

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Казанский (Приволжский) федеральный университет»
Набережночелнинский институт (филиал)

УТВЕРЖДАЮ
Первый проректор –
Проректор по научной деятельности


Габурский

«dL»

ПРОГРАММА КАНДИДАТСКОГО ЭКЗАМЕНА

по специальной дисциплине, соответствующей научной специальности программы аспирантуры

Научная специальность: **2.5.5 – Технология и оборудование механической и физико-технической обработки**

Высшая инженерная школа
Кафедра конструкторско-технологического обеспечения
машиностроительных производств.

Казань 2023 г.

Цель и задачи кандидатского экзамена по специальности 2.5.5 Технология и оборудование механической и физико-технической обработки

Цель: проверить научно-теоретический уровень знаний аспирантов (соискателей), а также подготовленность их к самостоятельной педагогической и научно-исследовательской работе.

Задачи:

Выявление уровня знаний по дисциплинам: металлорежущие станки и инструменты, оборудование машиностроительного производства, управление процессами и объектами машиностроения, технология машиностроения, расчет и моделирование станков и методология конструирования машин, теоретические основы, моделирование и методы экспериментального исследования процессов механической и физико-технической обработки, включая процессы комбинированной обработки.

Основные требования:

Порядок проведения кандидатского экзамена

Кандидатский экзамен проходит в письменной форме по билетам. В билете 3 вопроса, по одному из каждого раздела вопросов программы кандидатского экзамена по научной специальности 2.5.5 «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки».

Экзаменаторы вправе задавать лицу, сдающему кандидатский экзамен, дополнительные или уточняющие вопросы в рамках программы кандидатского экзамена.

Во время кандидатского экзамена лица, сдающие экзамен, могут пользоваться соответствующими программами, а также, с разрешения экзаменаторов, справочными и другими пособиями и материалами. При несоблюдении порядка проведения кандидатского экзамена члены экзаменационной комиссии, проводящие данный экзамен, вправе удалить лицо, сдающее экзамен, с места проведения кандидатского экзамена с выставлением неудовлетворительной оценки. Во время кандидатского экзамена лица, сдающие кандидатский экзамен, для подготовки ответа используют листы со штампом учреждения (экзаменационные листы), где осуществляется прием экзамена.

Оценка уровня знаний лица, сдающего кандидатский экзамен, определяется экзаменационной комиссией по пятибалльной системе.

Оценка («отлично», хорошо, удовлетворительно или неудовлетворительно за кандидатский экзамен выставляется решением комиссии. При расхождении мнения членов комиссии преимущество имеет председатель комиссии либо заместитель председателя комиссии. Оценка объявляется лицу, сдававшему кандидатский экзамен, после заседания экзаменационной комиссии.

Решение экзаменационной комиссий оформляется протоколом, в котором указываются шифр и наименование научной специальности, наименование отрасли науки, по которой подготавливается диссертация; краткое содержание основных вопросов; оценка уровня знаний; фамилия, имя, отчество (последнее - при наличии), ученая степень каждого члена экзаменационной комиссии. Протоколы заседаний

экзаменационной комиссий по приему кандидатских экзаменов подлежат хранению в личном деле лица, сдающего кандидатский экзамен.

При отсутствии на заседании председателя экзаменационной комиссии председательствующим является заместитель председателя экзаменационной комиссии (при наличии) или любой член комиссии, избираемый присутствующими на заседании членами комиссии.

При возникновении разногласий в экзаменационной комиссии проводится голосование, и решение принимается большинством голосов. При равенстве голосов решающим является голос председателя или председательствующего на заседании экзаменационной комиссии.

Критерии оценивания

Оценка уровня знаний лица, сдающего кандидатский экзамен, осуществляется по пятибалльной системе.

При оценке знаний лица, сдающего кандидатский экзамен, оценивается:

Уровень освоения материала, предусмотренного программой кандидатского экзамена;

Умение использовать теоретические знания при выполнении практических задач;

Обоснованность, четкость, краткость изложения ответов.

Оценка	Критерии оценки
«Отлично»	аспирант/соискатель ученой степени кандидата наук демонстрирует знание учебно-программного материала. Полностью и достоверно дает определения основных понятий и терминов. Демонстрирует знание основной и дополнительной литературы, рекомендованной программой.
«Хорошо»	аспирант/соискатель ученой степени кандидата наук знает основные методы решения типовых задач, правильно понимает сущности и взаимосвязи рассматриваемых процессов и явлений; дает последовательные, правильные, конкретные ответы на поставленные вопросы
«Удовлетворительно»	аспирант/соискатель ученой степени кандидата наук дает определения основных понятий, понимает основные вопросы программы; дает правильные и конкретные, без грубых ошибок ответы на поставленные вопросы
«Неудовлетворительно»	аспирант/соискатель ученой степени кандидата наук имеет пробелы в знаниях основного учебно-программного материала, допускает принципиальные ошибки в выполнении предусмотренных программой заданий. При этом на менее 60% поставленных вопросов даны плохо

	сформулированные ответы в недостаточном объеме
--	--

**Вопросы программы кандидатского экзамена по научной специальности 2.5.5
Технология и оборудование механической и физико-технической обработки.**

1. Значение механических и физико-технических методов обработки в современном машиностроении

Содержание специальности, проблемы стоящие перед технологией и оборудованием современного машиностроения. Основные задачи, решаемые механическими и физико-техническими методами, их удельный вес в общей трудоемкости изделий в машиностроении и направления развития.

Обработка материалов резанием и физико-техническими методами – один из основных элементов технологии современного машиностроения. Фондообразующая роль станкостроения в машиностроительной отрасли. Значение станков для производства машин. Основные направления развития и важнейшие достижения станкостроения и инструментальной промышленности по показателям технического уровня. Современные тенденции и пути обеспечения конкурентоспособности станочного оборудования и инструментов. Международная динамика рынка станков и инструментов. Мировая структура развития станкостроения.

2. Обработка резанием

Задачи теории резания металлов. Преимущества и недостатки механической обработки резанием по сравнению с другими методами.

Основные понятия процесса резания, его физические основы. Механика процесса резания, схемы стружкообразования, трение при резании, наростообразование. Методы и средства экспериментального исследования процесса резания.

Энергетический баланс обработки. Тепловые, электрические, магнитные и другие явления при резании. Средства снижения теплообразования при резании. Методы и задачи изучения физических явлений при резании.

Колебания при резании, их виды и принципы возникновения. Использование наложения вибраций на процесс обработки.

Технологические среды и их действие. Обработка с ограниченным использованием СОЖ.

Инструментальные материалы, их виды и области применения. Виды износа, критерии смены инструмента и способы повышения его стойкости.

Понятие о стойкости инструмента; типовая геометрическая картина износа рабочих поверхностей инструмента при механической обработке, его зависимость от вида

обрабатываемого материала, операции, режимов резания; понятие о кривых износа инструментов и периоде стойкости.

Критерии затупления инструмента; их назначение в зависимости от вида операции и типа инструмента. Технологические критерии затупления и понятие размерного износа различных видов инструмента.

Физические основы изнашивания инструмента; понятие об абразивном, адгезионном, диффузионном и окислительных механизмах изнашивания. Общий механизм износа инструмента; интенсивность износа, его модели.

Оптимизация режима резания, ее методы и критерии. Физические и экономические требования к оптимизации, вытекающие из одно- и многоинструментальной обработки, одно- и многопроходной обработки, "безлюдной" технологии, концепции автоматических линий и ГПС.

Применение ЭВМ для выбора оптимальных режимов резания.

Связь режима обработки с качеством поверхностного слоя. Обрабатываемость конструкционных материалов резанием.

Эксперименты в резании металлов, их особенности и требования к методике, средствам обеспечения эксперимента. Основные нерешенные вопросы в области теории резания.

Основные методы (схемы) обработки. Сверхскоростное резание, комбинированные рабочие процессы. Требования к режущему инструменту, автоматические методы контроля его размера, состояния и настройки.

Расчеты сил резания. Их методика.

3. Режущий инструмент

Роль и значение режущих инструментов в металлообработке.

Типовые задачи и этапы проектирования режущих инструментов. Способы проектирования. Функционально-структурная модель режущего инструмента.

Назначение конструктивно-геометрических параметров режущего инструмента в соответствии с требованиями процесса резания. Особенности проектирования режущих инструментов для различных видов обработки. Методы крепления и базирования. Базирование и крепление режущих элементов сборных инструментов. Требования к конструкции крепежно-присоединительной (корпусной) части инструментов при скоростной и сверхскоростной обработке.

Стандартизация и сертификация режущих инструментов.

Алгоритмизация процедур расчета и проектирования режущего инструмента. САПР режущего инструмента.

Дополнительные требования к инструментам в крупносерийном и автоматизированном производстве: на агрегатных станках, автоматических линиях, на станках с ЧПУ, многоцелевых станках, ГП-модулях.

Настройка инструмента на размер на станке и вне станка. Методы автоматической коррекции положения режущего инструмента. Входной контроль инструментов. Инструментальное обеспечение различных производств.

Перспективы развития конструкций режущих инструментов.

4. Интенсификация процессов механической обработки

Основные направления создания высокопроизводительных процессов резания. Физические особенности и технологические показатели скоростного и силового резания, тонкого точения и растачивания, типовые конструкции инструмента, режимы резания, области применения.

Процессы резания с особыми кинематическими и физическими схемами обработки – ротационное (бреющее) и вибрационное резание, в т.ч. ультразвуковое и иглофрезерование; нанотехнологические методы обработки.

Комбинированные методы обработки резанием, совмещающее воздействие на материал снимаемого слоя нескольких физических и химических явлений. Резание в специальных технологических средах, с опережающим пластическим деформированием (ОПЛ), нагревом (терморезание), электромеханические методы лезвийного резания и химико-механические методы абразивной обработки. Перспективы развития комбинированных методов обработки резанием.

5. Физико-технические методы обработки

Понятие физико-химической обработки как метода изготовления детали путем снятия с заготовки слоя материала в результате всех возможных видов воздействия инструментов в т.ч. механических, тепловых, электрических и химических в технологических средах и их комбинациях.

Физико-химический механизм обработки, как средство снятия с заготовки слоя материала в виде стружки (механическая обработка), продуктов анодного растворения (электромеханическая обработка), электроэрозионного разрушения (электроэрозионная обработка), а также плавление и испарение металла (лазерная и электроннолучевая обработка) и других воздействий.

Классификация существующих методов физико-химической обработки и теоретические предпосылки создания принципиально новых на основе использования совокупности использования известных физических, химических и других явлений. Понятие о классе обработки резанием (механическое, тепловое, электрическое, химическое, комбинированное), группе, характеризующейся определенными физико-химическим механизмом резания (например, плазменно-механическая обработка резанием) и методе конкретной реализации определенной обработки резанием (например, плазменно-механическая обработка твердосплавным инструментом).

6. Типы металлорежущих станков и их классификация

Классификация станков по технологическому назначению, точности, степени автоматизации, типажи и каталоги металлорежущих станков.

Особенности конструкций станков основных групп.

Методика формирования цены на станки с учетом их качества.

Международная стандартизация и сертификация станков и их комплектующих. Конкурентоспособность металлорежущих станков.

7. Кинематика станков

Образование поверхностей на обрабатываемых деталях.

Классификация движений в станках.

Кинематическая структура станков с механическими и немеханическими кинематическими связями. Сравнительный анализ кинематической структуры отдельных типов станков.

8. Технологические основы обработки на металлорежущих станках различных типов

Технология и физико-химические процессы удаления части начального объема материала заготовки при механической обработке, электромеханической, электроэрозионной и лазерной обработке и других методах формирования деталей.

Технологическая подготовка проектирования станков. Формирование требований к станку на основе анализа параметров обрабатываемых деталей.

Особенности построения технологического процесса обработки на металлорежущих станках различных типов, в т.ч. станков для нанотехнологической обработки.

9. Основные этапы проектирования и расчетов станочного оборудования

Маркетинг с целью определения конкурентоспособности создаваемого станка по комплексу технико-экономических показателей.

Основные критерии работоспособности станков, производительность, начальная и с учетом температурных деформаций прочность, жесткость, износостойкость, устойчивость.

Надежность станков. Общие понятия. Надежность параметрическая и функциональная. Надежность в период нормальной эксплуатации и износных отказов. Резервирование.

Составление технического задания на разработку станка на основе технологической подготовки проектирования. Определение основных конструктивных и технологических параметров. Методы формирования показателей и критериев оценки технического уровня станка по его выходным характеристикам.

Формирование компоновочного решения и несущей системы станков. Определение конструктивных параметров.

Разработка кинематической схемы, выбор принципа управления, контроля и диагностики.

Статические упругие перемещения и их влияние на точность станков.

Динамическая система станка. Характеристики ее основных элементов (упругой системы, процесса резания, процесса трения, процессов в двигателях). Устойчивость движений рабочих органов станка и методы ее обеспечения.

САПР станков. Многокритериальная оптимизация в задачах проектирования станков. Формирование требований к основным системам станка.

Понятия о сквозном методе проектирования и изготовления изделий CAD-CAM-CAE. Параметрические твердотельные модели.

Имитационное моделирование на GPSS как средство количественного анализа технологических систем.

Разработка математических моделей конструкций и процессов, происходящих в станках.

Использование систем Internet и Intranet при проектировании станков.

Методы оценки качества технологического оборудования на этапах проектирования и сборки.

10. Основные системы станка и их проектирование и расчет

Принципы конструирования мехатронных узлов. Основные преимущества их использования в станках.

Направляющие прямолинейного и кругового движения. Конструирование и расчет направляющих смешанного трения, гидростатических, гидродинамических и качения.

Конструирование и расчет коробок скоростей и подач.

Шпиндельные узлы с подшипниками качения и скольжения, гидростатическими и гидродинамическими. Конструирование, расчет с учетом критерия жесткости элементов узла. Особенности конструирования высокоскоростных шпинделей.

Механизмы для осуществления прямолинейных движений, их виды, конструирование и расчет механизмов: винт-гайки скольжения и качения, зубчато-реечного, червячно-реечного и др. Механизмы для осуществления периодических движений. Механизмы для микроперемещений.

Механизмы подачи. Механизмы фиксации. Механизмы автоматической смены инструментов. Магазины инструментов и заготовок (компоновки). Зажимные приспособления металлорежущих станков. Классификация, основные типы. Расчеты типовых приспособлений для станков различного технологического назначения.

Экспериментальные исследования металлорежущих станков, методики проведения и обработки результатов.

11. Электрооборудование станков

Устройство и основные характеристики электродвигателей станков: конструкции двигателей постоянного и переменного тока. Типы быстродействующих двигателей, высокомоментные двигатели постоянного тока с постоянными магнитами, их достоинства; двигатели для вентильного привода; шаговые двигатели; линейные двигатели.

Механические характеристики двигателей: разгон, торможение и регулирование скорости.

Системы регулируемого электропривода станков. Тенденции развития конструкций электродвигателей станков. Построение электроприводов на базе микропроцессоров и микроЭВМ.

Переходные процессы в электроприводах станков:

- динамические режимы работы привода (основные показатели);
- уравнение движения электропривода.

Расчет мощности электродвигателей станков:

- при длительной работе;
- при повторно-кратковременной работе.

Аппаратура и схема электрического управления металлорежущими станками:

12. Гидравлический привод станков

Область применения гидравлического привода в станках, его преимущества и недостатки, основные требования, предъявляемые к гидроприводу станков.

Способы регулирования скорости в гидравлических приводах станков, принципиальные схемы, основные характеристики.

Схемы и конструкции основных элементов гидропривода:

- насосы и гидромоторы;
- цилиндры;
- контрольно-регулирующая аппаратура;
- распределительная аппаратура;
- фильтры.

Гидравлические следящие приводы. Область применения в станках, основные схемы, точность и устойчивость приводов.

Электрогидравлические приводы станков с ЧПУ:

- следящие золотники;

- гидроусилители крутящего момента;
- насосные установки

Динамика гидропривода. Устойчивость движения рабочих органов станков с гидроприводом. Вибрация в гидросистемах, устойчивость контуров системы.

13. Автоматизация станков. Программное управление станками.

Автоматические станочные системы

Классификация автоматизированных станков и станочных систем по различным признакам. Основные понятия теории автоматического управления. Линейные элементы автоматических систем и их характеристики. Типовые нелинейности автоматических систем, их влияние на устойчивость системы и методы линеаризации.

Системы управления циклом. Принцип построения циклограмм. Структурные схемы кулачковых автоматов. Область применения. Преимущества и недостатки.

Копировальные следящие системы. Индуктивные и фотокопировальные системы. Области применения копировальных станков. Преимущества и недостатки.

Классификация систем программного управления. Системы: контурные, позиционные, прямоугольные, универсальные. Системы управления многооперационными станками. Структура систем программного управления основных классов. Понятие об основных узлах устройств ЧПУ (интерполяторы, устройства управления приводом и др.). Области применения станков с программным управлением. Системы группового числового управления станками. Датчики перемещения в станках с ЧПУ.

Процесс программирования. Программноносители и устройства для ввода программы.

Автоматизация процесса резания. Адаптивные системы. Приборы контроля точности изготовления деталей на станке и подналадка станка.

Роботы и манипуляторы.

Основные принципы компоновки автоматических линий. Транспортные системы. Области применения автоматических линий. Гибкие автоматические линии. Определение. Принципы построения.

Основные понятия о ГП-модулях и ГПС. Требования к системам ЧПУ и ГП-модулям.

Гибкие автоматизированные производственные системы (ГПС). Основные понятия. Область применения.

Стратегии создания автоматических заводов (АЗ).

Моделирование станочных систем.

14. Особенности станков для физико-технических методов обработки

Сравнительные характеристики методов физико-технической обработки, их место среди других методов размерной обработки материалов и общие вопросы построения станков. Принципы и схемы адаптивно-программного управления процессом обработки. Оптимальное регулирование режимов обработки.

Электроэрозионные станки, их разновидности, физические схемы и технологические возможности. Прецизионные методы изготовления деталей.

Типовые узлы станков для электроэрозионной обработки, генераторы импульсов энергии, виды электродов, системы автоматического регулирования.

Взаимосвязь элементарных единичных и реальных массовых процессов электроэрозионной обработки. Физические модели реального процесса при массовом воздействии разрядов. Рабочие жидкости, влияние их свойств на выходные показатели процесса.

Автоматизация электроэрозионных копировально-прошивочных и вырезных станков. Средства и устройства автоматизации. Станки-модули. Устройства, сообщающие орбитальные движения электроду-инструменту.

Ультразвуковые станки, физические основы их работы, кинематика обрабатываемой системы, в т.ч. магнитострикционные и ультразвуковые преобразователи. Технологические характеристики размерной ультразвуковой обработки.

Станки для отделочных методов электрофизической обработки, электрополирование, методы достижения точности и качества поверхностного слоя деталей.

Станки для электрохимических методов обработки. Основные виды электрохимической обработки: непрерывная, импульсная, циклическая. Выбор их оптимальной последовательности и параметров, закономерности анодного растворения, электролиты, конструкции катодов. Установки для электрохимической обработки типовых деталей. Средства интенсификации процесса обработки. Автоматизация электрохимического оборудования.

Станки для лучевых методов обработки: электроннолучевая обработка и лазерная обработка, принципы действия и физические схемы, установки, области применения. Основные положения экономики; физические схемы, применение для изделий приборостроения.

Станки для комбинированных методов обработки, их классификация. Станки для электроконтактных и анодно-механических методов обработки; физические схемы, технологические установки, области применения.

15. Эксплуатация станков и станочных систем

Установка станков на фундамент.

Испытание станков на холостом ходу и при резании.

Диагностика станков, инструментов и механизмов смены и загрузки инструмента.

Особенности эксплуатации станочных автоматических линий.

Особенности эксплуатации станков с ЧПУ и ГПС.

Техническое обслуживание и ремонт.

Проблемы модернизации станков.

Учебно-методическое обеспечение и информационное обеспечение программы кандидатского экзамена в аспирантуру по научной специальности 2.5.5 Технология и оборудование механической и физико-технической обработки

Основная литература

1. Альперович Т.А., Барабанов В.В., Давыдов А.Н. и др. Под ред. д.т.н., проф. Черпакова Б.И. Компьютерно-интегрированные производства и CALS-технологии в машиностроении. М.: ГУП "ВИМИ", 1999.
2. Артамонов Б.А., Волков Ю.С., Дрожжалова В.И. и др. Электрофизические и электрохимические методы обработки материалов Учебное пособие в 2-х томах. М.: Высшая школа, 1983.
3. Баранчиков В.И. и др. Справочник конструктора-инструментальщика. М.: Машиностроение, 1994.
4. Вороничев Н.М., Тартаковский Ж.Э., Генин В.Б. Автоматические линии из агрегатных станков. М.: Машиностроение, 1979.
5. Гжиров Р.И., Гречишников В.А. и др. Инструментальные системы автоматизированного производства. Учебник для вузов. С.-Пб., Политехника, 1993.
6. Гибкие производственные комплексы. /Под ред. Белянина П.Н. и Лещенко В.А. М.: Машиностроение, 1984.
7. Гибкое автоматическое производство. /Под ред. Майорова С.А. и Орловского Г.В. Л.: Машиностроение, 1983.
8. Дальский А.М. и др. Механическая обработка материалов. Учебник для вузов. М.: Машиностроение, 1981.
9. Иноземцев Г.Г. Проектирование режущего инструмента. Учебное пособие для вузов. М.: Машиностроение, 1984.
10. Качество машин. Справочник в 2-х томах. /Под ред. Сулова А.Г. М.: Машиностроение, 1995.
11. Кузнецов Ю.И. и др. Оснастка для станков с ЧПУ. Справочник. М.: Машиностроение, 1990.
12. Машиностроение. Энциклопедия. Технология изготовления деталей машин. Т. 111-3. /Под ред. Сулова А.Г., 1999.

13. Машиностроение. Энциклопедия. Металлорежущие станки и деревообрабатывающее оборудование. Т.IV-7. /Под ред. Черпакова Б.И. М.: Машиностроение, 1999.
14. Проектирование металлорежущих станков и станочных систем. /Под ред. Проникова А.С., Т.1, 2 (в 2-х частях), 3, М.: Машиностроение, МГТУ им. Баумана, 1994-1995 гг.
15. Проников А.С. Надежность машин. М.: Машиностроение, 1978.
16. Решетов Д.Н., Портман В.Т. Точность металлорежущих станков. М.: Машиностроение, 1986.
17. Родин П.Р. Основы проектирования режущих инструментов. Учебник для вузов. Киев: Высшая школа, 1990.
18. Сахаров Г.Н. и др. Металлорежущие инструменты. Учебник для вузов. М.: Машиностроение, 1989.
19. Сосонкин В.Л. Программное управление станками. М.: Машиностроение, 1981.
20. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. / Под ред. Дальского А.М. и др. 5-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 2001.
21. Старков В.К. Обработка резанием. Управление стабильностью и качеством в автоматизированном производстве. М.: Машиностроение, 1989.
22. Суслов А.Г. Качество поверхностного слоя деталей машин. М.: Машиностроение, 2000.
23. Таратынов О.В. и др. Проектирование и расчет режущих инструментов на ЭВМ. Учебник для вузов. М.: Высшая школа, 1990.
24. Трент Е.М. Резание металлов. М.: Машиностроение, 1980.
25. Ящерицын П.И. и др. Теория резания. Физические и тепловые процессы в технологических системах. М.: Высшая школа, 1990.

Дополнительная литература

1. Верещака А.С. Работоспособность режущего инструмента с износостойкими покрытиями. М.: Машиностроение, 2000.
2. Лоладзе Т.Н. Прочность и износостойкость режущего инструмента. М.: Машиностроение, 1982.
3. Остафьев В.А. Расчет динамической прочности режущего инструмента. М.: Машиностроение, 1979.
4. Подураев В.Н. Автоматически регулируемые и комбинированные процессы резания. М.: Машиностроение, 1977.
5. Резников А.Н., Резников Л.А. Тепловые процессы в технологических системах. – М.: Машиностроение, 1990.

6. Свешников В.К. Станочные гидроприводы (Справочник, 3-е издание), М.: Машиностроение, 1995.
7. Силин С.С. Метод подобия при резании материалов. М.: Машиностроение, 1979.
8. Участки для электроэрозионной обработки рабочих деталей вырубных штампов и пресс-форм. М.: ОНТИ, ЭНИМС, 1983.
9. Черпаков Б.И. Эксплуатация автоматических линий. М.: Машиностроение, 1990.
10. Электроэрозионная и электрохимическая обработка, часть I и II. М.: НИИНМАШ, 1980.
11. Этин А.О., Юхвид М.В. Кинематический анализ и выбор эффективных методов обработки лезвийным инструментом. М.: АО ЭНИМС, 1994.
12. Якобс Г.Ю., Якоб., Кохан Д. Оптимизация резания. М.: Машиностроение, 1981.

Информационное обеспечение

1. Международная реферативная база данных научных изданий Scopus (доступ через национальную подписку Минобрнауки России).
2. Международная реферативная база данных научных изданий Web of Science (доступ через национальную подписку Минобрнауки России).
3. Научная электронная библиотека: <http://elibrary.ru>.

Цель и задачи кандидатского экзамена по специальности 2.5.5 Технология и оборудование механической и физико-технической обработки

Цель: проверить научно-теоретический уровень знаний аспирантов (соискателей), а также подготовленность их к самостоятельной педагогической и научно-исследовательской работе.

Задачи:

Выявление уровня знаний по дисциплинам: металлорежущие станки и инструменты, оборудование машиностроительного производства, управление процессами и объектами машиностроения, технология машиностроения, расчет и моделирование станков и методология конструирования машин, теоретические основы, моделирование и методы экспериментального исследования процессов механической и физико-технической обработки, включая процессы комбинированной обработки.

Основные требования:

Порядок проведения кандидатского экзамена

Кандидатский экзамен проходит в письменной форме по билетам. В билете 3 вопроса, по одному из каждого раздела вопросов программы кандидатского экзамена по научной специальности 2.5.5 «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки».

Экзаменаторы вправе задавать лицу, сдающему кандидатский экзамен, дополнительные или уточняющие вопросы в рамках программы кандидатского экзамена.

Во время кандидатского экзамена лица, сдающие экзамен, могут пользоваться соответствующими программами, а также, с разрешения экзаменаторов, справочными и другими пособиями и материалами. При несоблюдении порядка проведения кандидатского экзамена члены экзаменационной комиссии, проводящие данный экзамен, вправе удалить лицо, сдающее экзамен, с места проведения кандидатского экзамена с выставлением неудовлетворительной оценки. Во время кандидатского экзамена лица, сдающие кандидатский экзамен, для подготовки ответа используют листы со штампом учреждения (экзаменационные листы), где осуществляется прием экзамена.

Оценка уровня знаний лица, сдающего кандидатский экзамен, определяется экзаменационной комиссией по пятибалльной системе.

Оценка («отлично», хорошо, удовлетворительно или неудовлетворительно за кандидатский экзамен выставляется решением комиссии. При расхождении мнения членов комиссии преимущество имеет председатель комиссии либо заместитель председателя комиссии. Оценка объявляется лицу, сдававшему кандидатский экзамен, после заседания экзаменационной комиссии.

Решение экзаменационной комиссий оформляется протоколом, в котором указываются шифр и наименование научной специальности, наименование отрасли науки, по которой подготавливается диссертация; краткое содержание основных вопросов; оценка уровня знаний; фамилия, имя, отчество (последнее - при наличии), ученая степень каждого члена экзаменационной комиссии. Протоколы заседаний

экзаменационной комиссий по приему кандидатских экзаменов подлежат хранению в личном деле лица, сдающего кандидатский экзамен.

При отсутствии на заседании председателя экзаменационной комиссии председательствующим является заместитель председателя экзаменационной комиссии (при наличии) или любой член комиссии, избираемый присутствующими на заседании членами комиссии.

При возникновении разногласий в экзаменационной комиссии проводится голосование, и решение принимается большинством голосов. При равенстве голосов решающим является голос председателя или председательствующего на заседании экзаменационной комиссии.

Критерии оценивания

Оценка уровня знаний лица, сдающего кандидатский экзамен, осуществляется по пятибалльной системе.

При оценке знаний лица, сдающего кандидатский экзамен, оценивается:

Уровень освоения материала, предусмотренного программой кандидатского экзамена;

Умение использовать теоретические знания при выполнении практических задач;

Обоснованность, четкость, краткость изложения ответов.

Оценка	Критерии оценки
«Отлично»	аспирант/соискатель ученой степени кандидата наук демонстрирует знание учебно-программного материала. Полностью и достоверно дает определения основных понятий и терминов. Демонстрирует знание основной и дополнительной литературы, рекомендованной программой.
«Хорошо»	аспирант/соискатель ученой степени кандидата наук знает основные методы решения типовых задач, правильно понимает сущности и взаимосвязи рассматриваемых процессов и явлений; дает последовательные, правильные, конкретные ответы на поставленные вопросы
«Удовлетворительно»	аспирант/соискатель ученой степени кандидата наук дает определения основных понятий, понимает основные вопросы программы; дает правильные и конкретные, без грубых ошибок ответы на поставленные вопросы
«Неудовлетворительно»	аспирант/соискатель ученой степени кандидата наук имеет пробелы в знаниях основного учебно-программного материала, допускает принципиальные ошибки в выполнении предусмотренных программой заданий. При этом на менее 60% поставленных вопросов даны плохо

	сформулированные ответы в недостаточном объеме
--	--

**Вопросы программы кандидатского экзамена по научной специальности 2.5.5
Технология и оборудование механической и физико-технической обработки.**

1. Значение механических и физико-технических методов обработки в современном машиностроении

Содержание специальности, проблемы стоящие перед технологией и оборудованием современного машиностроения. Основные задачи, решаемые механическими и физико-техническими методами, их удельный вес в общей трудоемкости изделий в машиностроении и направления развития.

Обработка материалов резанием и физико-техническими методами – один из основных элементов технологии современного машиностроения. Фондообразующая роль станкостроения в машиностроительной отрасли. Значение станков для производства машин. Основные направления развития и важнейшие достижения станкостроения и инструментальной промышленности по показателям технического уровня. Современные тенденции и пути обеспечения конкурентоспособности станочного оборудования и инструментов. Международная динамика рынка станков и инструментов. Мировая структура развития станкостроения.

2. Обработка резанием

Задачи теории резания металлов. Преимущества и недостатки механической обработки резанием по сравнению с другими методами.

Основные понятия процесса резания, его физические основы. Механика процесса резания, схемы стружкообразования, трение при резании, наростообразование. Методы и средства экспериментального исследования процесса резания.

Энергетический баланс обработки. Тепловые, электрические, магнитные и другие явления при резании. Средства снижения теплообразования при резании. Методы и задачи изучения физических явлений при резании.

Колебания при резании, их виды и принципы возникновения. Использование наложения вибраций на процесс обработки.

Технологические среды и их действие. Обработка с ограниченным использованием СОЖ.

Инструментальные материалы, их виды и области применения. Виды износа, критерии смены инструмента и способы повышения его стойкости.

Понятие о стойкости инструмента; типовая геометрическая картина износа рабочих поверхностей инструмента при механической обработке, его зависимость от вида

обрабатываемого материала, операции, режимов резания; понятие о кривых износа инструментов и периоде стойкости.

Критерии затупления инструмента; их назначение в зависимости от вида операции и типа инструмента. Технологические критерии затупления и понятие размерного износа различных видов инструмента.

Физические основы изнашивания инструмента; понятие об абразивном, адгезионном, диффузионном и окислительных механизмах изнашивания. Общий механизм износа инструмента; интенсивность износа, его модели.

Оптимизация режима резания, ее методы и критерии. Физические и экономические требования к оптимизации, вытекающие из одно- и многоинструментальной обработки, одно- и многопроходной обработки, "безлюдной" технологии, концепции автоматических линий и ГПС.

Применение ЭВМ для выбора оптимальных режимов резания.

Связь режима обработки с качеством поверхностного слоя. Обрабатываемость конструкционных материалов резанием.

Эксперименты в резании металлов, их особенности и требования к методике, средствам обеспечения эксперимента. Основные нерешенные вопросы в области теории резания.

Основные методы (схемы) обработки. Сверхскоростное резание, комбинированные рабочие процессы. Требования к режущему инструменту, автоматические методы контроля его размера, состояния и настройки.

Расчеты сил резания. Их методика.

3. Режущий инструмент

Роль и значение режущих инструментов в металлообработке.

Типовые задачи и этапы проектирования режущих инструментов. Способы проектирования. Функционально-структурная модель режущего инструмента.

Назначение конструктивно-геометрических параметров режущего инструмента в соответствии с требованиями процесса резания. Особенности проектирования режущих инструментов для различных видов обработки. Методы крепления и базирования. Базирование и крепление режущих элементов сборных инструментов. Требования к конструкции крепежно-присоединительной (корпусной) части инструментов при скоростной и сверхскоростной обработке.

Стандартизация и сертификация режущих инструментов.

Алгоритмизация процедур расчета и проектирования режущего инструмента. САПР режущего инструмента.

Дополнительные требования к инструментам в крупносерийном и автоматизированном производстве: на агрегатных станках, автоматических линиях, на станках с ЧПУ, многоцелевых станках, ГП-модулях.

Настройка инструмента на размер на станке и вне станка. Методы автоматической коррекции положения режущего инструмента. Входной контроль инструментов. Инструментальное обеспечение различных производств.

Перспективы развития конструкций режущих инструментов.

4. Интенсификация процессов механической обработки

Основные направления создания высокопроизводительных процессов резания. Физические особенности и технологические показатели скоростного и силового резания, тонкого точения и растачивания, типовые конструкции инструмента, режимы резания, области применения.

Процессы резания с особыми кинематическими и физическими схемами обработки – ротационное (бреющее) и вибрационное резание, в т.ч. ультразвуковое и иглофрезерование; нанотехнологические методы обработки.

Комбинированные методы обработки резанием, совмещающее воздействие на материал снимаемого слоя нескольких физических и химических явлений. Резание в специальных технологических средах, с опережающим пластическим деформированием (ОПЛ), нагревом (терморезание), электромеханические методы лезвийного резания и химико-механические методы абразивной обработки. Перспективы развития комбинированных методов обработки резанием.

5. Физико-технические методы обработки

Понятие физико-химической обработки как метода изготовления детали путем снятия с заготовки слоя материала в результате всех возможных видов воздействия инструментов в т.ч. механических, тепловых, электрических и химических в технологических средах и их комбинациях.

Физико-химический механизм обработки, как средство снятия с заготовки слоя материала в виде стружки (механическая обработка), продуктов анодного растворения (электромеханическая обработка), электроэрозионного разрушения (электроэрозионная обработка), а также плавление и испарение металла (лазерная и электроннолучевая обработка) и других воздействий.

Классификация существующих методов физико-химической обработки и теоретические предпосылки создания принципиально новых на основе использования совокупности использования известных физических, химических и других явлений. Понятие о классе обработки резанием (механическое, тепловое, электрическое, химическое, комбинированное), группе, характеризующейся определенными физико-химическим механизмом резания (например, плазменно-механическая обработка резанием) и методе конкретной реализации определенной обработки резанием (например, плазменно-механическая обработка твердосплавным инструментом).

6. Типы металлорежущих станков и их классификация

Классификация станков по технологическому назначению, точности, степени автоматизации, типажи и каталоги металлорежущих станков.

Особенности конструкций станков основных групп.

Методика формирования цены на станки с учетом их качества.

Международная стандартизация и сертификация станков и их комплектующих. Конкурентоспособность металлорежущих станков.

7. Кинематика станков

Образование поверхностей на обрабатываемых деталях.

Классификация движений в станках.

Кинематическая структура станков с механическими и немеханическими кинематическими связями. Сравнительный анализ кинематической структуры отдельных типов станков.

8. Технологические основы обработки на металлорежущих станках различных типов

Технология и физико-химические процессы удаления части начального объема материала заготовки при механической обработке, электромеханической, электроэрозионной и лазерной обработке и других методах формирования деталей.

Технологическая подготовка проектирования станков. Формирование требований к станку на основе анализа параметров обрабатываемых деталей.

Особенности построения технологического процесса обработки на металлорежущих станках различных типов, в т.ч. станков для нанотехнологической обработки.

9. Основные этапы проектирования и расчетов станочного оборудования

Маркетинг с целью определения конкурентоспособности создаваемого станка по комплексу технико-экономических показателей.

Основные критерии работоспособности станков, производительность, начальная и с учетом температурных деформаций прочность, жесткость, износостойкость, устойчивость.

Надежность станков. Общие понятия. Надежность параметрическая и функциональная. Надежность в период нормальной эксплуатации и износных отказов. Резервирование.

Составление технического задания на разработку станка на основе технологической подготовки проектирования. Определение основных конструктивных и технологических параметров. Методы формирования показателей и критериев оценки технического уровня станка по его выходным характеристикам.

Формирование компоновочного решения и несущей системы станков. Определение конструктивных параметров.

Разработка кинематической схемы, выбор принципа управления, контроля и диагностики.

Статические упругие перемещения и их влияние на точность станков.

Динамическая система станка. Характеристики ее основных элементов (упругой системы, процесса резания, процесса трения, процессов в двигателях). Устойчивость движений рабочих органов станка и методы ее обеспечения.

САПР станков. Многокритериальная оптимизация в задачах проектирования станков. Формирование требований к основным системам станка.

Понятия о сквозном методе проектирования и изготовления изделий CAD-CAM-CAE. Параметрические твердотельные модели.

Имитационное моделирование на GPSS как средство количественного анализа технологических систем.

Разработка математических моделей конструкций и процессов, происходящих в станках.

Использование систем Internet и Intranet при проектировании станков.

Методы оценки качества технологического оборудования на этапах проектирования и сборки.

10. Основные системы станка и их проектирование и расчет

Принципы конструирования мехатронных узлов. Основные преимущества их использования в станках.

Направляющие прямолинейного и кругового движения. Конструирование и расчет направляющих смешанного трения, гидростатических, гидродинамических и качения.

Конструирование и расчет коробок скоростей и подач.

Шпиндельные узлы с подшипниками качения и скольжения, гидростатическими и гидродинамическими. Конструирование, расчет с учетом критерия жесткости элементов узла. Особенности конструирования высокоскоростных шпинделей.

Механизмы для осуществления прямолинейных движений, их виды, конструирование и расчет механизмов: винт-гайки скольжения и качения, зубчато-реечного, червячно-реечного и др. Механизмы для осуществления периодических движений. Механизмы для микроперемещений.

Механизмы подачи. Механизмы фиксации. Механизмы автоматической смены инструментов. Магазины инструментов и заготовок (компоновки). Зажимные приспособления металлорежущих станков. Классификация, основные типы. Расчеты типовых приспособлений для станков различного технологического назначения.

Экспериментальные исследования металлорежущих станков, методики проведения и обработки результатов.

11. Электрооборудование станков

Устройство и основные характеристики электродвигателей станков: конструкции двигателей постоянного и переменного тока. Типы быстродействующих двигателей, высокомоментные двигатели постоянного тока с постоянными магнитами, их достоинства; двигатели для вентильного привода; шаговые двигатели; линейные двигатели.

Механические характеристики двигателей: разгон, торможение и регулирование скорости.

Системы регулируемого электропривода станков. Тенденции развития конструкций электродвигателей станков. Построение электроприводов на базе микропроцессоров и микроЭВМ.

Переходные процессы в электроприводах станков:

- динамические режимы работы привода (основные показатели);
- уравнение движения электропривода.

Расчет мощности электродвигателей станков:

- при длительной работе;
- при повторно-кратковременной работе.

Аппаратура и схема электрического управления металлорежущими станками:

12. Гидравлический привод станков

Область применения гидравлического привода в станках, его преимущества и недостатки, основные требования, предъявляемые к гидроприводу станков.

Способы регулирования скорости в гидравлических приводах станков, принципиальные схемы, основные характеристики.

Схемы и конструкции основных элементов гидропривода:

- насосы и гидромоторы;
- цилиндры;
- контрольно-регулирующая аппаратура;
- распределительная аппаратура;
- фильтры.

Гидравлические следящие приводы. Область применения в станках, основные схемы, точность и устойчивость приводов.

Электрогидравлические приводы станков с ЧПУ:

- следящие золотники;

- гидроусилители крутящего момента;
- насосные установки

Динамика гидропривода. Устойчивость движения рабочих органов станков с гидроприводом. Вибрация в гидросистемах, устойчивость контуров системы.

13. Автоматизация станков. Программное управление станками.

Автоматические станочные системы

Классификация автоматизированных станков и станочных систем по различным признакам. Основные понятия теории автоматического управления. Линейные элементы автоматических систем и их характеристики. Типовые нелинейности автоматических систем, их влияние на устойчивость системы и методы линеаризации.

Системы управления циклом. Принцип построения циклограмм. Структурные схемы кулачковых автоматов. Область применения. Преимущества и недостатки.

Копировальные следящие системы. Индуктивные и фотокопировальные системы. Области применения копировальных станков. Преимущества и недостатки.

Классификация систем программного управления. Системы: контурные, позиционные, прямоугольные, универсальные. Системы управления многооперационными станками. Структура систем программного управления основных классов. Понятие об основных узлах устройств ЧПУ (интерполяторы, устройства управления приводом и др.). Области применения станков с программным управлением. Системы группового числового управления станками. Датчики перемещения в станках с ЧПУ.

Процесс программирования. Программноносители и устройства для ввода программы.

Автоматизация процесса резания. Адаптивные системы. Приборы контроля точности изготовления деталей на станке и подналадка станка.

Роботы и манипуляторы.

Основные принципы компоновки автоматических линий. Транспортные системы. Области применения автоматических линий. Гибкие автоматические линии. Определение. Принципы построения.

Основные понятия о ГП-модулях и ГПС. Требования к системам ЧПУ и ГП-модулям.

Гибкие автоматизированные производственные системы (ГПС). Основные понятия. Область применения.

Стратегии создания автоматических заводов (АЗ).

Моделирование станочных систем.

14. Особенности станков для физико-технических методов обработки

Сравнительные характеристики методов физико-технической обработки, их место среди других методов размерной обработки материалов и общие вопросы построения станков. Принципы и схемы адаптивно-программного управления процессом обработки. Оптимальное регулирование режимов обработки.

Электроэрозионные станки, их разновидности, физические схемы и технологические возможности. Прецизионные методы изготовления деталей.

Типовые узлы станков для электроэрозионной обработки, генераторы импульсов энергии, виды электродов, системы автоматического регулирования.

Взаимосвязь элементарных единичных и реальных массовых процессов электроэрозионной обработки. Физические модели реального процесса при массовом воздействии разрядов. Рабочие жидкости, влияние их свойств на выходные показатели процесса.

Автоматизация электроэрозионных копировально-прошивочных и вырезных станков. Средства и устройства автоматизации. Станки-модули. Устройства, сообщающие орбитальные движения электроду-инструменту.

Ультразвуковые станки, физические основы их работы, кинематика обрабатываемой системы, в т.ч. магнитострикционные и ультразвуковые преобразователи. Технологические характеристики размерной ультразвуковой обработки.

Станки для отделочных методов электрофизической обработки, электрополирование, методы достижения точности и качества поверхностного слоя деталей.

Станки для электрохимических методов обработки. Основные виды электрохимической обработки: непрерывная, импульсная, циклическая. Выбор их оптимальной последовательности и параметров, закономерности анодного растворения, электролиты, конструкции катодов. Установки для электрохимической обработки типовых деталей. Средства интенсификации процесса обработки. Автоматизация электрохимического оборудования.

Станки для лучевых методов обработки: электроннолучевая обработка и лазерная обработка, принципы действия и физические схемы, установки, области применения. Основные положения экономики; физические схемы, применение для изделий приборостроения.

Станки для комбинированных методов обработки, их классификация. Станки для электроконтактных и анодно-механических методов обработки; физические схемы, технологические установки, области применения.

15. Эксплуатация станков и станочных систем

Установка станков на фундамент.

Испытание станков на холостом ходу и при резании.

Диагностика станков, инструментов и механизмов смены и загрузки инструмента.

Особенности эксплуатации станочных автоматических линий.

Особенности эксплуатации станков с ЧПУ и ГПС.

Техническое обслуживание и ремонт.

Проблемы модернизации станков.

Учебно-методическое обеспечение и информационное обеспечение программы кандидатского экзамена в аспирантуру по научной специальности 2.5.5 Технология и оборудование механической и физико-технической обработки

Основная литература

1. Альперович Т.А., Барабанов В.В., Давыдов А.Н. и др. Под ред. д.т.н., проф. Черпакова Б.И. Компьютерно-интегрированные производства и CALS-технологии в машиностроении. М.: ГУП "ВИМИ", 1999.
2. Артамонов Б.А., Волков Ю.С., Дрожжалова В.И. и др. Электрофизические и электрохимические методы обработки материалов Учебное пособие в 2-х томах. М.: Высшая школа, 1983.
3. Баранчиков В.И. и др. Справочник конструктора-инструментальщика. М.: Машиностроение, 1994.
4. Вороничев Н.М., Тартаковский Ж.Э., Генин В.Б. Автоматические линии из агрегатных станков. М.: Машиностроение, 1979.
5. Гжиров Р.И., Гречишников В.А. и др. Инструментальные системы автоматизированного производства. Учебник для вузов. С.-Пб., Политехника, 1993.
6. Гибкие производственные комплексы. /Под ред. Белянина П.Н. и Лещенко В.А. М.: Машиностроение, 1984.
7. Гибкое автоматическое производство. /Под ред. Майорова С.А. и Орловского Г.В. Л.: Машиностроение, 1983.
8. Дальский А.М. и др. Механическая обработка материалов. Учебник для вузов. М.: Машиностроение, 1981.
9. Иноземцев Г.Г. Проектирование режущего инструмента. Учебное пособие для вузов. М.: Машиностроение, 1984.
10. Качество машин. Справочник в 2-х томах. /Под ред. Сулова А.Г. М.: Машиностроение, 1995.
11. Кузнецов Ю.И. и др. Оснастка для станков с ЧПУ. Справочник. М.: Машиностроение, 1990.
12. Машиностроение. Энциклопедия. Технология изготовления деталей машин. Т. 111-3. /Под ред. Сулова А.Г., 1999.

13. Машиностроение. Энциклопедия. Металлорежущие станки и деревообрабатывающее оборудование. Т.IV-7. /Под ред. Черпакова Б.И. М.: Машиностроение, 1999.
14. Проектирование металлорежущих станков и станочных систем. /Под ред. Проникова А.С., Т.1, 2 (в 2-х частях), 3, М.: Машиностроение, МГТУ им. Баумана, 1994-1995 гг.
15. Проников А.С. Надежность машин. М.: Машиностроение, 1978.
16. Решетов Д.Н., Портман В.Т. Точность металлорежущих станков. М.: Машиностроение, 1986.
17. Родин П.Р. Основы проектирования режущих инструментов. Учебник для вузов. Киев: Высшая школа, 1990.
18. Сахаров Г.Н. и др. Металлорежущие инструменты. Учебник для вузов. М.: Машиностроение, 1989.
19. Сосонкин В.Л. Программное управление станками. М.: Машиностроение, 1981.
20. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. / Под ред. Дальского А.М. и др. 5-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 2001.
21. Старков В.К. Обработка резанием. Управление стабильностью и качеством в автоматизированном производстве. М.: Машиностроение, 1989.
22. Суслов А.Г. Качество поверхностного слоя деталей машин. М.: Машиностроение, 2000.
23. Таратынов О.В. и др. Проектирование и расчет режущих инструментов на ЭВМ. Учебник для вузов. М.: Высшая школа, 1990.
24. Трент Е.М. Резание металлов. М.: Машиностроение, 1980.
25. Ящерицын П.И. и др. Теория резания. Физические и тепловые процессы в технологических системах. М.: Высшая школа, 1990.

Дополнительная литература

1. Верещака А.С. Работоспособность режущего инструмента с износостойкими покрытиями. М.: Машиностроение, 2000.
2. Лоладзе Т.Н. Прочность и износостойкость режущего инструмента. М.: Машиностроение, 1982.
3. Остафьев В.А. Расчет динамической прочности режущего инструмента. М.: Машиностроение, 1979.
4. Подураев В.Н. Автоматически регулируемые и комбинированные процессы резания. М.: Машиностроение, 1977.
5. Резников А.Н., Резников Л.А. Тепловые процессы в технологических системах. – М.: Машиностроение, 1990.

6. Свешников В.К. Станочные гидроприводы (Справочник, 3-е издание), М.: Машиностроение, 1995.
7. Силин С.С. Метод подобия при резании материалов. М.: Машиностроение, 1979.
8. Участки для электроэрозионной обработки рабочих деталей вырубных штампов и пресс-форм. М.: ОНТИ, ЭНИМС, 1983.
9. Черпаков Б.И. Эксплуатация автоматических линий. М.: Машиностроение, 1990.
10. Электроэрозионная и электрохимическая обработка, часть I и II. М.: НИИНМАШ, 1980.
11. Этин А.О., Юхвид М.В. Кинематический анализ и выбор эффективных методов обработки лезвийным инструментом. М.: АО ЭНИМС, 1994.
12. Якобс Г.Ю., Якоб., Кохан Д. Оптимизация резания. М.: Машиностроение, 1981.

Информационное обеспечение

1. Международная реферативная база данных научных изданий Scopus (доступ через национальную подписку Минобрнауки России).
2. Международная реферативная база данных научных изданий Web of Science (доступ через национальную подписку Минобрнауки России).
3. Научная электронная библиотека: <http://elibrary.ru>.