

**МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

**Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Кафедра технологии металлов

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РЕЖИМОВ
РЕЗАНИЯ ПРИ ТОЧЕНИИ НА ТЕМПЕРАТУРУ
В ЗОНЕ РЕЗАНИЯ**

*Методические указания к выполнению лабораторной работы
для студентов специальностей: 1–74 06 03 «Ремонтно-обслуживающее
производство в сельском хозяйстве», 1–74 06 06 «Материально-техническое
обеспечение АПК», 1–74 06 07 «Управление охраной труда
в сельском хозяйстве»*

**Минск
2007**

УДК 621.9(07)

ББК 34.63я7

И 88

Рекомендовано научно-методическим советом факультета «Технический сервис в АПК» БГАТУ

Протокол № 5 от 20 сентября. 2007 г.

Составители: д-р техн. наук, проф. *Л.М. Акулович*,
канд. техн. наук, доц. *Л.Е. Сергеев*

Рецензенты: д-р техн. наук, проф. каф. технологии металлов *В.Д. Ефремов*,
проф. каф. технологии машиностроения машиностроительного ф-та
БНТУ *Г.Я. Беляев*

УДК 621.9(07)
ББК 34.63я7

© БГАТУ, 2007

Введение

Исследования физических явлений процесса резания (деформаций материала заготовки при снятии стружки, изменений сил резания и температуры в зоне резания) позволяют получить данные для выбора инструмента и его геометрических параметров и оптимизировать режимы обработки. Использование результатов исследований на производстве дает возможность осуществлять качественную обработку заготовок с меньшими затратами при высокой производительности труда.

Студент должен:

знать:

- уравнение теплового баланса при обработке металлов резанием;
- источники возникновения теплоты при резании металлов и др. материалов;
- факторы, влияющие на температуру резания при точении;
- характер влияния на температуру резания режимов резания, геометрических параметров инструмента, свойств обрабатываемого материала и смазочно-охлаждающих технологических сред (СОТС);
- методы определения температуры при обработке материалов резанием;

уметь:

- обрабатывать заготовки на токарно-винторезных станках;
- экспериментально исследовать влияние режимов резания на температуру в зоне резания при точении;
- обрабатывать результаты опытов, их анализировать и строить графические зависимости.

Цель работы:

- 1) закрепить теоретический материал по физическим основам резания курса «Обработка материалов резанием»;

- 2) изучить методы измерения температуры в зоне резания и приобрести практические навыки определения температуры в зоне резания методом искусственной термопары;
- 3) экспериментально установить влияние скорости резания, подачи и глубины резания на величину температуры в зоне резания.

1 Теоретические основы выполняемой работы

Теплота, образующаяся в зоне резания — один из основных факторов, влияющих на процесс обработки заготовок резанием и на качество изделий. Тепловые процессы в зоне резания оказывают влияние на стойкость инструмента и на свойства поверхностного слоя металла обрабатываемых заготовок [1, 2, 3].

Тепловые явления в процессе резания

Источником образования тепла при резании металлов является превращение работы резания в теплоту (примерно 85–99 %). Остальная работа затрачивается на искажение кристаллической решетки. С увеличением количества подводимой теплоты растет температура в зоне резания, которая является основным фактором, определяющим процесс резания. От нее зависит сила трения, усадка стружки, сила резания, износ инструмента.

Работа в зоне резания:

$$A = A_{\text{ДЕФ}} + A_{\text{ТП}} + A_{\text{ТЗ}}, \quad (1)$$

где $A_{\text{ДЕФ}}$ — работа, затрачиваемая на деформацию металла срезаемого слоя (55–60 % общей работы);

$A_{\text{ТП}}$ — работа, затрачиваемая на преодоление трения о переднюю поверхность инструмента (30–35 % общей работы);

$A_{\text{ТЗ}}$ — работа, затрачиваемая на преодоление трения о заднюю поверхность инструмента (10–15 % общей работы).

Соответственно затрачиваемой работе будет и расположение источников образования тепла (рисунок 1).

Образовавшееся тепло от источников распространяется к более холодным областям, распределяясь между стружкой, заготовкой и инструментом (рисунок 2).

Уравнение теплового баланса, т. е. равенство между образовавшимся и ушедшим теплом, можно представить:

$$Q = Q_{\text{ДЕФ}} + Q_{\text{ТП}} + Q_{\text{ТЗ}} = Q_{\text{С}} + Q_{\text{З}} + Q_{\text{ИН}} + Q_{\text{ОС}}, \quad (2)$$

где, $Q_{\text{ДЕФ}}$ — теплота, образующаяся в результате работы деформации;

$Q_{\text{ТП}}$ — теплота, образующаяся в результате работы трения по передней поверхности;

$Q_{\text{ТЗ}}$ — теплота, образующаяся в результате работы трения по задней поверхности;

$Q_{\text{С}}$ — теплота, отводимая стружкой;

$Q_{\text{З}}$ — теплота, отводимая заготовкой;

$Q_{\text{ИН}}$ — теплота, отводимая инструментом;

$Q_{\text{ОС}}$ — теплота, отводимая окружающей средой.

Температурные поля в заготовке, стружке и инструменте в общем случае имеют вид, представленный на рисунке 3.

Характер распределения тепла между стружкой, инструментом и заготовкой при различных скоростях резания графически изображен на рисунке 4.

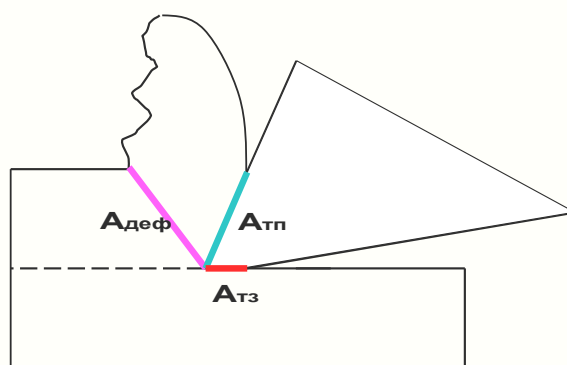


Рисунок 1 — Схема расположения источников образования тепла при резании материалов

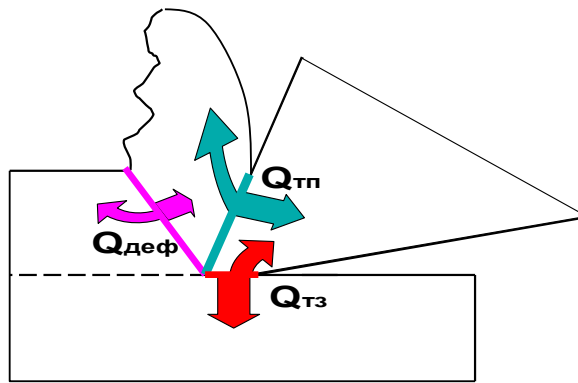
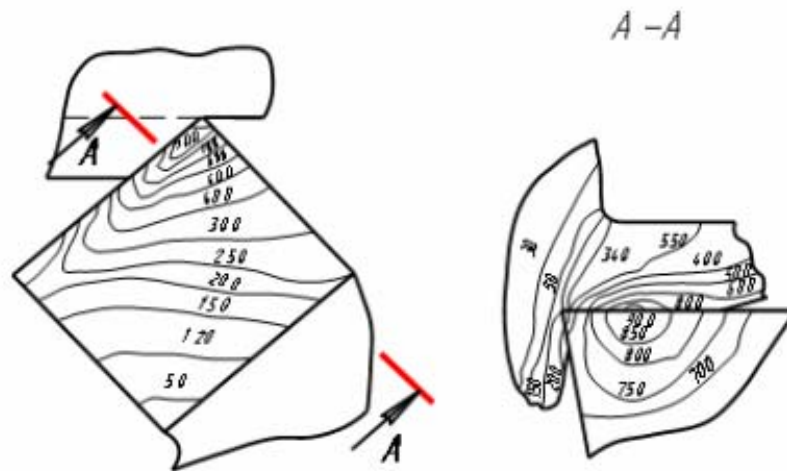


Рисунок 2 — Схема распределения теплоты в зоне резания



На передней поверхности инструмента В главной секущей плоскости

Рисунок 3 — Характер температурных полей при резании материалов

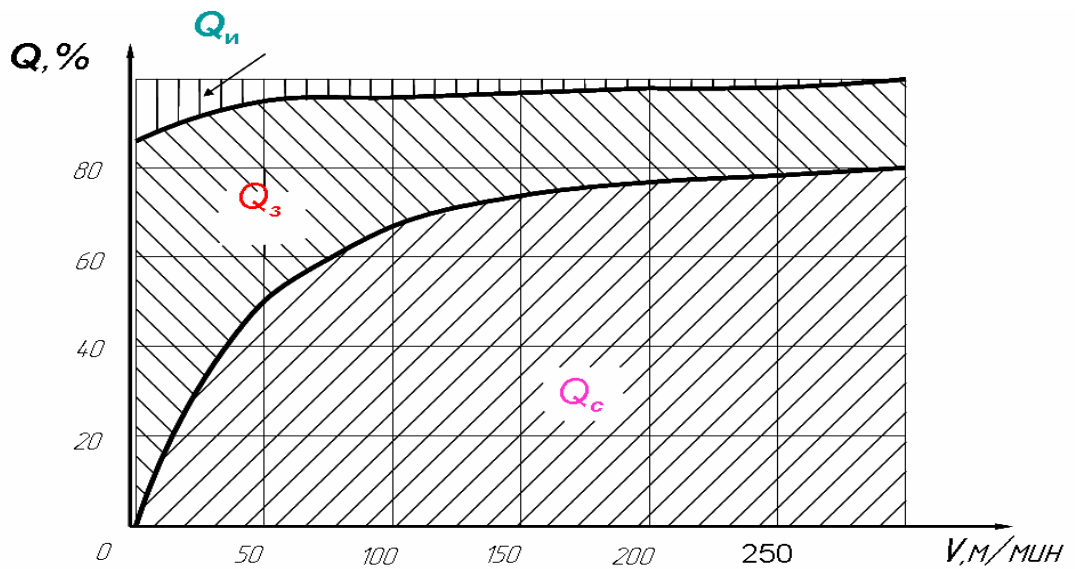


Рисунок 4 — Схема распределения тепла Q между стружкой (Q_C), инструментом ($Q_{ин}$) и заготовкой ($Q_З$) при точении стали резцом из твердого сплава в зависимости от скорости резания V

Влияние различных факторов на температуру резания

Тепло в объеме инструмента, стружки и детали распределяется неравномерно. При этом температурные деформации заготовки и инструмента снижают точность обработки. Поэтому важно знать, какие возникают температуры при разных условиях резания и каков характер их распределения при изменении условий обработки.

Влияние скорости резания — V .

Темп роста температуры отстает от темпа роста скорости резания. Это объясняется тем, что при увеличении скорости резания большая часть тепла уносится стружкой. При $V = 400\text{--}500$ м/мин Q_c составляет 97–98%, а $Q_{ин}$ — 1%.

Влияние подачи — S .

С увеличением подачи температура в зоне резания тоже повышается, но менее интенсивно, чем при увеличении скорости резания.

Влияние глубины резания — t .

С увеличением глубины резания температура в зоне резания повышается незначительно, так как при этом увеличивается поверхность контакта заготовки и инструмента, что улучшает условия теплоотвода.

Для уменьшения температуры в зоне резания применяют смазочно-охлаждающие технологические среды (СОТС).

2 Методы определения температуры резания

Аналитические — используют математические методы построения температурных полей, возникающих под действием системы быстро движущихся точечных мгновенных источников.

В справочной литературе имеются экспериментально полученные формулы расчета температуры в зоне резания и поправочные коэффициенты, учитывающие конкретные условия обработки.

Экспериментальные:

- калориметрический;

- с использованием термопар.

При этом используют следующие виды термопар:

- естественную термопару, в которой электродами являются материал заготовки и материал инструмента. **Недостатком** измерения температуры с использованием метода естественной термопары является то, что измеряют не максимальную, а некоторую среднюю температуру в зоне резания.
- искусственную термопару (хромель-алюмель, медь-константан). Схема определения температуры резания с использованием метода искусственной термопары приведена на рисунке 5. **Недостатком** измерения температуры с использованием метода искусственных термопар является то, что имеет место неточность — термопару нельзя разместить непосредственно в зоне, а на расстоянии 1,5–2 мм. Поэтому измеренная температура будет ниже действительной на 50–80° С.

На изменение температуры (Q) резания оказывают влияние те же факторы, что и на изменение баланса тепла (см. формулу 2). Поэтому по результатам проведенных экспериментальных исследований можно установить эмпирические зависимости температур резания от исследуемых параметров процесса резания в виде функций:

$$Q = f(V; a; b; K_m; K_{ин.}; \gamma; \alpha; \varphi; h; K_{охл.}), \quad (3)$$

где V — скорость резания;

a — толщина срезаемого слоя;

b — ширина срезаемого слоя;

K_m — коэффициент, учитывающий свойства обрабатываемого материала;

$K_{ин.}$ — коэффициент, учитывающий свойства инструментального материала;

$\gamma; \alpha; \varphi$ — геометрические параметры инструмента;

h — величина износа инструмента;

$K_{охл.}$ — коэффициент, учитывающий условия охлаждения.

Однако влияние этих факторов на температуру резания неодинаково. Экспериментально установлено, что с увеличением скорости резания и размеров срезаемого слоя температура резания возрастает. Эта зависимость может быть выражена эмпирическим уравнением:

$$Q = C_Q V^{x_Q} a^{y_Q} \vartheta^{z_Q}, \quad (4)$$

где C_Q — коэффициент, зависящий от физико-механических свойств обрабатываемого и инструментального материалов, геометрических параметров режущего инструмента и СОТС;

x_Q, y_Q, z_Q — показатели степени.

Выражая физические размеры срезаемого слоя при точении (a) и (ϑ) через технологические — глубину резания (t) и подачу (S), выражение (4) примет вид:

$$Q = C_Q V^{x_Q} S^{y_Q} t^{z_Q}. \quad (5)$$

Формула (5) является общей зависимостью влияния одновременно всех трех элементов режима резания (V, S, t). Частными формулами, определяющими зависимость температуры резания от каждого элемента режимов резания, являются:

$$Q_1 = C_{Q1} V^{x_Q}, \quad (6)$$

$$Q_2 = C_{Q2} S^{y_Q}, \quad (7)$$

$$Q_3 = C_{Q3} t^{z_Q}. \quad (8)$$

Степенные уравнения (6), (7), (8), как и построенные по ним графики, представляющие кривые, сложны для анализа и сопоставления между собой. Поэтому уравнения (6), (7), (8) логарифмируют и в прямоугольной системе координат по соответствующим осям откладывают не аргумент и функцию, а их логарифмы.

После логарифмирования эти уравнения примут вид:

$$\lg Q_1 = \lg C_{Q1} + x_Q \lg V,$$

$$\lg Q_2 = \lg C_{Q2} + y_Q \lg S, \quad (9)$$

$$\lg Q_3 = \lg C_{Q3} + z_Q \lg t,$$

а построенные графики будут представлять собой прямые линии вида $y = kx + m$, расположенные под углами $\alpha_x, \alpha_y, \alpha_z$ к оси абсцисс с начальными параметрами $\lg C_{Q1} - \lg C_{Q3}$ (рисунок 6).

Показатели степеней x_Q, y_Q, z_Q представляют собой тангенсы углов наклона прямых линий на графиках, построенных по экспериментальным данным в логарифмической сетке. Они могут быть определены как отношение произвольного элементарного приращения функции (ΔQ) к соответствующему приращению аргумента ($\Delta V; \Delta S; \Delta t$):

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \alpha_x = x_Q &= \Delta Q / \Delta V, \\ \operatorname{tg} \alpha_y = y_Q &= \Delta Q / \Delta S, \\ \operatorname{tg} \alpha_z = z_Q &= \Delta Q / \Delta t. \end{aligned} \tag{10}$$

Величины углов наклона прямых линий могут быть определены также графически.

После определения величин x_Q, y_Q, z_Q находят значения начальных параметров C_{Q1}, C_{Q2}, C_{Q3} . Они определяются из уравнений (6), (7), (8), используя полученные опытным путем значения аргумента (Q_1, Q_2, Q_3) и найденные величины x_Q, y_Q, z_Q функции.

Например:

$$\begin{aligned} C_{Q1} &= Q_1 / V^{x_Q}, \\ C_{Q2} &= Q_2 / S^{y_Q}, \\ C_{Q3} &= Q_3 / t^{z_Q}. \end{aligned} \tag{11}$$

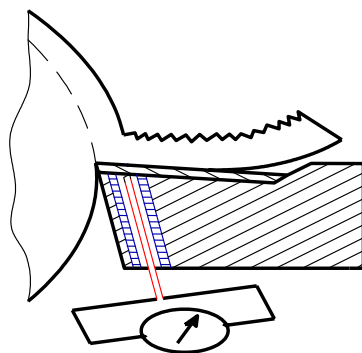


Рисунок 5 — Схема измерения температуры методом термопар при тчении

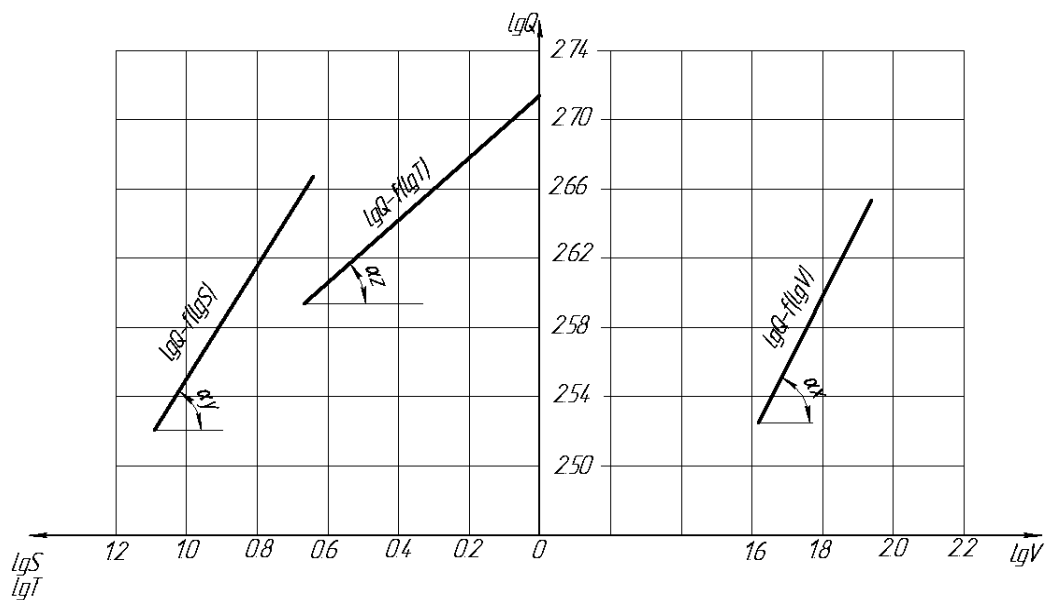


Рисунок 6 — Общий вид графиков функций $lg Q = f(lg V, lg S, lg t)$

3 Методика выполнения работы

В выполняемой лабораторной работе для исследования влияния режимов резания на температуру в зоне резания используются методы искусственной термопары. Заготовки из железоуглеродистых сплавов обрабатываются точением проходными резцами.

Рекомендуемые режимы обработки V , S , t ($V = 5-110$ м/мин, $S = 0,08-0,25$ мм/об, $t = 0,25-1,50$ мм).

Используемое оборудование: токарно-винторезный станок с приспособлениями и инструментами, резцы токарные проходные, заготовки для обработки, приборы для измерения геометрических параметров резцов, штангенциркуль, искусственные термопары с тарировочными графиками (рисунок 7), прибор для измерения электродвижущей силы (ЭДС).

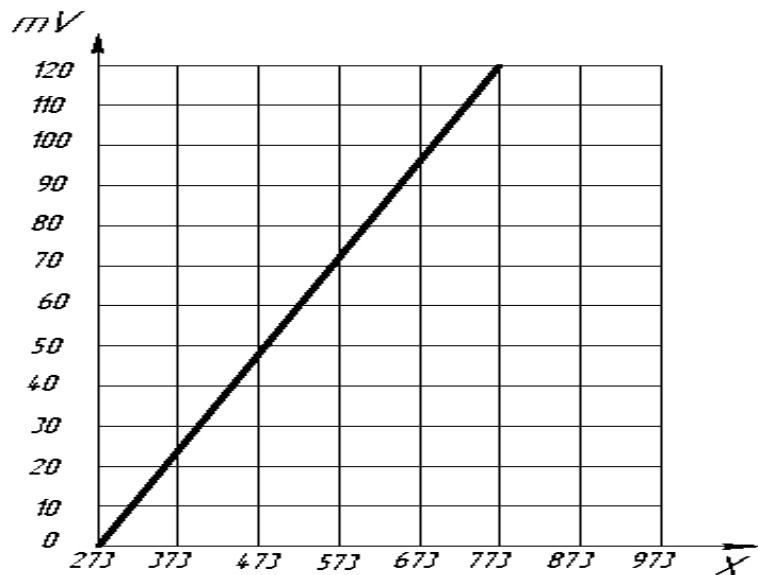


Рисунок 7 — Тарировочная прямая термопары

Необходимые принадлежности: программируемый микрокалькулятор.

Последовательность выполнения работы

1. Измерить диаметр заготовки.
2. Проверить оборудование и собрать схему измерения температуры в зоне резания методом искусственной термопары.
3. Обработать заготовку на станке по режимам, заданным лаборантом и записать результаты в таблицу.
4. Для всех режимов обработки при трехкратном повторении снять показания милливольтметра, найти их среднее значение и записать в таблицу.
5. Для средних значений показаний милливольтметра по тарировочному графику определить температуру в зоне резания и записать значения в таблицу.
6. Построить графики зависимости температуры от режимных факторов.
7. Прологарифмировать величины температур резания и соответствующие им значения скоростей резания, подач и глубин резания (результаты занести в журнал наблюдений).
8. По найденным логарифмам в прямоугольной системе координат построить графики функций: $\lg Q_1 = f(\lg V)$; $\lg Q_2 = f(\lg S)$; $\lg Q_3 = f(\lg t)$. Из построенных

графиков найти тангенсы углов $\alpha_x, \alpha_y, \alpha_z$, т. е. соответствующие показатели степеней x_Q, y_Q, z_Q уравнений (10).

9. Проверить и вычислить коэффициенты C_{Q1}, C_{Q2}, C_{Q3} согласно уравнениям (11) и записать полученные эмпирические формулы по типу (6–8).
10. По полученным эмпирическим формулам построить графики функций $Q_1 = f(V); Q_2 = f(S); Q_3 = f(t)$ в прямоугольной системе координат.
11. Проанализировать построенные графики, сравнить их соответствие графикам температур, полученным по результатам экспериментов, сделать выводы о влиянии элементов режимов резания при обработке заготовок точением на температуру в зоне резания и соответствующих графиков — теоретическим (расчетным).

Требования к оформлению отчета

В отчете необходимо дать краткие сведения об исследуемом физическом явлении и о методах его изучения. Привести результаты исследований, построить графики функций, выполнить расчеты и сделать выводы.

Отчет о работе включает следующие вопросы:

1. Схему установки для измерения температуры в зоне резания;
2. Описание источников образования тепла при резании и его распределении;
3. Описание исходных данных проведения эксперимента;
4. Характеристику материалов: обрабатываемого и режущей части инструмента;
5. Протокол наблюдений с оформленными результатами;
6. Графики зависимостей температуры от режимов резания в логарифмической сетке: $\lg Q_1 = f(\lg V); \lg Q_2 = f(\lg S); \lg Q_3 = f(\lg t)$ по типу рисунка 6;
7. Результаты выполненных расчетов и полученные при этом эмпирические зависимости температур резания от исследуемых параметров;
8. Графики зависимостей температуры от режимов резания V, S, t в прямоугольной системе координат;
9. Выводы.

Таблица — Результаты наблюдений и их обработки

№ серии	№ опыта	Диаметр заготовки D , мм	Частота вращения n , об/мин	Скорость резания V , м/мин	Глубина резания t , мм	Подача s , мм/об	Показания милливольтметра, мВ	Значение температуры, T^0 , К	$Lg Q_{(2,3)}$	$lgy, (s, t)$	x, y, z	C_1, C_2, C_3, C
1	1											
	2											
	3											
	4											
	5											
2	1											
	2											
	3											
	4											
	5											
3	1											
	2											
	3											
	4											
	5											
	6											
	7											

Фамилия, имя, отчество студента

Подпись

Дата выполнения работы

Подпись преподавателя

Вопросы для самоконтроля

1. Назовите основные источники возникновения теплоты при резании металлов.
2. Каков тепловой баланс при резании металлов?
3. Что подразумевается под термином «температура резания»?
4. От чего зависит «температура резания»?
5. Каковы методы определения температуры при резании металлов?
6. Как проводится тарировка термопар?
7. Какие факторы влияют на величину температуры резания при точении?
8. Как влияет на температуру резания скорость резания, величина подачи, глубина резания?
9. Каково влияние на температуру резания геометрических параметров резца?
10. Как влияют на температуру резания физико-механические свойства обрабатываемого материала?
11. Каково влияние на температуру резания смазывающе-охлаждающих технологических сред?

Литература

1. Ящерицын, П.И. Основы резания материалов и режущий инструмент / П.И. Ящерицын. – Минск : Высшая школа, 1981. – 560 с.
2. Некрасов, С.С. Обработка материалов резанием / С.С. Некрасов. – Москва : Агропромиздат, 1988. – 336 с.
3. Дальский, А.М. Технология конструкционных металлов / А.М. Дальский. – Москва : Машиностроение, 1990. – 352 с.
4. Стандарт предприятия. Единая система учебной документации. Отчет о лабораторной работе и практических занятиях. Общие требования и правила оформления СТП БАТУ 02–96. Минск, 1996. – 36 с.

Содержание

Введение	3
1 Теоретические основы выполняемой работы	4
Тепловые явления в процессе резания	4
Влияние различных факторов на температуру резания	7
2 Методы определения температуры резания	7
3 Методика выполнения работы	11
Последовательность выполнения работы	12
Требования к оформлению отчета	13
Вопросы для самоконтроля	15
Литература	16

Учебное издание

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РЕЖИМОВ
РЕЗАНИЯ ПРИ ТОЧЕНИИ НА ТЕМПЕРАТУРУ
В ЗОНЕ РЕЗАНИЯ**

*Методические указания к выполнению лабораторной работы
для студентов специальностей: 1–74 06 03 «Ремонтно-обслуживающее
производство в сельском хозяйстве», 1–74 06 06 «Материально-техническое обеспечение
АПК», 1–74 06 07 «Управление охраной труда
в сельском хозяйстве»*

Составители:

Акулович Леонид Михайлович,
Сергеев Леонид Ефимович

Ответственный за выпуск *В.М. Капцевич*
Редактор *М.А. Макрецкая*
Верстка *М.А. Макрецкая*

Подписано в печать 17.12.2007. Формат 60x84¹/₁₆
Бумага офсетная. Гарнитура Times New Roman. Усл. печ. л. 1,93.
Уч.-изд. л. 1,73. Тираж 105 экз. Заказ 655.

Издатель и полиграфическое исполнение
Белорусский государственный аграрный технический университет
ЛИ № 02330/0131734 от 10.02.2006. ЛП № 02330/0131656 от 02.02.2006.
220023, г. Минск, пр. Независимости, 99, к. 2.