



Министерство образования и науки Украины.
Севастопольский национальный технический
университет.

Методические указания

к лабораторным работам №1-5 по дисциплине
«Тепловые процессы в технологических системах»
для студентов дневной и заочной форм обучения
специальностей 7.09.0202; 7.09.0203

Тема 1. Тепловые эффекты при
электродуговой сварке и градуировке
термопар

Тема 2 Температурное поле в металлических
стержнях

Тема 3 Температурные эффекты в зоне
резания

Севастополь
2006

УДК 621.9 (075)

Методические указания к лабораторным работам №1-5 по дисциплине
«Тепловые процессы в технологических системах» /
Разраб. Л.М. Мурзин, А.А.Хроменков. - Севастополь: Изд-во СевНТУ,
2006. - 44с.

Целью методических указаний является оказание помощи студентам в
выполнении лабораторных работ.

Лабораторные работы разработаны в соответствии с рабочей
программой дисциплины «Тепловые процессы в технологических
системах»

Методические указания рассмотрены и утверждены на заседании
кафедры технологии машиностроения.

Протокол N10 от 20.03.2006г.

Допущено учебно-методическим центром и научно-методическим
советом Сев НТУ в качестве методических указаний.

Рецензент:

Троценко А.В. кандидат технических наук, доцент



Введение	5
Тема 1. Тепловые эффекты при электродуговой сварке и градуировке термопар	6
Теоретическая часть	6
1. Лабораторная работа № 1 Изготовление и сварка термопары 8	
Цель лабораторной работы	
1.1. Оборудование и материалы:	8
1.2. Порядок выполнения лабораторной работы.....	9
1.3. Последовательность выполнения лабораторной работы	10
1.4. Порядок проведения теоретических расчетов.....	11
1.5. Содержание отчета по лабораторной работе № 1	13
Вопросы для контроля знаний.....	13
2. Лабораторная работа № 2 Градуировка термопары 14	
Цель лабораторной работы	
2.1. Оборудование и материалы:	14
2.2. Порядок выполнения лабораторной работы.....	15
2.3. Содержание отчета по лабораторной работе № 2	16
Вопросы для контроля знаний.....	16
Тема 2 Температурное поле в металлических стержнях	17
Теоретическая часть	18
3. Лабораторная работа № 3 Измерение температурных полей 19	
Цель лабораторной работы	
3.1. Оборудование и материалы	20
3.2. План экспериментальных исследований	21
Лабораторная работа №3а Измерение температурных полей стержней из разных сплавов.....	21
Лабораторная работа №3б Измерение температурных полей стержней из стали при различном положении прутка в пространстве	22
3.3. Порядок выполнения экспериментальных исследований.....	22
3.4. Построение пространственных графиков температурных полей	23
3.5.Содержание отчета о выполнении лабораторной работы.....	23
Контрольные вопросы	25
Тема 3 Температурные эффекты в зоне резания	26
Теоретическая часть	27
4. Лабораторная работа №4 Измерение температуры в зоне резания с помощью искусственной термопары 28	
Цель лабораторной работы	
4.1. Оборудование и материалы	28

4.2. Порядок выполнения экспериментальных исследований.....	30
4.3. Содержание отчета о выполнении лабораторной работы №4.3	31
5. Лабораторная работа №5 Измерение температуры в зоне резания с помощью естественной термопары.	32
Цель лабораторной работы	
5.1. Оборудование и материалы	32
5.2. Порядок выполнения экспериментальных исследований.....	35
5.3. Содержание отчета о выполнении лабораторной работы	38
Контрольные вопросы	39
Библиографический список	40
ПРИЛОЖЕНИЕ А	41



Введение

Лабораторные работы составляют цикл тематических занятий, при проведении которых студенты последовательно знакомятся со средствами и методами измерения температуры, приобретают практические навыки тарирования термопар как датчиков температуры и проводят экспериментальные исследования температурных полей тел простой формы и реальных тел на примере термометрии зоны резания при токарной обработке цилиндрических заготовок. Выполнение лабораторных работ позволяет студентам ознакомиться с методиками аналитических расчетов теплофизических эффектов, охватывающих все механизмы теплопередачи, происходящие в технологических системах.

Тема 1. Тепловые эффекты при электродуговой сварке и градуировке термопар

Методические указания к лабораторным работам №1, №2 по дисциплине «Тепловые процессы в технологических системах»

В лабораторных работах, составляющих цикл, последовательно рассматриваются следующие разделы темы:

Раздел 1 Ознакомление с тепловыми и электрическими эффектами при сварке термопары.

Раздел 2 Изучение приемов градуировки термопар

В лабораторной работе №1 основное внимание уделено приобретению навыков подготовки термопары к сварке и изучению электрических и термоэлектрических эффектов, сопровождающих процесс сварки.

В лабораторной работе №2 основное внимание уделено приобретению практических навыков градуировки термопары и применению аналитических способов расчета характеристик термопары.

Теоретическая часть

Основное внимание уделено металлическим термопарам. Студенты последовательно изготавливают хромель-алюмелевую термопару, затем сваривают ее рабочий спай и градуируют изготовленную термопару. Далее эта термопара используется в остальных лабораторных работах в качестве датчика температур.

Термопара проста и состоит из двух проводников и вольтметра. Масса и, следовательно, теплоемкость термопары как датчика температуры может быть весьма малой, обеспечивая очень быструю реакцию прибора на изменение температуры. Время установления показаний прибора составляет десятые и даже сотые доли секунды. С помощью термопар измеряют температуру в широком диапазоне значений, начиная от 4К до 3000 К. Термопары могут одновременно обеспечивать высокую точность (до 0,01 °С) и высокую чувствительность (до 100 мкВ/°С – для металлических термопар и до нескольких единиц мВ/°С – полупроводниковых термопар). С помощью дифференциальных термопар можно измерять разности температур до 0,001 °С.

Приведенные показатели делают термопары незаменимыми для измерения температур в различных сферах деятельности, в том числе для исследования тепловых эффектов в технологических



системах. Термопары широко применяются для исследования и контроля температуры при обработке материалов резанием.

Термопары отвечают требованиям идеального термометра. Если материалы, выбранные для изготовления термопар, являются чистыми, однородными и изотропными и не претерпевают ни физических, ни химических изменений в процессе эксплуатации, то зависимости электродвижущей силы термопары от температуры полностью воспроизводимы и термопары, изготовленные из одной партии проволоки будут полностью воспроизводимы, т.е. показания их будут одинаковыми.

Постоянная по знаку э.д.с. термопары может быть легко измерена современными регистрирующими приборами – вольтметрами, а также удобна для непрерывного контроля температуры.

Типичная термопара и состоит из двух отоженных проводников из разных металлов и вольтметра. Проводники помещены в защитную диэлектрическую оболочку. С одного конца, называемого рабочим спаем, проволоки сваривают между собой, а другими концами присоединяют к измерительному прибору. Чаще всего для соединения термопары с прибором применяют соединительные (компенсационные) провода. Любые два проводника из разных металлов могут образовать термопару.

Методы градуировки термопар

Градуировка по эталонным датчикам температуры

В качестве эталонных датчиков используют:

- а) Образцовый термометр сопротивления в диапазоне низких температур (-250°C до 630°C). Рабочий спай термопары и образцовый термометр сопротивления погружают в изотермическую среду. Температуру измеряют по показаниям термометра.
- б) Эталонную термопару в диапазоне средних температур (500°C до 1500°C). Применяют аналогичный метод, заменяя термометр сопротивления эталонной термопарой (обычно- платиноводородная Pt 10Rh / Pt).
- в) Эталонный оптический пирометр в диапазоне высоких температур (1064°C до 3000°C). Градуировка термопары отличается низкой точностью и большой трудоемкостью.

Градуировка по реперным точкам

Термопару погружают в тигель с расплавленным металлом высокой чистоты. Регистрируют ход изменения термо-э.д.с. при охлаждении и в момент затвердевания металла. Физические характеристики пригодных для этой цели металлов приведены в таблице 3 (см. приложение А).

Этот метод градуировки является наиболее точным. Обычно достаточно измерения температуры в двух точках кристаллизации двух различных металлов, учитывая линейный характер зависимости термо-э.д.с. от температуры в рабочем диапазоне температур.

Градуировка по методу проволочек

Используют при высоких температурах и труднодоступных условиях. Является модификацией метода градуировки по реперным точкам. При этом методе кусочек проволоки из реперного металла закрепляется между несваренными концами термопарных проволок. По электрической цепи пропускается электрический ток. При достижении температуры плавления реперного металла реперная проволока плавится, разрывая электрическую цепь. В момент разрыва электрической цепи фиксируется термо-э.д.с. термопары. Метод отличается высокой точностью и дешевизной.

СОДЕРЖАНИЕ И ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

1. Лабораторная работа № 1. Изготовление и сварка термопары

Цель работы: оказание помощи студентам в изучении тепловых эффектов, возникающих в технологических системах при сварке термопар, приобретении навыков измерения температуры, приемов проведения аналитических расчетов тепловых эффектов на основе анализа уравнения теплового баланса.

В работе № 1 следует: подготовить термопару к сварке, выполнить сварку термопары, измерить показания контрольных приборов, выполнить количественные оценки тепловыделения на всех участках электрической цепи, экспериментально определить температуру нагрева ванны с соевым раствором, рассчитать коэффициент полезного действия процесса сварки.

Время выполнения работы – 2 часа

1.1. Оборудование и материалы:

установка для сварки термопар, заготовки термопарных проволок, раствор соли, порошок графита, секундомер, тестер-милливольтметр, ножницы, микрометр, штангенциркуль, чертежные принадлежности, калькулятор.



Описание лабораторной установки для сварки термопар

Сварку искусственных термопар производят с помощью электрического разряда. Рабочий спай термопары образуется в результате расплавления соединенных концов термопарных проволок и затвердевания в форме сферы.

Для сварки используют установку, схема которой представлена на рисунке 1.

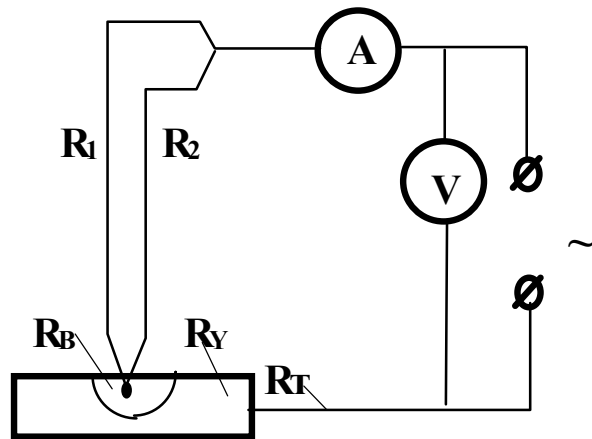


Рисунок 1- Электрическая схема устройства для сварки термопар.

Обозначения в схеме следующие:

R_1 , R_2 , R_B , R_Y , R_T - электрическое сопротивление элементов электрической цепи сварки (индексы означают: 1 и 2 - номера проводников термопары, в - ванна с солевым раствором, у - угольный электрод, т - токоподвод); V - вольтметр; A - амперметр.

В качестве среды для сварки использован 10% раствор NaCl в воде.

1.2. Порядок выполнения лабораторной работы

При погружении рабочего спая термопары в солевой раствор ванны образуется замкнутая цепь, по которой протекает электрический ток силой I_p . В солевом растворе между рабочим спаем термопары и угольным электродом возникает электрический разряд, энергия которого и обеспечивает сварку термопары.

При прохождении электрического тока в элементах цепи выделяется теплота Q_i , количество которой определяется законом Джоуля-Ленца

$$Q_i = I_p^2 R_i \tau, \quad (1)$$

где R_i - сопротивление i -го участка цепи, Ом;

I_p - рабочий ток, А;

τ - время действия тока, с.

В соответствии со схемой электрической цепи, (рисунок 1), общее количество теплоты Q определяется суммой Q_i по формуле

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_B + Q_Y + Q_T, \quad (2)$$

Максимальное тепловыделение происходит на участке контакта рабочего спая термопары с солевым раствором, поэтому можно считать, что теплота, необходимая для сварки термопары берется из тепловыделения Q_B .

1.3. Последовательность выполнения лабораторной работы

Подготовить термопару к сварке:

- измерить электросопротивление проводников R_1 и R_2 , Ом;
- измерить диаметр проволок D_1 и D_2 , мм;
- измерить длину проволок L_1 и L_2 , мм;

Сделать плотную скрутку проволок (не менее 3-4 витков).

Подготовить установку для сварки (см. рисунок 1):

- подключить термопару к штепсельному разъему;
- измерить объем ванны для сварки V_B , мм³;
- налить солевой раствор в ванну;
- измерить электросопротивление ванны с солевым раствором R_B , Ом;
- измерить температуру солевого раствора θ_{Bo} , °C;
- подключить милливольтметр к установке.

Выполнить сварку термопары:

- включить установку в сеть;
- установить напряжение по вольтметру 100 – 120 В;
- погрузить скрутку термопары в солевой раствор, выдерживая время сварки $t_{св}$, с;
- измерить рабочий ток I_p , А и рабочее напряжение U_p , В;
- измерить температуру солевого раствора θ_{Bo} , °C;



- контролировать качество сварки.

Повторить опыты по сварке, изменяя время сварки $\tau = 1, 2, 3$ с.

Для этого: - заменить солевой раствор в ванне, отрезать концы проволок, сделать новую скрутку, выполнить сварку термопары по п.3.4

- измерить температуру ванны в момент окончания сварки $\theta_{Вк}, ^\circ\text{C}$;

- измерить электросопротивление термопары $R_{ТП}, \text{Ом}$;

- измерить диаметр рабочего спая «королька» $D_K, \text{мм}$;

Записать результаты измерений в протокол.

Произвести расчеты электрических и тепловых эффектов при сварке:

- составить уравнение теплового баланса;
- определить составляющие энергии $Q_{СВ}$, пошедшей на сварку рабочего спая термопары;
- определить к.п.д. процесса сварки.

Подготовить отчет по лабораторной работе.

1.4. Порядок проведения теоретических расчетов

При сварке тепло расходуется на:

- нагревание материала термопарных проволок до температуры плавления $Q_{нагр}$;
- плавление рабочего спая $Q_{пл}$, затвердевание рабочего спая $Q_{затв}$;
- охлаждение рабочего спая $Q_{охл}$;
- нагрев ванны с солевым раствором $Q_{н.в.}$;
- нагрев окружающей среды Q_c .

С учетом перечисленных составляющих уравнение теплового баланса будет иметь вид:

$$Q_{В} + Q_{нагр.} + Q_{пл.} + Q_{затв.} + Q_{охл.} + Q_{н.в.} + Q_c = 0, \quad (3)$$

Обобщенное уравнение теплового баланса

$$Q_{дж} + Q_{изл} + Q_{нв} + Q_{СВ} = Q_{общ}, \quad (4)$$

где $Q_{СВ}$ – энергия, пошедшая на сварку спая;

$Q_{нв}$ – энергия, пошедшая на нагрев ванны;

$Q_{дж}$ – энергия, пошедшая на нагрев проводников;

$Q_{изл}$ – энергия, пошедшая на излучение и нагрев среды.

Для оценки тепловыделения при основных процессах, происходящих при сварке, следует использовать следующие соотношения:

- общее количество энергии, выделившееся при нагреве объема материала рабочего спая термопары электрическим током следует определять по формуле Джоуля-Ленца

$$Q_{общ} = I_p^2 R_i \tau_{св} \quad (5)$$

- при нагреве и охлаждении веществ без изменения агрегатного состояния по формуле

$$Q = cm\Delta\theta, \quad (6)$$

где c – удельная теплоемкость, Дж/ г К, (см.таблицу 1 и 2

приложенияА;

m – масса ,г;

$\Delta\theta$ – разность температур, $^\circ\text{C}$.

Количество энергии, пошедшее на плавление и кристаллизацию

$$Q = \lambda m, \quad (7)$$

где λ – удельная теплота плавления

Определить к.п.д. процесса сварки η можно по соотношению

$$\eta = Q_{СВ} / Q_{общ}, \quad (8)$$

Учитывая сложный характер процессов, протекающих при электрическом разряде, определить величину $Q_{СВ}$ весьма затруднительно, поэтому следует оценку к.п.д. сварки проводить по следующему выражению

$$\eta = \frac{Q_{общ} - Q_{пот}}{Q_{общ}}, \quad (9)$$

где $Q_{пот} = Q_{дж} + Q_{изл}$ – потери энергии при сварке.

Протокол результатов лабораторной работы № 1 Таблица 1

№ опыта	R1 Ом	R2 Ом	U _p В	I _p А	$\tau_{св}$ с	R _в Ом	$\theta_{в}$ $^\circ\text{C}$	R _{ТП} Ом	D _к мм	Кач ство

Дополнительные данные:

V – объем ванны солевого раствора;

L – длина термопарной проволоки;

D – диаметр термопарной проволоки

T – температура плавления материала термопарной проволоки;

С_{ср}– удельная теплоемкость солевого раствора;

Стп– удельная теплоемкость материала термопарной проволоки;

р_{тп} – плотность материала термопарной проволоки;

р_{ср} – плотность материала солевого раствора;

λ – удельная теплота плавления;

$\theta_{в}$ –температура ванны солевого раствора.

Теплофизические свойства некоторых веществ приведены в таблицах 1 и 2 (см. Приложение А)



1.5. Содержание отчета по лабораторной работе № 1

Цель работы

Схема и описание лабораторной установки

Описание условий проведения опытов.

Расчеты электрических и тепловых эффектов при сварке:

- представить протокол измерений параметров и показателей процесса сварки (см. таблица 1);
- составить уравнение теплового баланса;
- определить составляющие энергии, пошедшей на сварку рабочего спая;
- определить к.п.д. процесса сварки.

Вопросы для контроля знаний

Дайте характеристику термопаре, как средству измерения температуры

Сформулируйте термоэлектрические эффекты

Сформулируйте признаки качества сварки термопары

Сформулируйте требования к теплофизическим условиям, обеспечивающим качество сварки термопары.

2. Лабораторная работа № 2 Градуировка термопары

Цель работы: оказание помощи студентам в изучении методов градуировки термопар и отличительных признаков различных термопар.

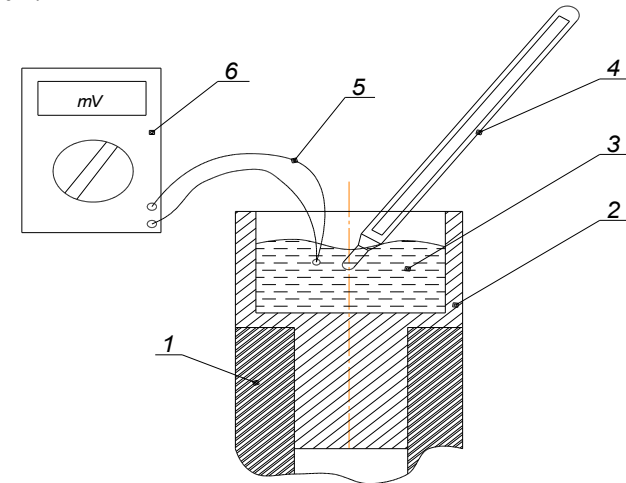
В работе № 2 следует провести градуировку термопары, используя две среды: воду и расплав металлического сплава; построить тарировочный график зависимости термоЭДС от температуры; определить величину коэффициента термоЭДС, используя прикладную программу МНК на ПЭВМ.

Время выполнения работы – 2 часа

2.1. Оборудование и материалы:

термопары, реперные металлы (свинец, олово и т.п.), вода, стакан, нагреватель (электрическая плитка), тигель, пинцет, эталонный термометр, эталонная термопара, тестер-милливольтметр, чертежные принадлежности, калькулятор.

Для градуировки используют устройство, изображенное на рисунке 2.



1 – печь, 2 – тигель, 3 – расплав или вода, 4 – эталонный термометр (эталонная термопара), 5 – термопара, 6 – милливольтметр

Рисунок 2 - Устройство для градуировки термопары



2.2. Порядок выполнения лабораторной работы

Выполнить градуировку по методу эталонного датчика температуры (эталонной термопары или эталонного термометра):

- подключить термопару к тестеру, соблюдая полярность электродов (провод из алюмели - отрицательный электрод);
- погрузить термопару в жидкость (вода или расплав);
- нагревать жидкость, измеряя показания термопары (температуру измерять по эталонному термометру или по эталонной термопаре).

Выполнить градуировку по методу реперных точек:

- расплавить реперный металл в тигле;
 - погрузить термопару в расплав металла (жидкость);
 - измерить показания термо-э.д.с. в момент затвердевания металла;
 - заменить реперный металл, используя данные таблицы 3 (см.приложение А) и повторить процедуру опыта.
- Занести полученные результаты в протокол (см. таблица 2).

Подготовить отчет по лабораторной работе.

Построить графики зависимости термо-э.д.с. от температуры в координатах функции $E = f(\theta)$.

Определить коэффициент термо-э.д.с.- α термопары, как тангенс угла наклона зависимости $E = f(\theta)$.

- Рассчитать коэффициент термо-э.д.с.- α термопары, используя прикладную программу MNK.EXE на ПЭВМ.

Путь – D:\ OMM\ mnk.exe.

Определить тип термопары,

используя данные таблицы 4 (см.приложение А).

Протокол результатов лабораторной работы № 2 Таблица 2

№ опыта	E, mB	θ , °C	α , мкВ / °C
вода			
сплав			

2.3. Содержание отчета по лабораторной работе № 2

- Изобразить схемы лабораторных установок для градуировки.
- Представить протокол результатов измерений (см. таблица 2).
- Построить графики зависимости термо-э.д.с. от температуры в координатах функции $E = f(\theta)$.
- Рассчитать коэффициент термо-э.д.с.- α термопары.
- Определить тип термопары.

Вопросы для контроля знаний

Перечислите методы градуировки термопар.

Назовите способы градуировки, использованные в настоящей работе.

Сформулируйте требования к теплофизическим условиям, обеспечивающим качество и точность градуировки термопары.



Тема 2. Температурное поле в металлических стержнях

Методические указания к лабораторным работам № 3 по дисциплине
«Тепловые процессы в технологических системах»

В лабораторных работах, составляющих цикл, последовательно рассматриваются следующие разделы темы:

Раздел 1 Ознакомление со средствами и приемами измерения температуры при исследовании температурных полей.

Основное внимание уделено приемам измерения температуры в условиях нестационарных температурных полей. Студенты используют изготовленную ими хромель-алюмелевую термопару в качестве датчика температуры и на практике знакомятся с инерционностью измерительной схемы, определяют индивидуальные особенности проведения опытов.

Раздел 2 Измерение температурных полей металлических тел.

В лабораторной работе экспериментально измеряют температурные поля длинных металлических стержней. Измерения температуры производят с помощью мобильного датчика – хромель-алюмелевой термопары, которую перемещают вдоль стержня, фиксируя температуру в заданных точках в определенные моменты времени.

В лабораторной работе №3а основное внимание уделено изучению эффектов теплопередачи теплопроводностью при измерении температурных полей стержней, изготовленных из различных металлов.

В лабораторной работе №3б основное внимание уделено изучению эффектов теплопередачи при совокупном действии теплопроводности и конвекции, при различном положении стержня в пространстве.

Теоретическая часть

Температурное поле в металлических стержнях

При нагреве длинного стержня с одной стороны происходит изменение температуры как по длине стержня, так и во времени, т.е. образуется температурное поле, неравномерное в пространстве и времени. Таким образом, в таком опыте реализуется условие теплопередачи. Теплопроводность является основным механизмом теплопередачи в технологических системах, элементами которых являются твердые тела.

При исследовании тепловых явлений реальную форму твердых тел идеализируют, применяя схематизацию. Используя схематизацию, все тела можно классифицировать следующим образом: неограниченное пространство; полупространство; тонкая бесконечная пластина; клин, не ограниченный в двух направлениях; стержень, не ограниченный в одном направлении; цилиндр, не ограниченный в двух направлениях; тело, ограниченное поверхностями, образующими замкнутый объем (например: шар, цилиндр, призма, параллелепипед и т.д.) При проведении тепловых расчетов форму тела учитывают с помощью коэффициента формы, величина которого может изменяться от 1 (для шара) до нескольких единиц (для тел сложной формы)

Механизмы теплопередачи и температурное поле в твердом теле

Температурное поле в твердом теле, в частности, на его поверхности определяется действующими механизмами теплопередачи: теплопроводностью, конвективным теплообменом и излучением.

Явление теплопроводности представляет собой процесс распространения энергии при непосредственном соприкосновении частиц тела или отдельных тел. В общем случае процесс передачи тепла теплопроводностью в твердом теле сопровождается изменением температуры как в пространстве, так и во времени.

Одной из важнейших характеристик температурного поля является градиент температуры.

Градиентом называется векторная величина, направленная по нормали “n” к изотермической поверхности в сторону возрастания температуры “θ” и численно равная производной от температуры по этому направлению в соответствии с выражением

$$\text{grad } t = n \, d\theta/dn \quad (1), \quad (10)$$

Температурный градиент не одинаков для различных точек поверхности. Он больше там, где расстояние между изотермическими поверхностями меньше.



Согласно гипотезе Фурье, количество теплоты dQ , проходящее через элемент изотермической поверхности dF за промежуток времени $d\tau$, пропорционально температурному градиенту dt/dn

$$dQ = -\lambda \left(d\theta/dn \right) dF d\tau, \quad (11)$$

где λ - коэффициент теплопроводности.

Таким образом, измеряя температурное поле тела и зная его теплофизические свойства, можно определить тепловые потоки в теле и указать направление их распространения.

Если тело находится в контакте с жидкостью или газом, то происходит конвективный теплообмен. Различают два вида конвекции: свободную и вынужденную. Конвекция изменяет температуру поверхности нагретого тела, поэтому при расчете тепловых потоков в твердых телах по результатам измерения температурных полей реальных тел следует учитывать как эффекты теплопроводности так и эффекты конвекции. Тепловой поток при конвективном теплообмене определяется уравнением Ньютона-Рихмана:

$$Q = \alpha (\theta_T - \theta_c) F, \quad (12)$$

где θ_T - температура нагретого тела,
 θ_c - температура среды,
 α - коэффициент теплоотдачи.

3. Лабораторная работа № 3 Измерение температурных полей

Цель работы: оказание помощи студентам в изучении тепловых эффектов, возникающих в технологических системах, освоении приемов измерения температурных полей в металлических стержнях, методики проведения аналитических расчетов с целью выявления механизмов теплопередачи.

В лабораторной работе экспериментально измеряют температурные поля длинных металлических стержней. Измерения температуры производят с помощью мобильного датчика – хромель-алюмелевой термопары, которую перемещают вдоль стержня, фиксируя температуру в заданных точках в определенные моменты времени.

Время выполнения работы 4 часа

3.1. Оборудование и материалы

Штатив, нагреватель, термопара, вольтметр.

Образцы (объекты исследования) – цилиндрические прутки из материалов:

- медный сплав;
- сталь конструкционная;
- сталь легированная.

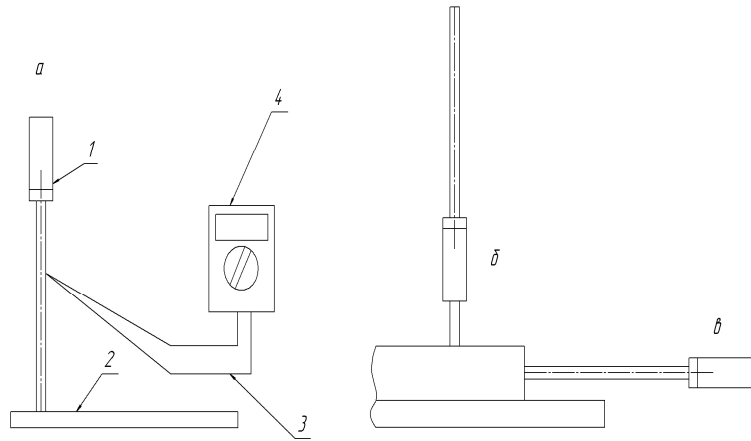
Термопара - сплав хромель-алюмель, диаметр проволоки 0,2 мм.

Регистрирующий прибор – тестер модели В-3040.

Описание лабораторной установки

Лабораторная установка собрана на штативе, на котором установлен образец – цилиндрический прут. На торце стержня расположен точечный нагреватель, мощностью 40 Вт. В качестве датчика температуры использована хромель-алюмелевая термопара, рабочий спай которой устанавливается на измеряемую точку поверхности тела согласно схеме и программе измерений. Контроль температуры производится цифровым мультиметром. Схема установки показана на рисунке 3.





1-нагреватель, 2- штатив, 3- термопара, 4- вольтметр

а) вертикальное расположение стержня, нагреватель - сверху.

б) вертикальное расположение стержня, нагреватель - снизу.

в) горизонтальное расположение стержня, нагреватель - сбоку.

Рисунок 3 - Схема установки для измерения температурных полей стержней

3.2. План экспериментальных исследований

Лабораторная работа №3а Измерение температурных полей стержней из разных сплавов

Образцы для исследований – прутки из стали и меди.

Опыт №1. Цель опыта – исследовать влияние теплопроводности материала на формирование температурного поля стержня, фиксировать условия перехода из состояния «полубесконечного» тела в состояние «конечного» тела.

Условия опыта: стержень расположен вертикально, нагреватель сверху прутка (см. рисунок 3,а). Мощность нагревателя – 60 Вт.

Продолжительность опыта $\tau = 10$ мин. Интервал замеров- 1 мин.

Шаг измерения - $L_2 = 20$ мм.

Количество точек – 16.

Лабораторная работа №3б Измерение температурных полей стержней из стали при различном положении прутка в пространстве

Образцы для исследований – прутки из стали.

Опыт №2 Цель опыта – исследовать влияние различных механизмов теплопередачи на формирование температурных полей стержня, Условия опыта - стержень расположен вертикально, нагреватель снизу (см. рисунок 3,б).

Время замеров, шаг измерений, количество точек – в соответствии с опытом 1.

Опыт №3. Цель опыта - определить границы применения приближения линейного тела.

Условия опыта - стержень расположен горизонтально, нагреватель сбоку (см. рисунок 3,в).

Время замеров, шаг измерений, количество точек – в соответствии с опытом 1.

В каждой точке образца замеры температуры производятся в трех позициях сечения: верхней, нижней и боковой.

3.3. Порядок выполнения экспериментальных исследований

- Установить прутки в штатив.
- Установить нагреватель на торец прутка.
- Подготовить термопару для измерений.
- Включить нагреватель.
- Выполнить измерения температуры в соответствии с планом экспериментальных исследований и схемой.

Замечание. Количество точек измерения температуры возрастает по мере увеличения времени нагрева стержня. При малых временах нагрева достаточно измерить температуру в 3- 5 точках и прекратить измерение при достижении стабильной величины температуры, равной температуре среды. При большой продолжительности нагрева следует измерять температуру в 16 точках стержня, которые отмечены рисками. В конце каждого цикла измерений следует делать замер температуры на свободном конце стержня для контроля эффекта полубесконечного тела. Время замеров температуры в одном цикле должно быть существенно меньше величины интервала измерений τ . При измерении температуры в трех положениях сечения стержня (опыт №3) время интервала измерений следует увеличить по сравнению с опытами №1 и №2.



Дополнительные данные (по указанию преподавателя):

- длина измерений L_1 , мм (размер для справки);
 - шаг измерений L_2 , мм (размер для справки);
 - количество точек измерения N ;
 - интервал измерений τ , мин;
 - общее время опыта $\tau_{\text{общ}}$, мин.
- Материал детали: сталь или медь.

3.4. Построение пространственных графиков температурных полей

Графики температурных полей следует строить в трехкоординатном пространстве по координатам: время τ , температура θ , расстояние L .

Координатную ось θ следует располагать вертикально, а остальные оси целесообразно расположить под различными углами к горизонтальному направлению с целью достижения наибольшей наглядности пространственного графика.

Графики температурных полей можно строить в трехкоординатном пространстве с помощью ПЭВМ, используя прикладную программу EXCEL.

3.5.Содержание отчета о выполнении лабораторной работы

Отчет по лабораторным работам №3и №4 должен содержать следующие разделы и материалы:

- цель работы;
- схема и описание лабораторной установки;
- описание условий проведения опытов;
- протоколы испытаний, (см. таблицы 3 и 4).;
- графики температурных полей (см.рисунок 4);
- теоретический анализ температурных полей с определением тепловых эффектов и роли механизмов теплопередачи и теплофизических свойств материалов детали.

Протокол испытаний для опытов №1 и №2 Таблица 3

Время измерения, мин													
Номер точки, №													
Термо-э.д.с., E, mV													
Температура θ , °C													

Протокол испытаний для опыта №3 Таблица 4

Время измерения, мин													
Номер точки, №													
Температура θ , °C	Верх												
	Середина												
	Низ												

Пример построения графика зависимости $\theta = f(L, \tau)$ показан на рисунке 4

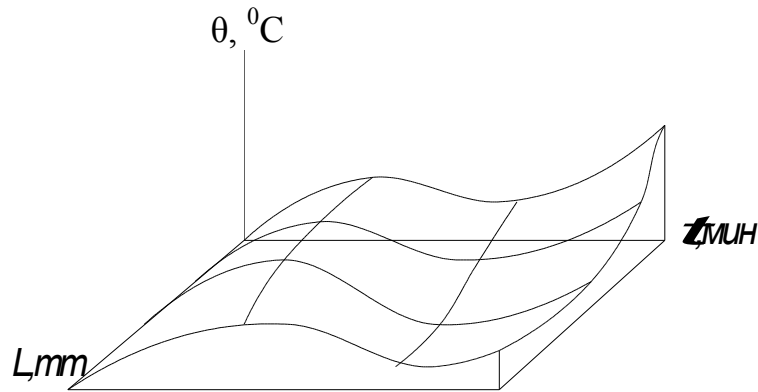


Рисунок 4 - Пример построения графика зависимости $\theta = f(L, \tau)$

Контрольные вопросы

Назовите механизмы теплопередачи.

Что такое градиент температуры.

Что такое тепловое поле.

Что такое термопара.

Тема 3 Температурные эффекты в зоне резания

Методические указания к лабораторным работам №4, №5 по дисциплине «Тепловые процессы в технологических системах»

В лабораторных работах, составляющих цикл, последовательно рассматриваются следующие разделы темы:

Раздел 1 Ознакомление со средствами измерения температуры в зоне резания.

Студенты знакомятся с методиками и средствами измерения температуры в зоне резания. Основное внимание уделено искусственным термопарам в качестве датчика температуры. Студенты используют изготовленную ранее термопару и знакомятся с приемами установки термопары на резце.

Раздел 2 Измерение температуры в зоне резания. Основное внимание уделено изучению воздействия температуры в зоне резания на показатели точности геометрических размеров и формы детали при продольном точении цилиндрической поверхности заготовки, изготовленной из стали и чугуна.

Теоретическая часть

Общие вопросы

Для успешного воздействия на процесс резания важно владеть методами исследования температур и тепловых потоков, влияющих на точность и качество изготавливаемых деталей, их взаимозаменяемость, знать пути и способы отвода теплоты от деталей, режущего инструмента, уметь оценить тепловой режим на поверхностях детали, инструмента, стружки, знать последствия этих воздействий, уметь управлять факторами, влияющими на этот процесс.

Основной поток энергии при изготовлении детали направлен именно к ней и поэтому в зоне обработки и прилегающих к ней компонентах технологической системы (деталь, инструмент, стружка) образуется большое количество внутренней энергии в виде теплоты, концентрирующейся в небольших объемах поверхностного слоя детали режущей части инструмента. Вследствие этого здесь развиваются высокие температуры.

В лабораторной работе проводится измерение температуры в зоне резания при токарной обработке цилиндрической поверхности детали, изготовленной из различных материалов.

В зону обработки тепловая энергия поступает в основном через поверхности инструмента, контактирующие с деталью, где она возникает за счет сил трения и деформации. В непосредственной близости от зоны резания находится стружка и смазочно-охлаждающие средства (жидкие, твердые, газообразные). Качество поверхности и свойства материала поверхностного слоя детали, подвергнутой обработке, является результатом сложного взаимодействия температурного и силового факторов. Физико-механические свойства поверхностного слоя в основном характеризуются глубиной и степенью упрочнения, величиной и характером распределения внутренних напряжений, образованием трещин.

При высоких температурах наряду с разупрочнением происходят термопластические деформации. Действием температурного фактора обусловлены структурно-фазовые превращения в поверхностных слоях детали и инструмента. Скорость нагрева и охлаждения при этом весьма высоки и составляют $10^5 \div 10^6$ °C/с. В результате вторичной поверхностной закалки или отпуска может повыситься или понизиться твердость и изменятся свойства материала.

СОДЕРЖАНИЕ И ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

4. Лабораторная работа №4 Измерение температуры в зоне резания с помощью искусственной термопары

Целью лабораторной работы является оказание помощи студентам в изучении тепловых эффектов, возникающих в технологических системах, приобретении навыков измерения температуры в зоне резания, приемов проведения аналитических расчетов, обеспечивающих точность прогноза количественных показателей точности и качества изготовления детали в технологических системах обработки резанием.

Время выполнения работы 2 часа

4.1. Оборудование и материалы

Токарный станок модели 1М61.

Заготовки – цилиндрические прутки из материалов:

- серый чугун;
- сталь конструкционная;
- сталь легированная.

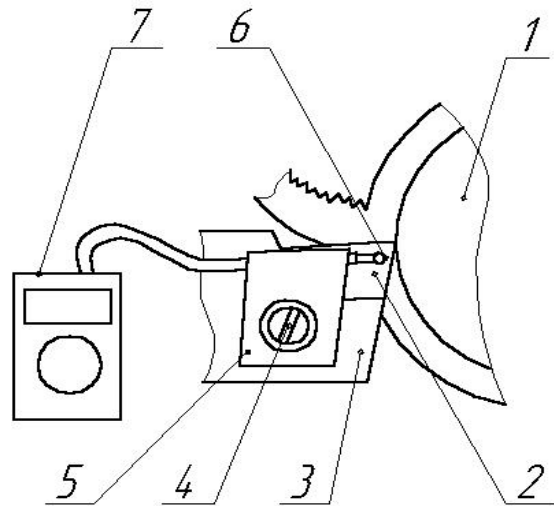
Инструмент – резец проходной, отогнутый, с режущей пластиной из ВК8.

Термопара - сплав хромель-алюмель, диаметр проволоки 0,2 мм.

Регистрирующий прибор – пишущий потенциометр модели КСП-4.



Схема установки термопары в резце показана на рисунке 5.



1 – деталь, 2 – режущая пластина, 3 – тело резца, 4 – винт, 5 – пластина, 6 – рабочий спай термопары, 7 – потенциометр
Рисунок 5 - Схема установки термопары в резце

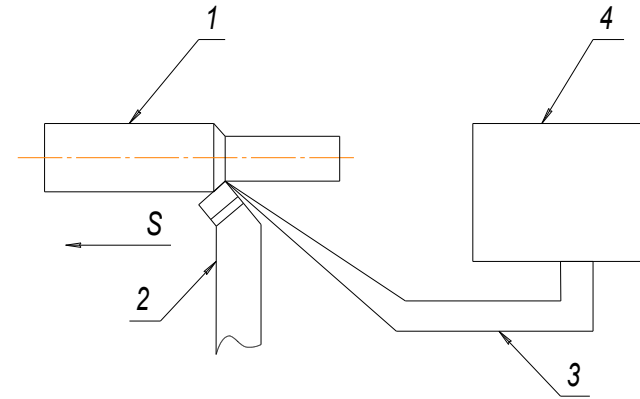
Описание лабораторной установки.

Лабораторная установка представляет собой токарный станок модели 1М61, оборудованный средствами измерения температуры в зоне резания.

В качестве датчика температуры использована хромель-алюмелевая термопара, рабочий спай которой установлен вблизи вершины со стороны задней грани токарного проходного резца с твердосплавной режущей пластиной из сплава ВК8. Контроль температуры производится пишущим потенциометром КСП-4.

В процессе опыта на диаграммной ленте производится запись графика зависимости температуры от времени обработки.

Схема измерения температуры в зоне резания с использованием искусственной термопары показана на рисунке 6.



1 – деталь; 2 – резец; 3 – термопара; 4 – потенциометр
Рисунок 6 – Схема измерения температуры в зоне резания с использованием искусственной термопары

4.2. Порядок выполнения экспериментальных исследований

- Включить потенциометр КСП-4, прогреть в течение 10-15 мин.
- Проверить работоспособность прибора по записи на диаграммной ленте.
- Установить деталь и резец для обработки на станке.
- Настроить станок для обработки по параметрам режима:
число оборотов n - 800 об/мин;
подача S - 0,08 мм/об;
глубина резания t - 0,2 мм;
длина обработки L , мм (размер для справки);
диаметр обработки D , мм (размер для справки);
материал детали (о свойствах –см.приложение).
- Выполнить обработку детали на заданной длине, производя запись температуры на диаграммной ленте.
- Настроить станок для обработки на других параметрах режима (по указанию преподавателя).
- Определить время установления (τ) и уровень (θ) максимальной (стабильной) температуры.
- Выполнить анализ влияния параметров режима резания, условий обработки на установленные показатели теплового режима обработки детали.
- Выполнить аналогичную последовательность действий при обработке других деталей.



4.3. Содержание отчета о выполнении лабораторной работы №4

Отчет по лабораторной работе должен содержать следующие разделы и материалы:

- цель работы;
- схема и описание лабораторной установки;
- описание условий проведения опытов;
- копия диаграммной ленты с записью графиков температуры;
- теоретический анализ тепловых эффектов с определением роли параметров режима резания и теплофизических свойств материалов детали и инструмента в формировании установленных показателей (τ) (θ).

Пример графика зависимости температуры от времени обработки показан на рисунке 11.

5. Лабораторная работа №5 Измерение температуры в зоне резания с помощью естественной термопары.

Целью лабораторной работы является оказание помощи студентам в изучении особенностей формирования термоэлектрических явлений при использовании естественной термопары, приобретении навыков измерения температуры в зоне резания, приемов проведения аналитических расчетов, обеспечивающих точность прогноза количественных показателей точности и качества изготовления детали в технологических системах обработки резанием.

Время выполнения работы 2 часа

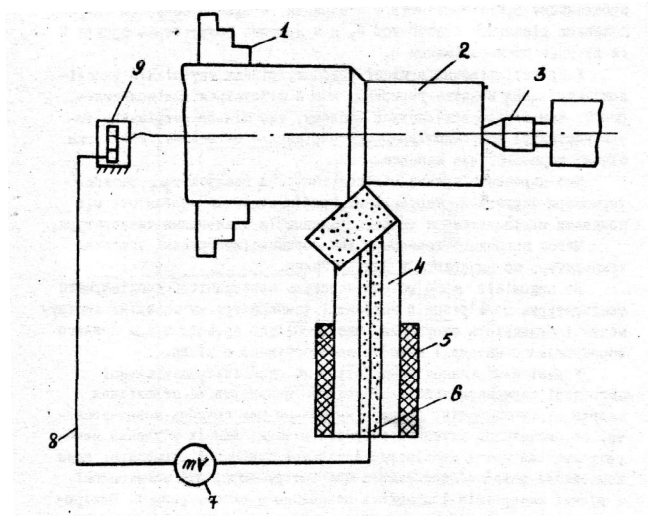
5.1. Оборудование и материалы

- 1 . Токарно-винторезный станок
- 2 . Заготовка
- 3 . Резец токарный с пластиной твердого сплава
- 4 . Милливольтметр
- 5 . Осциллограф
- 6 . Штангенциркуль

Описание устройств и методов измерения температуры с помощью естественной термопары

Метод одноинструментальной термопары состоит в том, что роль термопары выполняют резец и обрабатываемая заготовка. Спаян термопары является зона контакта резца с заготовкой, т.е. зона резания. Каждой паре материалов резец-заготовка присущ определенный коэффициент термо-э.д.с. Поэтому, при изменении сочетания материалов резца и заготовки показания термопары изменяются вследствие отличия коэффициентов термо-э.д.с. Естественная термопара состоит из самого обрабатываемого изделия и режущего инструмента. Схема измерения температуры по методу одноинструментальной термопары показана на рисунке 7.





1- кулачки патрона, 2- заготовка, 3- задний центр,
4- резец, 5- изолятор, 6, 8 – провода соединительные,
7- милливольтметр, 9- токосъемник

Рисунок 7- Схема измерения температуры естественными термопарами по одноинструментальной методике

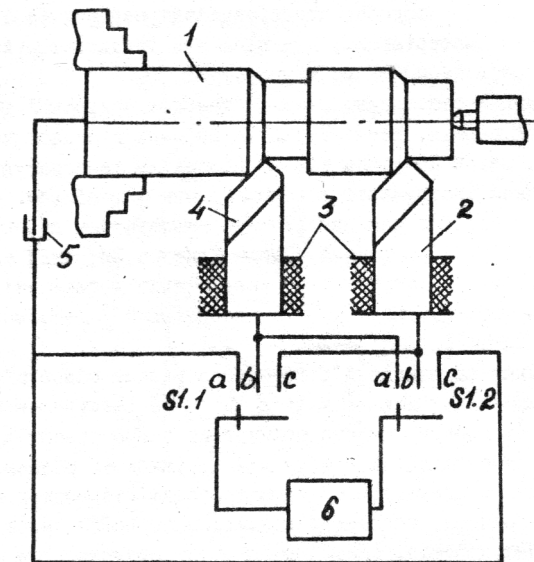
Обрабатываемая заготовка 2 зажимается в кулачках 1 патрона станка и поджимается задним центром 3. Для устранения дополнительных термопар в схеме измерения температуры заготовку следует изолировать как от кулачков патрона, так и от заднего центра. Резец 4 также следует изолировать от резцедержателя с помощью изолирующих прокладок 5. Милливольтметр 7 соединен проводником 6 с режущей пластиной резца и проводником 8 через подвижный токосъемник 9 с заготовкой.

Метод одноинструментальной термопары дает среднеинтегральные значения температур, которые возникают в зоне резания. Показания термопары каждой конкретной пары резец-заготовка должны тарироваться с целью определения абсолютной величины температуры.

Метод двухинструментальной термопары позволяет измерять температуру в зоне резания при обработке заготовок из различных материалов при однократной тарировке термопары,

изготовленной из двух разных резцов. Схема измерения температуры с помощью двухинструментальной термопары показана на рисунке 8. В схеме предусмотрен трехпозиционный переключатель S1.1 – S1.2. В случае установки переключателя на контакты «а-а» или «с-с» такая схема позволяет включать одноинструментальные термопары соответственно для резцов 4 или 2, а при установке переключателя на контакты «b-b» включать двухинструментальную термопару для резцов 4 и 2. Обозначения по рисунку соответственно: 1-заготовка, 2 и 4- резцы, 3-изоляторы, 5- подвижный токосъемник, 6- милливольтметр.

При методе двухинструментальной термопары заготовка играет роль контакта для резцов, поэтому точность измерения температуры зависит от идентичности теплофизических и термоэлектрических условий в зоне контактов обоих резцов с заготовкой.



1-заготовка, 2 и 4- резцы, 3-изоляторы, 5- подвижный токосъемник,
6- милливольтметр.

Рисунок 8- Схема измерения температуры естественными термопарами по двухинструментальной методике

В процессе резания между материалом резца и обрабатываемой заготовкой возникает термоЭДС, по величине которой судят о температуре в зоне резания.

Таким образом, метод естественной термопары позволяет получить среднеинтегральную оценку температуры в зоне резания с некоторой погрешностью (5-7 %), которая определяется по величине термо-э.д.с. зарегистрированной с помощью милливольтметра.

Электронный осциллограф может быть использован для наблюдения за флуктуацией термоЭДС и определения мгновенных значений температуры по шкале осциллографа.

Для измерения температуры при выполнении работы, рекомендуется естественная термопара, элементами которой являются обрабатываемая заготовка и режущая часть резца.

В процессе резания производится измерение величины термо-, электродвижущей сил термопары. Для перевода величины термоэлектродвижущей силы в температуру необходимо тарировать (т.е. градуировать) термопару.

5.2. Порядок выполнения экспериментальных исследований

- Ознакомиться с методами измерения температуры естественной термопарой.
- Составить схему измерения естественной термопары.
- Ознакомиться с методами тарировки естественной термопарой.
- Тарировать естественную термопару.
- Контролировать полученные результаты тарировки, используя графики на рис. 9, 10.
- Провести серию опытов по измерению температуры в зоне резания при переменных параметрах режима резания (условия опытов задаются преподавателем на занятии):
число оборотов шпинделя, n , (мин^{-1}) = ...;
подача, s , (мм/об) = ...;
глубина резания, t , (мм) = ...;
диаметр обработки, D , (мм) = ...;
- Определить скорость резания по формуле

$$V = \frac{\pi D n}{1000} (\text{м / мин}) \quad , \quad (13)$$

- При заданных условиях опытов измерить температуру резания и построить зависимость вида $\theta = f(V, s, t)$ в двойной логарифмической системе координат.

5.2.1. Тарировка термопар

Предварительно проводят тарировку термопары: материал резца - материал обрабатываемой заготовки.

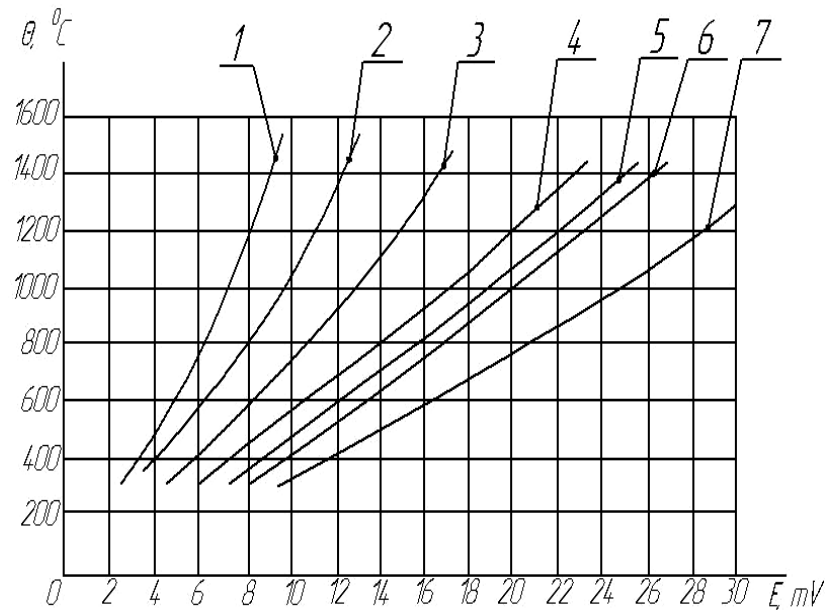
Тарировку проводят путем нагрева внешним источником тепла зоны контакта заготовка-инструмент. Для этого можно воздействовать на объекты пламенем горелки или горячим воздухом. Наилучшие, т.е. однородные условия нагрева можно создать путем помещения всего устройства в однородно нагретую среду. Температуру в зоне контакта образец-инструмент следует измерять эталонной термопарой.

Условия тарирования отличаются от реальных условий работы термопары, т.к. в обоих случаях не обеспечиваются одинаковые площадки контакта между инструментом и обрабатываемой деталью.

К тому же при тарировании термопары создается постоянная температура разогрева спая, а при резании за счет возникновения пленок окислов и срывов их изменяется переходное сопротивление стыка и имеется флуктуация напряжения термоЭДС.

В лабораторной работе используются контрольные тарировочные графики термопар, например, для стали 40 и различных твердых сплавов (рисунок 9), стали 45 и твердого сплава Т15КВ (рисунок 10)





1-T60K6, 2-T30K9, 3-T15K6, 4-T5K10, 5-BK8, 6-BK6, 7-BK3

Рисунок 9 - Тарировочные кривые термопар при точении стали 40

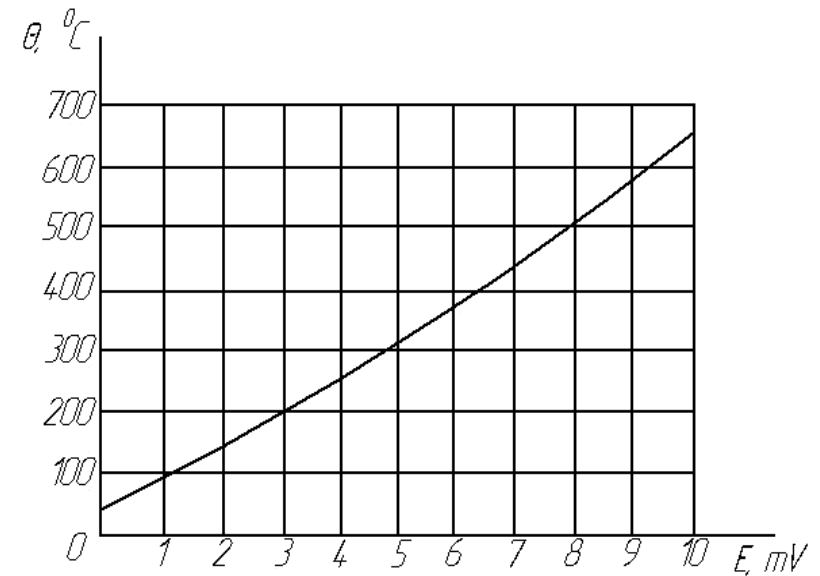


Рисунок 10 - Тарировочная кривая термопары: сталь 45-T15K6

5.3. Содержание отчета о выполнении лабораторной работы

Отчет по лабораторной работе должен содержать следующие разделы и материалы:

- цель работы;
- схема и описание лабораторной установки;
- описание условий проведения опытов;
- график тарировки термопары;
- копия диаграммной ленты с записью графиков температуры (см. рисунок 11);
- теоретический анализ тепловых эффектов с определением роли параметров режима резания и теплофизических свойств материалов детали и инструмента в формировании установленных показателей (τ) (θ).

Пример графика зависимости температуры от времени обработки, рисунок 10.

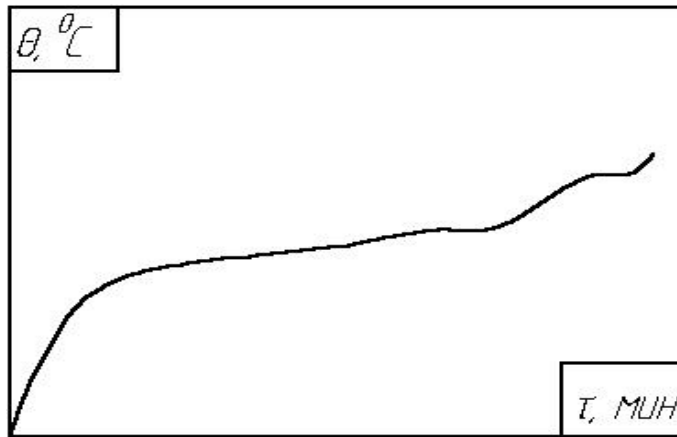


Рисунок 11 - График зависимости температуры от времени обработки

Контрольные вопросы

Назовите источники тепловыделения в зоне резания.

Какие факторы влияют на максимальный уровень температуры при обработке резанием.

Какие факторы влияют на время установления максимальной температуры при резании.

Как определить температуру и время протекания процесса по показаниям потенциометра.

Библиографический список

1. Приборы и методы физического металловедения. Т.1.- М.: Мир, 1973.- 428с
2. Лободюк В.А. Справочник по элементарной физике / В.А.Лободюк, К.П.Рябошапка, О.И.Шулишова.-К.: Наукова думка, 1975.- 448с.
3. Якимов А.В. Теплофизика механической обработки: учебное пособие / А.В. Якимов, П.Т. Слободяник, А.В. Усов.-Киев-Одесса: Лыбидь, 1991.- 240с.
4. Резников А.Н. Теплофизика процессов механической обработки материалов / А.Н.Резников.- М.: Машиностроение, 1981.- 279с.
5. Тихонцов А.М. Тепловые процессы при механической обработке материалов резанием / А.М.Тихонцов, С.И.Чухно, А.Н. Коробочка.- К.: УМК ВО, 1992.- 286с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Теплофизические свойства веществ

Таблица 1

Вещество	Теплоемкость, C_p , Дж/ г К	Уд.теплота плавления, λ , Дж/ г	Температ. плавления, $T_{пл}$, °C	Плотность, ρ , г/см ³
вода	4,19	335	0	1
N i	0,46	280	1452	8,8
Cu	0,394	176	1083	8,9
Fe	0,498	27	1535	7,8
Al	0,92	321	660	2,7
сталь	0,46	205	1300-1400	7,8-8,5
Au	0,134	66	1063	19,3
Ag	0,234	88	960	10,5

Теплофизические свойства материалов

Таблица 2

вещество	медь	латунь	сталь	чугун
теплоемкость c , Дж/г К	0.394	0.384	0.46	0.503
теплопроводность λ , кДж/(м.с К)	0.389	0.086	0.045	0.063
температура плавления, $T_{пл}$, °C	1083	900	500	1200

Реперные точки веществ

Таблица 3

вещество	Температ. плавления, $T_{пл}$, °C	Температ. кипения, $T_{кип}$, °C
вода	0	100
N i	1452	2807
Cu	1083	2582
Al	660	2330
Sn	231,968	
Au	1063	2660
Ag	960	2100
Pb	327,5	
Zn	419,58	

Свойства основных термопар

Таблица 4

свойства	термопара			
	медь - константан	хромель – константан	железо – константан	хромель – алюмель
диапазон темпер. измерен.	70K-:-350°C	20K-:-1000 °C	0 -:- 750 °C	70K-:-1100 °C
Темпер. коэффиц т.э.д.с. α , мкВ/°C	40 -:- 60 в диапазоне 0 -:- 350 °C	60 -:- 80 в диапазоне 0 -:- 1000 °C	50 -:- 64 в диапазоне 0 -:- 750 °C	40 в диапазоне 0 -:- 1100 °C
Погреш- ность	0,1 °C	1-:-3 °C выше300 °C	1-:-3 °C выше300°C	1-:-3 °C выше300 °C
Особен- ности	различие теплопро- водности проводов,	неоднород- ность, хруп- кость	неоднород- ность, хрупкость	неоднород- ность, чувствитель- ность к деформации



Заказ № _____ от « _____ » _____ 200 _____ Тираж _____ экз.
Изд-во СевНТУ

