

Учреждение образования
«Полоцкий государственный университет»

ТЕПЛОВЫЕ ПРОЦЕССЫ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к самостоятельной работе
студентов машиностроительных специальностей

Новополоцк 2014

УДК 621.9.06-533.6(075.8)

ББК 34.63-1я73

Одобрены и рекомендованы к изданию методической комиссией машиностроительного факультета в качестве методических указаний (протокол № _8_ от _21.04.2014г._)

Кафедра «Технология и оборудование машиностроительного производства»

СОСТАВИТЕЛИ:

Н.Н. ПОПОК, доктор технических наук, профессор

Е.И. РАКЕЛЬ, магистр технических наук, ассистент

РЕЦЕНЗЕНТЫ:

В.И. АБРАМОВ, кандидат технических наук, профессор

А.М. ДОЛГИХ, кандидат технических наук, доцент

Приведена рабочая программа дисциплины, варианты заданий, контрольные вопросы, задача и методические указания по ее решению, тесты для самопроверки. Даны примеры решения задачи. Методические указания могут быть использованы при самостоятельной работе студентов, проведении практических и лабораторных занятий по специальностям 1-36 01 01 «Технология машиностроения» и 1-36 01 03 «Технологическое оборудование машиностроительного производства».

1. ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Изучение дисциплины «Тепловые процессы в технологических системах» обусловлено возрастающей степенью сложности конструкций технологических систем, использованием в них современных, как правило, труднообрабатываемых материалов, интенсификацией технологических процессов получения изделий машиностроения.

Без учета тепловых явлений и процессов в технологических системах невозможно достижение высокого качества оборудования и оснастки, а также проектирование оптимальных технологических процессов изготовления деталей и сборки машин.

Самостоятельная работа, включающая ответ на вопрос и решение задачи, направлена на усвоение знаний по основным разделам дисциплины «Тепловые процессы в технологических системах» и получение умений и навыков расчета количества теплоты и температуры в компонентах технологической системы.

При ответе на вопрос и решении задачи необходимо пользоваться учебниками, учебными пособиями и методическими указаниями, представленными в рабочей программе дисциплины. Используемые данные должны подтверждаться ссылками на литературные источники с указанием номеров страниц, таблиц и формул.

Вариант задания самостоятельной работы выбирается согласно приложению А. Номер варианта определяется по двум последним цифрам номера зачетной книжки. Согласно варианту выбираются контрольный вопрос (Приложение Б) и исходные данные к задаче (Приложение В).

Материалы самостоятельной работы студента должны быть соответствующим образом оформлены и представлены перед сдачей зачета по дисциплине. В начале материалов необходимо привести содержание и данные согласно варианту задания. В конце необходимо дать перечень использованной литературы (указать фамилию и инициалы автора, наименование источника, издательство, год издания и количество страниц), указать дату выполнения работы и подписать работу.

2. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ, ЕЕ МЕСТО В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ

2.1. Цель преподавания дисциплины

Целью преподавания дисциплины является привитие студентам знаний по основным закономерностям тепловых явлений и управлению тепловыми процессами в технологических системах.

2.2. Задачи изучения дисциплины

Задачами изучения дисциплины является обучение студентов умениям и навыкам выполнять тепловые расчеты и эксперименты, относящиеся к компонентам технологической системы.

2.3. Перечень дисциплин с указанием разделов (тем), усвоение которых необходимо для изучения данной дисциплины

№ п/п	Название дисциплины	Раздел темы
1	Высшая математика	Дифференциальные уравнения
2	Физика	Термодинамика, конвекция, теплопередача
3	Технология конструкционных материалов	Основные понятия об элементах режима резания, конструкции станков
4	Материаловедение	Теория термической обработки
5	Теория резания	Технологическая система

3. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (ЛЕКЦИИ)

3.1. Название тем, их содержание, объем в часах лекционных занятий

№ п/п	Название темы	Содержание	Объем часов
1	2	3	4
1	Введение	Основные виды теплообмена, краткий исторический обзор развития учения о теплообмене.	2
2	Основные положения учения о теплопроводности	Температурное поле в твердом теле. Изотермические поверхности. Температурный градиент. Закон Фурье. Коэффициенты теплопроводности и температуропроводности. Дифференциальное уравнение теплопроводности. Понятие о стационарных, нестационарных и квазистационарных полях и их описание.	6
3	Схематизация компонентов технологических систем	Условия однозначности при решении дифференциального уравнения теплопроводности. Классификация источников и стоков теплоты, форма источников и их расположение по отношению к телам, участвующим в теплообмене. Закон распределения интенсивности тепловых потоков. Скорость перемещения источников теплоты. Время функционирования источников в конкретных технологических системах. Примеры схема-	6

		тизации источников и законов их распределения при резании. Схематизация свойств и теплофизических характеристик конструкционных и инструментальных материалов. Эквивалентные коэффициенты теплопроводности составных тел, смесей и абразивных инструментов. Определение эквивалентных теплофизических характеристик составных инструментов. Схематизация геометрических форм тел, участвующих в теплообмене.	
4	Методы описания процессов теплопроводности в твердых телах технологических систем	Классический метод решения дифференциального уравнения теплопроводности с заданными краевыми условиями. Метод интегрального преобразования Лапласа. Метод источников тепла. Фундаментальное решение дифференциального уравнения теплопроводности и его использование для описания температурных полей в твердых телах. Учет формы тел и условий на граничных поверхностях с помощью системы отраженных источников. Преимущества метода источников тепла при анализе тепловых процессов в технологических системах. Численный метод решения дифференциального уравнения теплопроводности и его использование для описания температурных полей в инструментах и заготовках, в том числе при необходимости учесть зависимость теплофизических свойств материалов от температуры. Моделирование явлений теплопроводности. Виды моделирования. Устройства для моделирования.	6
5	Конвективный теплообмен и теплообмен излучением	Основные положения учения о конвективном теплообмене. Коэффициент теплоотдачи. Критериальные уравнения для различных задач конвективного теплообмена в технологических системах. Теплообмен излучением. Общие понятия и определения. Теплообмен между телами, разделенными прозрачной средой. Классификация лучистого теплообмена в технологических системах, расчет коэффициентов теплообмена излучением для различных схем.	4
6	Методы экспериментального определения температур в технологических системах	Классификация методов в зависимости от цели измерения (средняя температура, локальная температура, температурное поле) и мест измерения. Основные виды датчиков для температурных измерений. Естественные термопары. Полуискусственные и искусственные термопары. Применение и тарирование термопар при механической обработке материалов. Бесконтактные способы измерения температур. Измерения, основанные на регистрации инфракрасного излучения. Фотоэлектрические методы измерения.	6
7	Теплофизический анализ как средство повышения эффективности процессов механической обработки	Теплообмен при резании материалов. Источники теплообразования и их интенсивность. Схематизация формы заготовки, инструмента и стружки. Закон распределения температур на контактных поверхностях инструмента. Температура резания. Пути управления тепловыми явлениями при резании с це-	6

	материалов и качества изделий	<p>лю повышения эффективности процесса обработки и стойкости инструмента.</p> <p>Теплообмен при неустановившемся процессе и прерывистом резании. Влияние ротационного перемещения режущего лезвия на теплообмен и температуру в зоне резания. Резание с подогревом обрабатываемого материала. Основные правила рационального использования СОЖ.</p> <p>Теплообмен при финишных методах обработки. Особенности теплообмена при шлифовании материалов. Локальная и средняя температуры на поверхностях контакта.</p> <p>Влияние температуры на микротвердость и износостойкость поверхности детали при ионно-лучевой обработке.</p> <p>Теплообразование в системах, узлах и механизмах станков. Источники теплообразования.</p> <p>Интенсивность теплообразования в зубчатых колесах, винтовых парах, подшипниках, муфтах, тормозах, электродвигателях. Влияние тепловых процессов на температурные деформации деталей станка, заготовки, инструмента. Общие рекомендации по оптимизации режима обработки и конструкторским приемам, сводящим к минимуму влияние тепловых смещений в технологических системах на погрешности формы и размеров изделий.</p>	
--	-------------------------------	--	--

3.2. Лабораторные занятия, их наименование и объем в часах

№ п/п	Наименование	Объем в часах
1	Определение зависимости коэффициента теплопроводности инструментальных материалов от температуры	4
2	Методы измерения температуры и тарирования термопар	2
3	Измерение температуры методом естественной термопары	2
4	Влияние режима резания на температуру резания	2
5.	Экспериментальное определение тепловых потоков и температур в технологических системах с использованием пирометра модели «Optris LS»	2

4. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

4.1. Основная и дополнительная литература

Основная

1. Резников А. Н., Резников Л. А. Тепловые процессы в технологических системах. – М.: Машиностроение, 1990. – 228 с.
2. Резников А.Н. Теплофизика процессов механической обработки материалов. – М.: Машиностроение, 1981. – 279 с.
3. Ящерицын П. И. Теория резания: учебник / П. И. Ящерицын, Е. Э. Фельдштейн, М. А. Корниевич. – Минск: Новое знание, 2005. – 512 с.
4. Ящерицын П.И. Теория резания. Физические и тепловые процессы в технологических системах: учю. Для вузов / П.И. Ящерицын, М.Л. Еременко, Е.Э. Фельдштейн. – Минск: Выш. шк, 1996. – 512 с.
5. Попок Н. Н. Теория резания: учеб.-метод. комплекс для студентов машиностроительных специальностей / Н. Н. Попок. – Новополоцк: ПГУ, 2005. – 240 с.
6. Попок Н. Н. Теория резания: учеб. пособие для студентов машиностроительных специальностей / Н. Н. Попок. – Новополоцк: ПГУ, 2006. – 228 с.

Дополнительная

7. Теплотехника: учебник для вузов / А. П. Баскатов, Б. В. Берг, Э. К. Вити и др.; под ред. А. П. Баскатова. – М.: Энергоиздат, 1982. – 264 с.
8. Справочник технолога-машиностроителя в 2-х томах. Т. 2. / под ред. А. Г. Косиловой и Р. К. Мещерякова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1985. – 240 с.

4.2. Методические указания

1. Попок Н. Н. Иллюстративный материал к курсу лекций «Теория резания, тепловые процессы в технологических системах» для студентов специальности 1201 и 1202. Часть 3. Тепловые процессы в технологических системах, теплофизика резания. Изнашивание, стойкость и прочность режущих инструментов. Качество обработанной поверхности детали. – Новополоцк: НПИ, 1993. – 16 с.
2. Петров В. А. Определение теплопроводности инструментальных материалов. Методические указания к лабораторной работе по курсу «Тепловые процессы в технологических системах» для студентов специальности 0501. – Новополоцк: НПИ, 1987.
3. Петров В. А. Измерение температуры методом естественной термомпары. Методические указания к лабораторной работе по курсу «Теория резания, физические и тепловые явления» для студентов специальностей

1201, 1202. – Новополоцк: НПИ, 1989.

4. Попок Н. Н., Сидикевич, А. В. Определение зависимости коэффициента теплопроводности инструментальных материалов от температуры. Методические указания к лабораторной работе по курсу «Тепловые процессы в технологических системах». – Новополоцк: ПГУ, 2008.

5. Петров В. А. Методы измерения температуры и тарирования термомпар. Методические указания к лабораторной работе по курсу «Тепловые процессы в технологических системах». – Новополоцк: НПИ, 1989.

6. Попок Н. Н., Сидикевич А. В. Экспериментальное определение тепловых потоков и температур в технологических системах с использованием пирометра модели «OptrisLS». Методические указания к лабораторной работе по курсу «Тепловые процессы в технологических системах». – Новополоцк: ПГУ, 2013.

5. УСЛОВИЕ ЗАДАЧИ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ЕЕ ВЫПОЛНЕНИЮ

На токарном станке модели 16К20 обрабатывается заготовка резцом с пластиной из твердого сплава с заданными углами ϕ и γ при глубине резания t (мм), подаче S (мм/об) и скорости резания v (м/мин).

Определить:

- мощность тепловыделения в зоне резания Q (Вт);
- эквивалентную теплопроводность державки с режущей пластиной;
- температуру на опорной плоскости режущей пластины со стороны задней поверхности.

Сделать заключение о возможности разупрочнения материала державки, приняв температуру разупрочнения равной 250°C .

Перед тем как приступить к решению задачи, необходимо ознакомиться с методами расчета тепловой мощности процесса резания [1] и изучить материал по смежным вопросам дисциплины «Теория резания» [2-4].

По эмпирическим формулам рассчитать усилие резания, воспользовавшись для этого справочной литературой, например [5].

Вычислить общую тепловую мощность [1, 2]. Полученный результат перевести в единицы международной системы.

Для определения эквивалентного коэффициента теплопроводности державки с режущей пластиной можно воспользоваться формулой:

$$\lambda_{\text{э}} = \frac{H}{\frac{h}{\lambda_1} + \frac{H-h}{\lambda_2}},$$

где h – высота режущей пластины, см;

H – высота державки, см;

λ_1 – теплопроводность материала режущей пластины, кал/см·с·град;

λ_2 – теплопроводность материала державки, кал/см·с·град.

Значения λ приведены в приложении Д.

Для расчета температуры в основании режущей пластины можно воспользоваться формулой:

$$\theta = \frac{q}{\pi \cdot \lambda} \cdot (-E_i \cdot [-\frac{r^2}{4\omega \cdot \tau}]),$$

где q – интенсивность тепловыделения в тело резца на единицу длины режущей кромки, кал/см·с;

λ_1 – теплопроводность материала режущей пластины, кал/см·с·град;

r – расстояние от режущей кромки до основания пластины по задней поверхности, см;

ω – коэффициент температуропроводности, см²/с;

$E_i(x)$ – интегрально-показательная функция;

τ – время обработки одной детали, с.

Интенсивность тепловыделения в тело резца принять равной 5 % от общего количества тепла, т.е. $q = 0,05Q/b$, где b – ширина сечения срезаемого слоя, см; Q – общее количество теплоты, кал/с.

Значение интегрально-показательной функции вычислить по приближенной формуле:

$$E_i(-x) = 0.5772 + \ln|x|$$

Диаметр и длину детали, необходимые для определения времени обработки, принять самостоятельно.

6. ПРИМЕРЫ ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАДАНИЙ

Пример 1

Ответ на теоретический вопрос. Опишите основные методы и способы управления тепловыми явлениями при резании.

Целью управления тепловыми явлениями при резании является общее изменение температуры в зоне обработки и направленное изменение температуры отдельных участков инструмента и заготовки. Достижение этой цели позволяет создать оптимальные условия контакта инструмента с заготовкой, снизить температурные деформации элементов технологической системы, повысить стойкость инструмента и т.д. Для общего изменения температуры резания применяются способы регулирования мощности теплообразования и длительности контакта инструмента с обрабатываемым материалом; ротационной обработки; комбинирования различных видов энергии; подачи СОЖ. Для направленного изменения температуры применяются способы регулирования размеров контактных площадок; дополнительные теплоотводящие кромки и фаски; различное размещение и размеры режущих пластин, а также использование материалов режущих пластин с различным коэффициентом теплопроводности. Рассмотрим примеры реализации этих способов.

Регулирование мощности тепловыделения может быть достигнуто изменением режима резания, геометрии и конструкции инструмента.

Уравнение $Q = P_z \cdot v$, с учетом эмпирической зависимости силы резания от элементов режима резания может быть представлено в виде формулы:

$$Q = C_{pz} \cdot b^{x_{pz}} \cdot a^{y_{pz}} \cdot v^{z_{pz}},$$

где b и a - соответственно ширина и толщина среза;

C_{pz} - коэффициент, зависящий от свойств материала заготовки;

$x_{pz} = 1$, $y_{pz} = 0,7 \dots 0,8$, $z_{pz} = -(0,1 \dots 0,2)$ - показатели степени при соответствующих аргументах (численные значения приведены для случая обработки конструкционных материалов).

Несмотря на большое значение показателя степени x_{pz} влияние b на количество теплоты резания невелико, т.к. с увеличением b возрастает длина контакта инструмента с заготовкой и стружкой и улучшается теплоотвод, что практически не изменяет удельную мощность тепловыделения.

Поэтому наибольшее влияние на удельную мощность тепловыделения оказывают v и a . Управление скоростью резания и подачей для поддержания необходимого уровня мощности тепловыделения широко применяется при обработке торцовых и конических поверхностей заготовок на

лоботокарных и карусельных станках, сложных контуров на станках с ЧПУ.

Увеличивая скорость резания на 2 ... 3 порядка ($v = 200 \dots 1000$ м/с) по сравнению с обычно применяемыми значениями v , можно не только поддерживать постоянное тепловыделение, но и снижать температуру резания при одновременном повышении производительности процесса резания. Достигается это за счет того, что при сверхскоростном резании отделение срезаемого слоя происходит в результате не пластического, а хрупкого разрушения, требующего меньшей работы деформирования металла в зоне резания.

Эффективным способом регулирования мощности тепловыделения является распределение работы резания между несколькими инструментами или зубьями, работающими последовательно или одновременно. Наглядным примером является замена расточного резца зенкером с числом зубьев z . При одинаковой подаче на один оборот заготовки или инструмента толщина среза, приходящегося на одно лезвие зенкера, в z раз меньше, чем при работе резцом. Поэтому и тепловыделение в зоне резания каждого зуба зенкера меньше, чем в зоне резания расточного инструмента. Вместе с тем мощность тепловыделения при работе многолезвийным инструментом, по сравнению с мощностью тепловыделения при работе однолезвийным, снижается непропорционально изменению толщины среза, т.к. вследствие особенностей процесса пластического деформирования удельные энергозатраты на удаление 1 мм^3 материала заготовки, а значит и тепловыделение, повышаются с уменьшением толщины среза одним лезвием.

Регулирование длительности контакта инструмента с заготовкой как фактор изменения температуры резания основано на выводе о более низких температурах на поверхностях инструмента при неустановившемся теплообмене, чем при стационарном. Неустановившийся теплообмен характерен, например, для процесса строгания, где средний уровень температур можно регулировать соотношением между скоростями рабочего и вспомогательного ходов. При торцовом фрезеровании оптимальное соотношение между временем резания и холостого пробега фрезы можно получить, рассчитав диаметр инструмента при заданной ширине фрезерования.

Преимущества теплового режима прерывистого резания можно использовать и при обтачивании, например, фрезоточении и ротационном точении заготовок (Рис. 1).

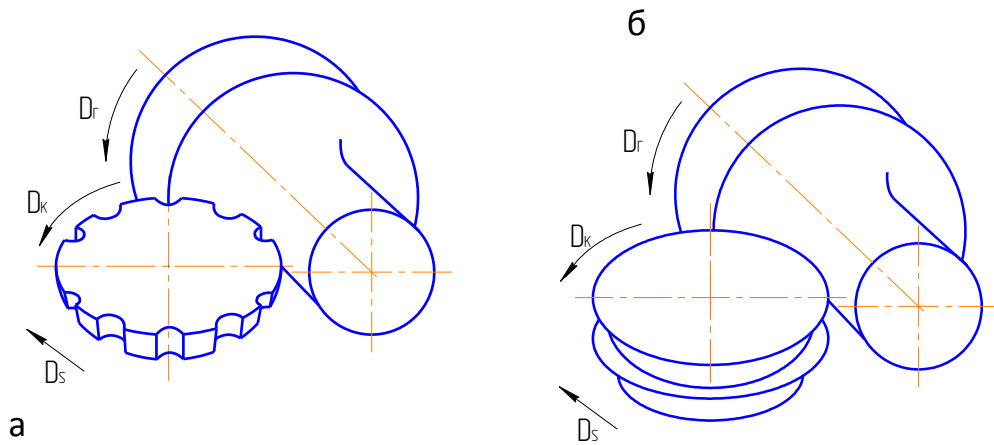


Рис. 1 Схемы фрезеточарной (а) и ротационной (б) обработки

При фрезеточении (Рис. 1, а) используется специальный инструмент с расположенными по окружности лезвиями, которому помимо движения подачи D_s сообщается дополнительное вращательное движение D_k . При этом достигается снижение температуры в зоне резания и повышение стойкости инструмента. Кроме того, обеспечивается устойчивое стружкодробление и повышение производительности обработки, так как глубина резания в этом случае не связана с шириной среза.

При ротационном точении круглым одним или двумя коаксиально установленными резцами (Рис. 1, б) снижение температуры резания связано не только с нестационарностью теплообмена, но и с частичной заменой трения скольжения на трение качения, что снижает мощность тепловыделения. Этот фактор наряду с удлинением активного участка режущей кромки приводит к значительному повышению стойкости вращающегося резца по сравнению с традиционным токарным резцом. Управлять тепловыми явлениями при резании можно также путем рационального использования смазочно-охлаждающих сред, комбинированием различных видов энергии, выбором рациональной конструкции режущей части инструмента.

Пример 2

Задача. На токарном станке модели 16К20 обрабатывается заготовка из серого чугуна СЧ30, НВ220 резцом с пластиной твердого сплава ВК8 с передним углом $\gamma = 0^\circ$ и углом в плане $\varphi = 60^\circ$. Глубина резания $t=5$ мм, подача $s=0,5$ мм/об, скорость резания $v=80$ м/мин.

Определить:

- мощность тепловыделения в зоне резания Q ;
- эквивалентную теплопроводность державки с пластиной по нормали к основанию резца;
- рассчитать температуру на опорной поверхности пластинки инструментального материала со стороны задней грани, исходя из предположения, что в резец идет 5 % общего количества тепла.

Температуру разупрочнения считать равной 250°C

1. Общее количество теплоты, выделяющейся при резании можно определить по формуле [1]:

$$Q = 0,039 P_z \cdot v,$$

где P_z - тангенциальная составляющая усилия резания;

v - скорость резания, м/мин.

Составляющая усилия резания P_z может быть вычислена по формуле [5]:

$$P_z = 10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot S^y \cdot v^n \cdot K_p,$$

где C_p, x, y, n, K_p - поправочные коэффициенты

$$C_p = 92, x = 1, y = 0,75, n = 0 \text{ [5, с.273]}$$

$$K_p = K_{mp} \cdot K_{\varphi p} \cdot K_{\alpha p} \cdot K_{\lambda p} \text{ [5, с.271]}$$

$$K_{mp} = (HB/190)^n = (220/190)^{1,25} = 1,2 \text{ [5, с.264]}$$

$$K_{\varphi p} = 0,94, K_{\alpha p} = 1,1, K_{\lambda p} = 1, K_{\alpha p} = 1,$$

$$K_p = 1,2 \cdot 0,94 \cdot 1,1 \cdot 1 \cdot 1 = 1,24$$

$$P_z = 10 \cdot 92 \cdot 5^1 \cdot 0,5^{0,75} \cdot 80^0 \cdot 1,24 = 3391 \text{ Н} = 340 \text{ кг}$$

В этом случае в зоне резания выделяется

$$Q = 0,039 \cdot 80 \cdot 340 = 1061 \text{ кал / с} = 4442 \text{ Вт}$$

2. Для определения эквивалентной теплопроводности державки с пластиной режущей части можно воспользоваться формулой

$$\lambda_{\text{э}} = \frac{H}{\frac{h}{\lambda_1} + \frac{H-h}{\lambda_2}},$$

где h - высота пластинки, см; принимаем $H=4\text{мм}=0,4\text{см.}$;

H - высота державки, см; принимаем $H=25\text{мм}=2,5\text{ см.}$

λ_1 - теплопроводность материала режущей пластинки; принимаем из приложения Г для ВК8 $\lambda_1=0,13$ кал/(см·с·°C);

λ_2 - теплопроводность материала державки; принимаем из приложения Г для стали 40 $\lambda_2=0,092$ кал/(см·с·°C).

Тогда

$$\lambda_3 = \frac{2,5}{\frac{0,4}{0,13} + \frac{2,5-0,4}{0,092}} = 0,093 \text{ кал/(см·с·°C)}$$

3. Для расчета температуры в основании пластинки можно воспользоваться формулой

$$\theta = \frac{q}{\pi\lambda_1} \left(-E_i \left[-\frac{r^2}{4\omega\tau} \right] \right),$$

где q - интенсивность тепловыделения в тело резца на единицу длины режущей кромки, кал/см·с;

$E_i(x)$ - интегрально-показательная функция;

r - расстояние от режущей кромки до опорной плоскости пластинки, мм;

ω - коэффициент температуропроводности, см²/с;

τ - время обработки одной детали, с;

Интенсивность тепловыделения q можно определить по формуле $q=0.05 Q/b$

где b - длина активной части режущей кромки, см:

$$b = t / \sin \varphi = 5 / \sin 60^\circ = 5,76 \text{ мм} = 0,58 \text{ см.}$$

Тогда

$$q = 0,05 \cdot 1061 / 0,58 = 91 \text{ кал / см·с .}$$

Для определения времени обработки зададимся длиной обрабатываемой детали $L=25$ мм и диаметром $\phi 120$ мм. В этом случае частота вращения детали будет равна

$$n = \frac{1000 \cdot v}{\pi D} = \frac{1000 \cdot 80}{3,14 \cdot 120} = 212 \text{ мин}^{-1}.$$

Время обработки одной детали составит

$$\tau = \frac{L}{ns} = \frac{25}{212 \cdot 0,5} = 0,23 \text{ мин.} = 14 \text{ с}$$

Коэффициент температуропроводности ω принимаем из приложения Г равным $0,246$ см²/с.

Аргумент интегрально показательной функции равен

$$-\frac{r^2}{4\omega\tau} = -\frac{0,8^2}{4 \cdot 0,246 \cdot 14} = -0,05,$$

а сама функция равна

$$-E_i(-0,11) = 2,3679$$

Температура на основании пластинки равна

$$\theta = \frac{q}{\pi\lambda_1} \left(-E_i \left[-\frac{r^2}{4\omega\tau} \right] \right) = \frac{91}{3,14 \cdot 0,13} \cdot 2,3679 = 527 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Вывод: температура на основании пластины больше температуры разупрочнения материала державки, следует уменьшить режим резания, применить СОЖ.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Резников А. Н., Резников Л. А. Тепловые процессы в технологических системах. – М.: Машиностроение, 1990. – 228 с.
2. Ящерицын П. И. Теория резания: учебник / П. И. Ящерицын, Е. Э. Фельдштейн, М. А. Корниевич. – Минск: Новое знание, 2005. – 512 с.
3. Попок Н. Н. Теория резания: учеб.-метод. комплекс для студентов машиностроительных специальностей / Н. Н. Попок. – Новополоцк: ПГУ, 2005. – 240 с.
4. Попок Н. Н. Теория резания: учеб. пособие для студентов машиностроительных специальностей / Н. Н. Попок. – Новополоцк: ПГУ, 2006. – 228 с.
5. Справочник технолога-машиностроителя в 2-х томах. Т. 2. / под ред. А. Г. Косиловой и Р. К. Мещерякова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1985. – 240 с.

Варианты заданий

№ варианта	Номера вопроса и варианта задачи	№ варианта	Номера вопроса и варианта задачи	№ варианта	Номера вопроса и варианта задачи
00	1,1	34	5,5	67	8,8
01	2,2	35	6,6	68	9,9
02	3,3	36	7,7	69	10,10
03	4,4	37	8,8	70	1,1
04	5,5	38	9,9	71	2,2
05	6,6	39	10,10	72	3,3
06	7,7	40	1,1	73	4,4
07	8,8	41	2,2	74	5,5
08	9,9	42	3,3	75	6,6
09	10,10	43	4,4	76	7,7
10	1,1	44	5,5	77	8,8
11	2,2	45	6,6	78	9,9
12	3,3	46	7,7	79	10,10
13	4,4	47	8,8	80	1,1
14	5,5	48	9,9	81	2,2
15	6,6	49	10,10	82	3,3
16	7,7	50	1,1	83	4,4
17	8,8	51	2,2	84	5,5
18	9,9	52	3,3	85	6,6
19	10,10	53	4,4	86	7,7
20	1,1	54	5,5	87	8,8
21	2,2	55	6,6	88	9,9
22	3,3	56	7,7	89	10,10
23	4,4	57	8,8	90	1,1
24	5,5	58	9,9	91	2,2
25	6,6	59	10,10	92	3,3
26	7,7	60	1,1	93	4,4
27	8,8	61	2,2	94	5,5
28	9,9	62	3,3	95	6,6
29	10,10	63	4,4	96	7,7
30	1,1	64	5,5	97	8,8
31	2,2	65	6,6	98	9,9
32	3,3	66	7,7	99	10,10
33	4,4				

ПЕРЕЧЕНЬ КОНТРОЛЬНЫХ ВОПРОСОВ

1. Опишите основные виды теплообмена в технологических системах. На примере обработки лезвийным инструментом покажите схему теплообмена в зоне резания.

2. Дайте определение температурного поля. Чем отличаются между собой нестационарные и стационарные температурные поля. Понятие о температурном градиенте.

3. Сформулируйте основной закон теплопроводности и приведите его математическое выражение. Плотность теплового потока, его размерность.

4. Выведите дифференциальное уравнение теплопроводности для однородного изотропного тела. Что такое коэффициент температуропроводности, какова его размерность?

5. Перечислите условия однозначности решения дифференциального уравнения теплопроводности, поясните их смысл. Приведите примеры граничных условий первого, второго, третьего и четвертого родов.

6. Перечислите методы решения дифференциального уравнения теплопроводности. Метод источников, его преимущества при анализе тепловых процессов в технологических системах.

7. Схематизация источников и стоков тепла, геометрической формы тел, свойств и теплофизических характеристик, ее необходимость и роль в описании процессов передачи тепла в технологических системах.

8. Приведите описание методов измерения температуры. Контактные и бесконтактные методы. Естественные, искусственные и полуискусственные термодпары, особенности применения и тарирования.

9. Охарактеризуйте влияние на температуру резания режимов резания, геометрических параметров лезвия инструмента, обрабатываемого и инструментального материалов, СОЖ и других факторов.

10. Опишите основные методы и способы управления тепловыми явлениями при резании.

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Исходные данные к задаче

№ варианта	Материал заготовки	Режимы резания			Геометрические параметры, °	
		t , мм	S , мм/об	v , м/мин	γ	φ
1	Сталь Ст.3. $\sigma_b = 460$ Мпа	3	0,87	125	10	45
2	Серый чугун СЧ15, НВ 180	5,5	0,78	70	5	90
3	Сталь 40, $\sigma_b = 650$ Мпа	4,5	0,7	86	10	60
4	Серый чугун СЧ20, НВ 190	5	0,87	75	5	45
5	Сталь 45Х, $\sigma_b = 750$ Мпа	4	0,95	100	10	90
6	Серый чугун СЧ25, НВ 200	3,5	0,7	82	0	45
7	Сталь 30ХНЗА $\sigma_b = 800$ Мпа	4	0,6	90	5	60
8	Серый чугун СЧ10, НВ 170	3	0,9	92	10	90
9	Сталь 35ХМ, $\sigma_b = 780$ Мпа	5,5	0,65	60	5	45
10	Серый чугун СЧ30, НВ 220	5	0,5	80	0	60

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Теплофизические характеристики обрабатываемых
и инструментальных материалов

Материалы	λ , кал/(см·с·°С)	c_p , кал/(см ³ ·°С)	ω , см ² / с
1	2	3	4
Цветные металлы:			
медь	0,863	0,87	0,992
вольфрам	0,305	0,65	0,469
титан	0,036	0,58	0,062
кобальт	0,283	1,03	0,274
молибден	0,308	0,65	0,474
Углеродистые стали:			
20	0,095	1,23	0,077
40	0,092	1,21	0,076
45	0,096	1,20	0,080
Легированные стали:			
30Х	0,084	1,17	0,072
40Х	0,081	1,21	0,067
20ХН3А	0,080	1,21	0,066
30ХГС	0,086	1,23	0,070
ШХ15	0,080	1,23	0,065
Высоколегированные стали:			
2Х13	0,064	1,12	0,057
Х18Н10Т	0,054	1,08	0,050
14Х17Н2	0,059	0,98	0,060
Титановые и жаропрочные сплавы:			
BT4	0,031	0,72	0,043
BT10	0,027	0,66	0,041
ЖС6-К	0,040	1,08	0,037
ХН77ТЮ	0,047	1,15	0,041
Чугун СЧ12-28	0,095	0,84	0,113
Инструментальные стали:			
У12	0,083	1,17	0,071
ХВГ	0,065	1,20	0,054
P18	0,065	1,14	0,057
Твердые сплавы:			
ВК8	0,130	0,53	0,246
T5K10	0,092	0,64	0,144
T14K8	0,081	0,74	0,110
T15K6	0,065	0,65	0,100
T30K4	0,057	0,74	0,077
Минераллокерамика	0,010	0,77	0,013
Алмаз	0,350	0,42	0,830
Кубический нитрид бора	0,100	0,55	0,180

Окончание прил. Г

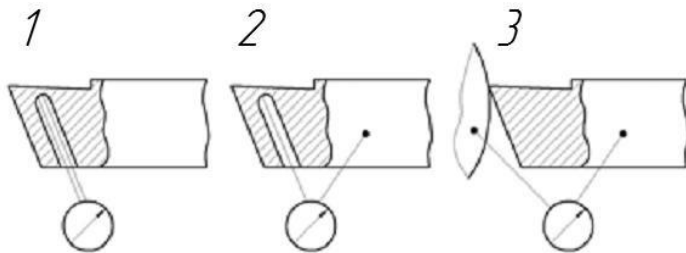
Карбид кремния	0,037	0,44	0,084
Белый электрокорунд	0,47	0,43	0,110
Круги шлифовальные:			
электрокорундовые на органической связке	0,003 – 0,005	0,60 – 0,70	0,005 – 0,007
алмазные на органической связке ($K_0 = 100\%$)	0,003 – 0,005	0,60 – 0,70	0,006 – 0,008
алмазные на металлической связке ($K_0 = 100\%$)	0,100 – 0,150	0,8 – 0,96	0,125 – 0,160
эльборовые на органической связке ($K_0 = 100\%$)	0,002	0,40	0,005

Тесты

Для чего предназначена термопара?

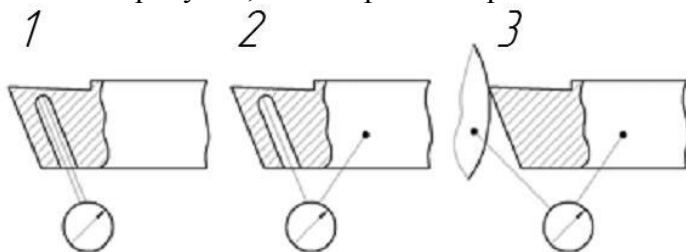
- а) для измерения температуры в области резания;
- б) для измерения составляющих силы резания;
- в) для измерения износа режущего инструмента.

Отметьте рисунок, на котором изображена схема естественной термопары:



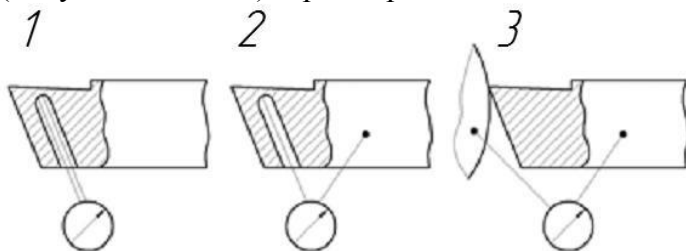
- а) 1;
- б) 2;
- в) 3.

Отметьте рисунок, на котором изображена схема искусственной термопары:



- а) 1;
- б) 2;
- в) 3.

Отметьте рисунок, на котором изображена схема полуискусственной (полуестественной) термопары:



- а) 1;
- б) 2;
- в) 3.

Какие элементы являются проводниками естественной термопары?

- а) инструмент и заготовка;
- б) проводники, расположенные в отверстиях в инструменте;
- в) проводники, расположенные в отверстиях в заготовке.

Какой из режимов резания оказывает наибольшее влияние на температуру резания?

- а) глубина;
- б) подача;
- в) скорость.

Какой чувствительный прибор используется для измерения термо-ЭДС в термопаре?

- а) гальванометр;
- б) омметр;
- в) динамометр.

Как величина электрического сигнала переводится в единицы температуры?

- а) производится тарирование;
- б) вычисляется по формуле;
- в) выбирается по графику.

С увеличением глубины резания t температура резания:

- а) уменьшается;
- б) увеличивается;
- в) не изменяется.

С увеличением скорости резания v температура резания:

- а) уменьшается;
- б) увеличивается;
- в) не изменяется.

С увеличением подачи s температура резания:

- а) уменьшается;
- б) увеличивается;
- в) не изменяется.

СОДЕРЖАНИЕ

	с.
1. Общие методические указания	3
2. Цели и задачи дисциплины, ее место в учебном процессе.....	4
3. Содержание дисциплины (лекции).....	4
4. Учебно-методические материалы по дисциплине.....	7
5. Условие задачи и методические указания по ее выполнению	9
6. Примеры выполнения заданий	11
Список использованных литературных источников	17
Приложение А. Варианты заданий.....	18
Приложение Б. Перечень контрольных вопросов	19
Приложение В. Исходные данные к задаче.....	20
Приложение Г. Теплофизические характеристики обрабатываемых и инструментальных материалов.....	21
Приложение Д. Тесты	23