9) Сделать выводы о характере зависимости (пункт 6 бланка отчета, приложение Б).

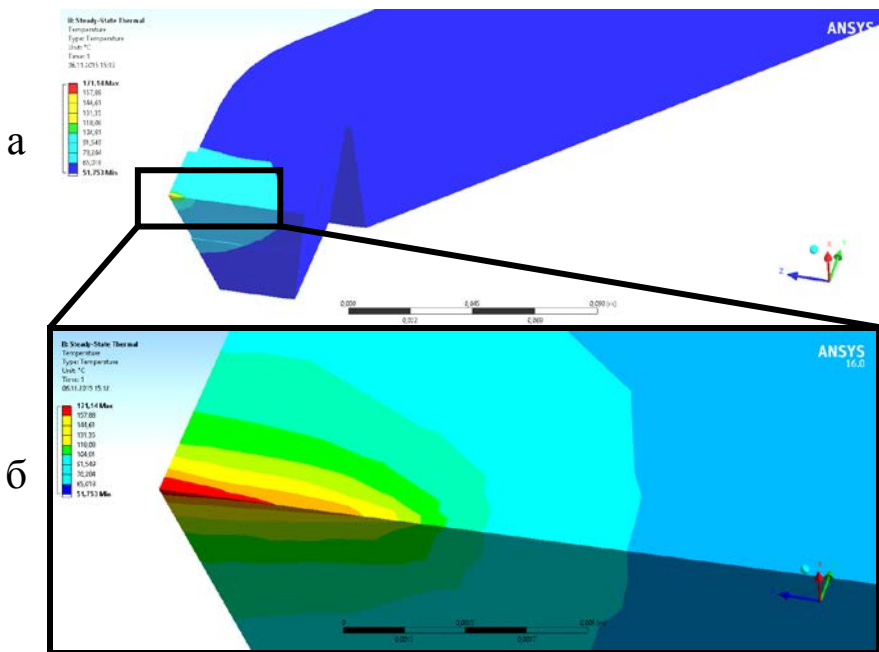


Рис. 10. Результат вычисления:  
 а –общий вид токарного резца, б – вершина резца

## 5. ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ РЕЗАНИЯ

Измерение средней температуры резания, в основном, производится методом термопар.

На рис. 11, а показана схема измерения температуры «искусственной» термопарой, которая вставляется в отверстие, просверленное в определённом месте инструмента [13]. Место спая двух изолированных проводников 1 подводится возможно ближе к нагретым поверхностям инструмента, а холодные концы подсоединяются к мил-

ливольтметру 5. На рис. 11, б показан аналогичный метод – «полуискусственной» термопары, где один изолированный проводник выводится на заднюю 1 или переднюю 1' поверхность инструмента и расклёпывается. Вторым проводником является тело инструмента 3, который проводником 4 подсоединяется к милливольтмеру 5. Оба метода позволяют измерить температуру в заданной точке, но очень трудоёмки.

Наиболее простым и распространённым является метод «естественной» термопары (рис. 11, в и рис. 12). Здесь проводниками являются деталь 2 и инструмент 3, а спаем термопары 1 – область контакта передней и задней поверхностей режущего лезвия с металлом стружки и заготовки. Для повышения точности показания термопары инструмент и заготовка тщательно изолируются от станка. Для передачи термотока к прибору 5 применяют токосъёмники со скользящим контактом 6, включающим бронзовое кольцо и бронзовую или меднографитовую щётку.

«Естественная» термопара даёт представление о среднеинтегральном значении температуры в зоне контакта. При тонких срезах и больших скоростях резания, когда площадь контакта мала, измеренная температура близка к максимальной.

Достоинством метода «естественной» термопары является простота измерения и возможность его применения при любых видах лезвийной обработки (сверление, фрезеровании и др.). Этот метод также может быть использован в автоматических адаптивных системах ЧПУ для поддержания в процессе резания постоянной оптимальной температуры, соответствующей оптимальной скорости, при изменении условий резания.

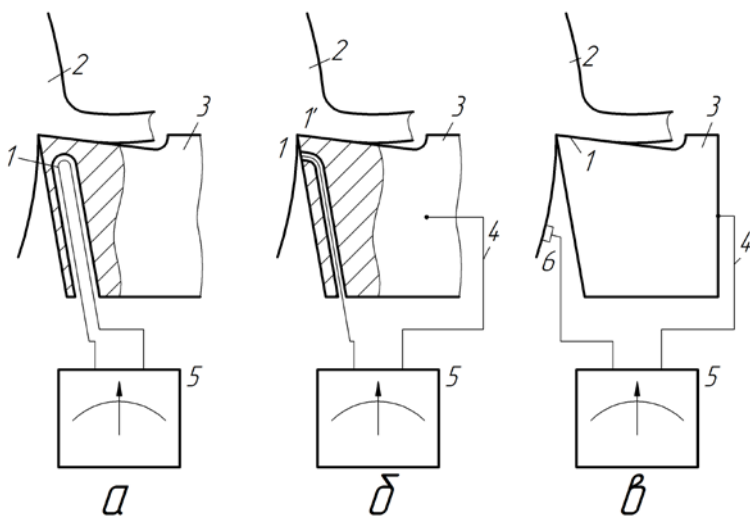


Рис. 11. Схемы термопар: а – искусственная; б – полусинтетическая; в – естественная

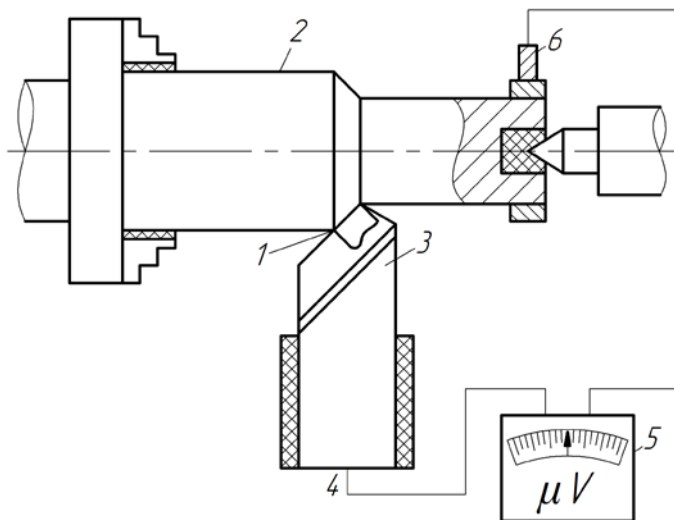


Рис. 12. Схема измерения температуры резания методом естественной термопары



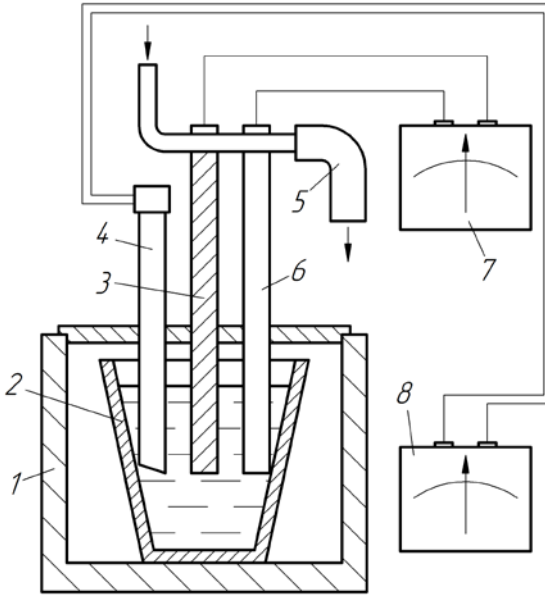


Рис. 13. Схема градуировки термопары «резец-деталь»

Для перевода показаний рабочего милливольтметра в градусы Цельсия производится его тарировка с «естественной» термопарой. Для этого в электрическую печь 1 (рис.13) помещают тигель 2 с расплавленным лёгкоплавким металлом (олово, сурьма, сплав Вуда и т.д.). В расплав на одинаковую глубину помещают стержни 3 и 6 из материала инструмента и заготовки, к концам которых через трубки с охлаждением 5 (для исключения появления паразитных термо ЭДС) присоединяют проводники рабочего милливольтметра 7. Рядом со стержнями устанавливают контрольную хромель-алюмелевую термопару 4, соединённую с прибором 8, имеющим шкалу в градусах Цельсия. Нагревая и охлаждая расплавленный металл, сравнивают показания рабочего милливольтметра 7 и прибора 8, строят градуировочный график зависимости  $^{\circ}\text{C} - \text{мВ}$  (рис.14).

С помощью тарировочного графика по полученным в процессе резания значениям термо ЭДС можно определить среднюю температуру резания.

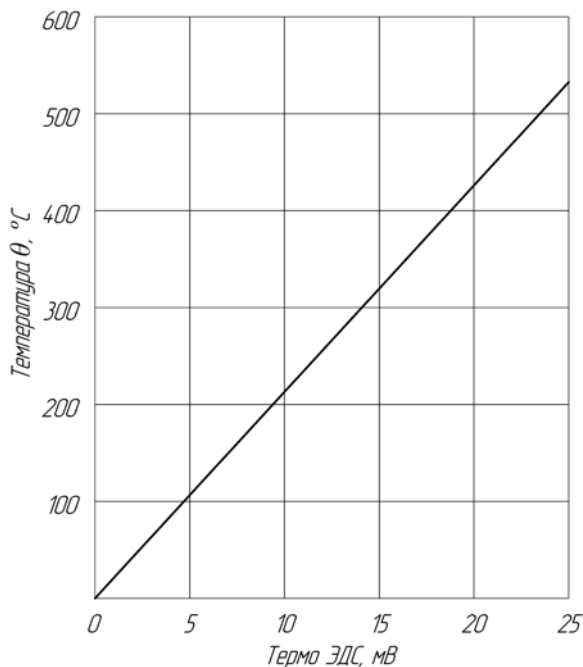


Рис. 14. Тарировочный график рабочего милливольтметра.

## 6. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ РЕЗАНИЯ

Экспериментальная зависимость температуры резания от скорости  $v$ , подачи  $S_0$  и глубины резания  $t$  обычно представляется в виде степенной функции

$$\theta = C_{\theta} \cdot v^z \cdot S_0^y \cdot t^x \quad (1)$$

где  $\theta$  – средняя температура в зоне резания,  $C_\theta$  – постоянный коэффициент,  $v$  – скорость резания,  $S_0$  – подача,  $t$  – глубина резания,  $z$ ,  $y$ ,  $x$  – степенные показатели. Анализ зависимости позволяет выяснить степень влияния элементов режима резания  $v$ ,  $S_0$  и  $t$  на температуру, установить порядок их назначения, оценить обрабатываемый материал и др.

В ходе проведения лабораторной работы производится точечная заготовки из конструкционной стали цельным токарным резцом из стали P18 с заданной геометрией. Проводятся три серии опытов: при переменной  $t$  и постоянных  $S_0$  и  $v$ ; при переменной  $S_0$  и постоянных  $t$  и  $v$ ; при переменной  $v$  и постоянных  $S_0$  и  $t$ . План экспериментов, переменные и постоянные параметры резания по сериям выбираются в соответствии с таблицей 1. Для каждой серии назначается по 3...4 опыта.<sup>1</sup> Конкретные данные условий проводимых опытов, измеренные в процессе резания термо ЭДС в мВ и переведённые по тарифовочному графику в значения температуры  $^{\circ}\text{C}$ , заносятся в протокол экспериментов (приложение Б).

По данным протокола строятся зависимости  $\theta - v$ ,  $\theta - S_0$ ,  $\theta - t$  в виде графиков с логарифмическими шкалами. Через нанесённые для каждой зависимости экспериментальные точки проводят осреднённые прямые. Отдельные, сильно отклоняющиеся от прямой точки, во внимание не принимаются. По тангенсам угла наклона прямых определяются показатели степеней  $z$ ,  $y$  и  $x$  при переменных в формуле (1).

На рис. 15 в качестве примера приведена графическая зависимость температуры  $\theta$  от скорости резания, по которой можно опреде-

---

<sup>1</sup> План опытов назначается преподавателем

лить частную зависимость  $\theta = C_1 \cdot v^z$ , где  $z = \operatorname{tg} \alpha = \frac{a}{b}$ . Коэффициент

$C_1$  определяется по графику при значении  $v = 1$  м/мин.

Таблица 1.

Рекомендуемые значения переменных и постоянных элементов режима резания при проведении экспериментов

t, мм	S <sub>0</sub> , мм/об	v, м/мин									
		Для получения температурной зависимости					Для наблюдения за наростообразованием (твёрдосплавным резцом)				
		3	10	20	30	40	50	100	150	200	250
-	0,07			*	•						
3	0,1	o	o	*	o•		o	o	o	o	o
2	0,15	□	□	□*	•	□		□	□	□	
-	0,2			*	•						
-	0,3			*							
-	0,4		□		•						

Серия глубин для разных вариантов рекомендуется при  $t = 1; 1,5; 2; 3$  мм. Рекомендуемые постоянные значения  $v$  и  $S_0$  обозначены в таблице двойными знаками.

Подобным образом определяются частные зависимости  $\theta = C_2 \cdot S_0^y$  и  $\theta = C_3 \cdot t^x$ . Значение коэффициента  $C_\theta$  в формуле (1) определяется из выражения  $C_{\theta_i} = \theta_i / (v_i^z \cdot S_{0i}^y \cdot t_i^x)$ , в которое подставляют конкретные значения  $\theta_i$ ,  $v_i$ ,  $S_{0i}$ ,  $t_i$ , взятые из протокола для произвольно выбранных 3...4 опытов. Из нескольких рассчитанных значений  $C_{\theta_i}$  определяется средняя арифметическая величина  $C_\theta$ , которая подставляется в формулу (1). В конце расчёта записывается итоговая формула (1) с численными значениями  $C_\theta$ ,  $z$ ,  $y$ ,  $x$ . Например:  $\theta = 150 \cdot v^{0,52} \cdot S_0^{0,35} \cdot t^{0,15}$ .

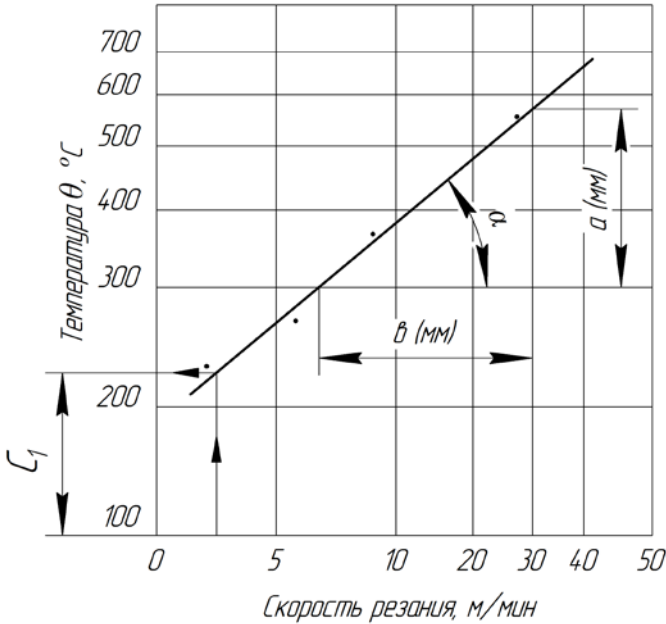


Рис. 15. График зависимости температуры резания от скорости резания

Из анализа зависимости (1) обычно вытекает, что на температуру резания сильнее всего влияет скорость резания, меньше подача и ещё меньше глубина резания. Поэтому при назначении режима резания для получения наименьшей интенсивности износа инструмента и наибольшей производительности обработки в первую очередь выбирают наибольшую глубину резания, затем подачу и затем, с учётом заданного периода резания, рассчитывают скорость резания.

## 7. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Для чего рассчитывать температуру в зоне резания? На что она влияет?
2. Какие основные источники тепла при точении?

3. Для чего применяют формулу Абуладзе?
4. Какие преимущества предоставляет виртуальный эксперимент перед реальным?
5. Что такое коэффициент усадки стружки? Как его получают?
6. От каких факторов зависит температура?
7. Как влияют элементы режима резания ( $S_0, t, d, n,$ ) на температуру?
8. Как влияет на температуру угол  $\gamma$ ?
9. Куда уходит основная доля тепла в процессе резания?
10. Почему на передней поверхности образовывается источник тепла  $Q_{m.n}$ ?
11. Как влияет длина контакта инструмента и стружки (заготовки) на температуру?
12. Влияет ли износ на температуру в зоне резания?
13. Влияют ли составляющие силы резания ( $P_x, P_y, P_z$ ) на температуру? Если да – то как?

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бьёрклунд, О. Моделирование разрушения [Текст]: [пер. с англ.]: дис. ... магистр: защищена 10.03.08/ Бьёрклунд Оскар. – Линчепинг, 2008. – 47 с.
2. Зорев, Н.Н. Вопросы механики процесса резания металлов М.: Машгиз, 1956. - 367с.
3. Кравченко Б.А., Кравченко А.Б. Физические аспекты теории процесса резания металлов. Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2002. 167 с.
4. Киликаслан, Ж. Моделирование и симуляция механической обработки методом конечных элементов [Текст]: [пер. с англ.]: дис. ... магистр: защищена 18.11.09/Киликаслан Женк. – Измир, 2009. – 73 с.
5. Обработка резанием жаропрочных и титановых сплавов / Н.И. Резников, Е.В. Бурмистров, И.Г. Жарков и др.; Под ред. Н.И. Резникова. М.: Машиностроение, 1972. 200 с.
6. Под ред. Полухина П.И. Теория и технология деформации металлов. -М.: Металлургия, 1982. 151 с.
7. Резников А.Н. Теплофизика процессов механической обработки материалов. М.: Машиностроение, 1981. 279 с.
8. Резников, А.Н. Основы расчета тепловых процессов в технологических системах [Текст]: учебное пособие / А.Н. Резников, Л.А. Резников. – Куйбышев: КуАИ, 1986. – 154 с.
9. Резников, А.Н. Теплообмен при резании и охлаждение инструментов [Текст] / А.Н. Резников. – М.: Машгиз, 1963. – 199 с.
10. Резников, А.Н. Теплофизика резания [Текст] /А.Н. Резников. – М.: Машиностроение, 1969. –288 с.

11. Резников, А.Н. Теплофизика процессов механической обработки материалов [Текст]: учебное пособие / А.Н. Резников. – М.: Машиностроение, 1981. – 273 с.
12. Скуратов Д.Л., Трусов В.Н. Обработка конструкционных материалов: процессы резания и режущие инструменты. - Самара: СГАУ, 2012. - 195 с.
13. Тепловые явления и обрабатываемость резанием авиационных материалов / А.И. Белоусов, П.И. Бобрик, А.З. Рахман-Заде и др.; Под ред. П.И. Бобрика. М.: Машиностроение, 1966. 180 с. (Тр. Моск. авиац. техн. ин-та; Вып. 64).



**ПРИЛОЖЕНИЕ А**  
**ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ**  
**ДЛЯ РАСЧЕТА ТЕМПЕРАТУРЫ РЕЗАНИЯ**

№ вар.	t, мм	n, Об/мин	S <sub>0</sub> , м/мин	γ	k <sub>a</sub>	k <sub>b</sub>	ε <sub>0</sub>	P <sub>x</sub> , Н	P <sub>y</sub> , Н	P <sub>z</sub> , Н
1	1	50	0,21	15	1,59	1,16	1,10	120	170	480
2	2	50	0,21	15	2,02	1,20	1,05	290	305	1060
3	3	50	0,21	15	2,42	1,31	0,81	480	450	1550
4	4	50	0,21	15	3,19	1,36	0,70	700	620	2030
5	2	25	0,21	15	2,90	1,06	1,20	145	152	530
6	2	50	0,21	15	2,84	1,06	1,22	290	305	1060
7	2	80	0,21	15	2,70	1,06	1,25	464	488	1696
8	2	100	0,21	15	2,23	1,06	1,29	580	610	2120
9	2	50	0,11	15	1,93	1,16	0,96	120	170	870
10	2	50	0,21	15	2,02	1,20	1,05	290	305	1060
11	2	50	0,3	15	4,76	1,22	0,88	421	405	1939
12	2	50	0,43	15	3,82	1,23	0,89	700	620	2815
13	2	50	0,21	0	1,21	1,13	1,28	600	550	1640
14	2	50	0,21	8	1,54	1,16	1,22	530	475	1550
15	2	50	0,21	15	2,02	1,20	1,05	290	305	1060
16	2	50	0,21	25	2,42	1,31	0,81	300	275	1210

Данные представлены для диаметра заготовки  $d = 80$  мм.

**ПРИЛОЖЕНИЕ Б**  
**ОБРАЗЕЦ БЛАНКА ОТЧЕТА ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ**

Студент \_\_\_\_\_

Кафедра \_\_\_\_\_  
*технологий производства двигателей*

Группа \_\_\_\_\_ Дата \_\_\_\_\_

**О Т Ч Е Т**  
 По лабораторной работе

**Численное и экспериментальное исследование температуры в  
 зоне резания при токарной обработке**

1. Исходные данные к выполнению работы

№ вар.	$t$ , мм	$n$ , Об/мин	$S_0$ , м/мин	$\gamma$	$k_a$	$k_b$	$\varepsilon_0$	$P_x$ , Н	$P_y$ , Н	$P_z$ , Н

2. Эскиз источников теплообразования

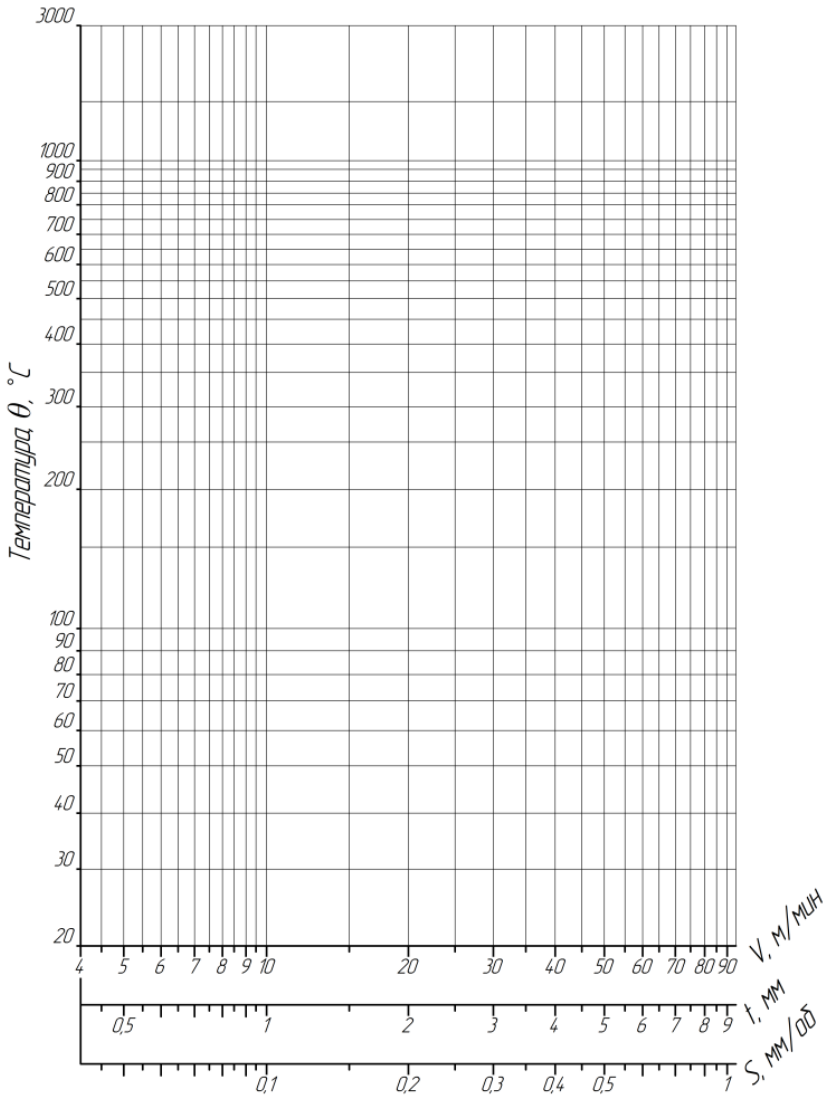
3. Расчет коэффициента усадки стружки и длинны контакта стружки

4. Расчет тепловых потоков в среде MathCad

$Q_{m.n.}$ , Вт/мм <sup>2</sup>	$Q_{m.z.}$ , Вт/мм <sup>2</sup>



7. Экспериментальная зависимость температуры от параметров, характеризующих режим резания



## 8. Индивидуальное задание

## 9. Выводы по работе

Преподаватель \_\_\_\_\_

