МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный технический университет
имени К.И. Сатпаева

Н.А. Шамельханова

НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ ВЫБОРА МАТЕРИАЛОВ

Учебник для бакалавриата специальности
050710 – «Материаловедение и технология новых материалов»

Рекомендовано Министерством образования и науки
Республики Казахстан в качестве учебника

Алматы 2013

УДК 620.2 (075.8)
ББК 30.3 я 73
Ш 19

Ш 19 Шамельханова Н.А. Научные основы выбора материалов. Учебник. – Алматы: КазНТУ, 2013. – 331 с.
Ил. 17. Табл. 49. Прил. 21. Библиогр. – 40 назв.
ISBN 978-601-228-494-2

Содержание учебника соответствует программе курса (силлабусу) и учебно-методическому комплексу дисциплины «Научные основы выбора материалов», входящей в обязательный компонент подготовки бакалавров, согласно ГОСО РК для бакалавриата специальности 050710 – «Материаловедение и технология новых материалов».

В учебнике излагаются вопросы методологии выбора материалов, базирующихся на знаниях дисциплин «Материаловедение» и «Основы научных исследований». Приведены примеры решения практических задач по выбору материалов конкретного назначения.

Учебник предназначен для обучающихся по специальности 050710 – «Материаловедение и технология новых материалов», а также для всех, кто специализируется в области материаловедения.

УДК 620.2 (075.8)
ББК 30.3 я 73

Рецензенты:
Кожахметов С.М. – акад. НАН РК, д-р техн. наук, гл. науч. сотр. АО «ЦНЗМО»
Канаев А.Т. – д-р техн. наук, проф. КазАТУ им. С. Сейфуллина
Кенжалиев Б.К. – д-р техн. наук, проф., проректор по инновационной деятельности АО «КБТУ»
Мендебаев Т.М. – д-р техн. наук, проф., зав. каф. «Стандартизация, сертификация и технология машиностроения» КазНТУ им. К.И. Сатпаева

Печатается по плану издания Министерства образования и науки Республики Казахстан на 2013 г.

ISBN 978-601-228-494-2

© Шамельханова Н.А., 2013
© КазНТУ, 2013

«… наукой овладевает тот, кто испытывает жажду познаний. Но одного стремления тут мало. Даже сам процесс обретения знаний должен быть подчинен определенной системе. В противном случае поиски и весь огромный труд человека, затраченный на овладение наукой, могут оказаться напрасными».

Абай Кунанбаев

ПРЕДИСЛОВИЕ К ИЗДАНИЮ

Учебная дисциплина «Научные основы выбора материалов» входит в обязательный компонент подготовки бакалавров, согласно ГОСО РК специальности 050710 – «Материаловедение и технология новых материалов». Ее изучение строится на знаниях дисциплин «Материаловедение» и «Основы научных исследований», определяющих уровень подготовки бакалавров почти всех технических специальностей. Поэтому в содержание одноименного учебника включены общенаучные знания принципов научного поиска, а также специальные вопросы материаловедения, составляющие главные темы учебного курса.

Предполагается, что в результате изучения данной дисциплины, будущий специалист приобретет профессиональные компетенции для осуществления грамотного, научно обоснованного выбора материала, повысит свою методологическую культуру как исследователь и расширит представления о своей специальности за счет знакомства с методами научного исследования и формирования целостного взгляда на науку о материалах.

Главными целями книги являются:

– дать методологические представления о выборе материалов конкретного назначения;

– научить применять материаловедческие знания при решении практических задач.

Объем, структура и содержание учебника соответствует тому объему знаний, который входит в предметную область изучаемой дисциплины, согласно учебной программе курса. Причем содержание данной дисциплины ориентировано не только на изучение основ науки, но и на саму науку в развитии, что сближает поисковую работу обучающихся с учебной. Это и приводит к повышению качества подготовки бакалавров данной специальности.

Настоящая книга является результатом многолетней работы профессора Казахского национального технического университета имени К.И. Сатпаева, кандидата технических наук, доктора педагогических наук – Шамельхановой Н.А., многие годы ведущей базовые дисциплины в области материаловедения и имеющей большой опыт написания учебной литературы (включая учебник и учебные пособия).

Автор надеется, что книга будет способствовать развитию исследовательских навыков бакалавров, которые необходимы для более глубокого овладения специальностью.

ВВЕДЕНИЕ

Потребности современного промышленно-технологического развития обуславливают необходимость в специалистах, способных эффективно решать технические задачи по выбору материалов конкретного назначения. При этом выбор материала должен обеспечивать технологичность изготовления изделия, его надежность и долговечность в условиях эксплуатации и быть экономически оправданным.

Сложность решения этих задач связана с существованием огромного разнообразия материалов, применяемых в технике, и непрерывным процессом создания новых. Знание закономерностей научного поиска позволяет производить оптимальный выбор материалов и технологий их обработки для изделий различного назначения. Научная подготовка дает базу для анализа технических материалов и выбора методов их обработки, влияющих на выходные макроскопические свойства материалов, которые, в свою очередь, зависят от их микроскопической структуры.

Ключевая роль в решении задач по научно обоснованному выбору материалов принадлежит специалистам в области материаловедения, которые благодаря имеющейся совокупности знаний и умений, способны эффективно решать подобные задачи в сотрудничестве со специалистами из других областей. Подразумевается, что специалисты в области материаловедения должны уметь анализировать структуру и свойства материалов, знать технологию их производства и обработки, а также давать им экономическую оценку. Ценность таких специалистов проявляется при реализации качеств технической продукции, конкурентоспособной и экологической в производстве, а также при их исследовании и улучшении.

Улучшение качества и повышение конкурентоспособности технических изделий, обновление их ассортимента обеспечиваются

как путем разработки и внедрения новых моделей изделий, совершенствования их конструкций и использования современной техники и технологии изготовления, так и за счет применения новых материалов.

Таким образом, материал является главным звеном в технологической цепочке «материал – изготовление изделия – эксплуатация изделия – обработка материала – новый материал».

Материал обеспечивает оптимальные условия эксплуатации, работоспособности и должен отвечать сложному комплексу требований ГОСТ, которые предъявляют потребители и производство. Все многообразие этих требований оценивают двумя группами показателей – потребительскими и производственными (или технико-экономическими) показателями качества. К потребительским требованиям относятся функциональные, эргономические, эстетические, экологические, социального назначения, надежности и безопасности потребления. Производственные требования включают в себя конструктивные, технологические, экономические требования. При выборе материала для изготовления деталей необходимо распределять ранговую зависимость к требованиям.

Для оценки качества и пригодности материала для изделий определенного назначения, в зависимости от условий их эксплуатации, возникает необходимость выбора или уточнения номенклатуры показателей свойств. Для этого используется экспертный метод оценки значимости показателей качества, который включает следующие этапы:

– составление предварительного перечня показателей;

– формирование экспертной группы на базе специалистов;

– анкетирование на основе составления анкет, содержащих предварительный перечень показателей;

– обработка результатов.

При решении сложных многофакторных задач по оптимальному выбору материалов и методов его разработки особое значение приобретает научно обоснованный подход, требующий знания методологических приемов и методик на основе

теоретического и практического освоения методологии системного подхода, процедур и алгоритмов решения подобных задач.

Роль дисциплины «Научные основы выбора материалов» в подготовке квалифицированных специалистов определяется тем, что выбор материалов для технических объектов является одним из важнейших этапов машиностроительного, строительного и других видов производств. Именно правильный выбор материала, в значительной мере, определяет качество детали, надежность и эффективность ее работы, т. к. качество продукции и, в частности, конкретных деталей и конструкций, существенно зависит не только от технологии изготовления, но также и от качества материалов, их структуры и свойств. Выбор оптимальных материалов для технических изделий и их рациональное использование на производстве возможны только на основе знаний строения и свойств материалов, методов оценки их качества.

Структура и содержание учебника соответствует учебной программе курса дисциплины «Научные основы выбора материалов».

Первый раздел учебника начинается с ознакомления основных понятий и этапов научного познания, на которых строится любое исследование. Это означает: если относиться к выбору конкретного материала детали, изделия, конструкции как к исследовательскому процессу, то необходимо владеть методологией научного поиска. Только тогда можно научно обосновать применение того или иного материала из множества других. И поскольку задачи по выбору материалов конкретного применения толкуются как исследовательские, относящиеся к научным разработкам, то учебный материал книги включает рассмотрение методологических подходов к организации научного исследования.

Зная методологию научного исследования, обучающийся осуществляет поиск нужного материала с позиции научного исследования. В этой связи первый раздел учебника затронул вопросы курса «Основы научного исследования» как базу научного образования. Использование методологических подходов позволяет формулировать основные принципы выбора, базирую-

щиеся на комплексной методике поиска технических материалов для конкретного применения.

Важное место в курсе дисциплины занимают вопросы материаловедения. Достаточные знания, полученные в области материаловедения, должны являться основой для осуществления правильного выбора материалов конкретного назначения.

Следует отметить, что первое знакомство бакалавров специальности «Материаловедение и технология новых материалов» с миром материалов происходит на более ранних этапах обучения, включающих не только изучение основ материаловедения, но и физики, химии, а также некоторых специальных лекций и практических занятий, которые и дают начальные представления и первый опыт исследований. При этом учебно-исследовательская работа направлена на изучение взаимосвязей микроструктуры и физико-механических свойств основных групп материалов, анализ превращений в этих материалах. Развитие науки материаловедения и появление новых материалов дополняют это направление. Углубление фундаментальных знаний по основным группам материалов (металлы и сплавы, керамика, полимеры, композиты, наноматериалы), вместе с изучением технологических процессов получения и обработки, происходит уже в процессе подготовки специалистов в области материаловедения на более высоких уровнях обучения. Поэтому в разделе 2 учебника излагаются в обобщенном виде теоретические вопросы материаловедения в объеме, который необходим для того, чтобы иметь системные представления об этой науке. При этом материал книги подается в той направленности, на которую ориентирован учебный курс дисциплины «Научные основы выбора материалов». То есть, зная ответ на вопрос: что представляет собой материал? – обучающийся уже имеет определенные основания для того, чтобы предложить тот или ной материал в конкретных целях.

Важной темой учебного курса являются вопросы управления качеством выбранного материалов, основанные на знании вопросов стандартизации. Здесь особое место отводится систе-

мам кодирования и маркировки материалов по американским и европейским стандартам, знание которых востребуют новые условия развития науки и техники, определяемые глобализационными процессами. Сегодня уже недостаточно использовать в решениях задач по выбору материалов лишь стандарты, традиционно применяемые в прошлом.

В разделе 3, в порядке ознакомления с реальными проблемами выбора материалов, включены конкретные примеры решения наиболее типичных практико-ориентированных задач, в которых отражаются методологические подходы к проведению исследований в рассматриваемой области.

После изучения теоретического материала каждого раздела обучающийся имеет возможность проверить себя по пройденному материалу с помощью контрольных вопросов. В конце учебника имеются приложения, сопровождающие изложение некоторых вопросов дисциплины.

Главные определения и правила, содержащиеся в тексте учебника заключены в рамки, для того чтобы обучающийся обратил свое внимание на опорные понятия и теоретические положения предметной области дисциплины.

Таким образом, для осуществления научно обоснованного выбора материалов конкретного назначения необходимо знание современной концепции выбора и применения материалов, технологий их обработки. Сущность положений данной концепции лежит в основе настоящего учебника и сводится к следующему:

- в процессе выбора материалов необходимо опираться на методологически обоснованные подходы и принципы, что обуславливается самим типом рассматриваемых задач, относимых к разработкам;
- материал рассматривается не просто как вещество с заданным химическим составом, а как интегральное понятие, объединяющее в себе структуру вещества, технологию обработки;
- подразумевается исключение ухудшения свойств материала в процессе эксплуатации изделий и возможность управления качеством за счет использования систем стандартизации.

1. МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ВЫБОРА МАТЕРИАЛОВ

1.1. Виды научных исследований. Структурные элементы и основные этапы научного исследования

Осуществлять научно обоснованный выбор материалов для конкретного применения в технике – это значит *вести поисковые исследования*, которые связаны с научным предвидением и строятся на научных фактах. При этом необходимо давать объяснение установленному выбору с позиции науки о материалах, показать практические преимущества.

Для осуществления научно обоснованного выбора материала конкретного назначения, прежде всего, необходимо иметь определенный объем теоретических знаний и практических навыков. Однако и этого бывает недостаточно, если не иметь системного представления о путях научного поиска – т. е. *методологии научного исследования*. Поэтому научный выбор материалов, используемых в технике, опирается на знание основ организации научного исследования.

Виды научных исследований

Научные исследования классифицируются по разным признакам, например: [2]

– *по видам связи с общественным производством*: работы, направленные на создание новых технологических процессов, машин, конструкций, повышение эффективности производства, улучшение условий труда, развитие личности человека и т. п.;

– *по степени важности для экономики*: работы, выполняемые по постановлениям правительства, государственным программам, планам отраслевых комитетов, фирм, организаций и т. п.;

– *по целевому назначению*: ***фундаментальные, прикладные и разработки***;

- *по источникам финансирования*: госбюджетные – финансируемые из средств государственного бюджета; хоздоговорные – финансируемые организациями-заказчиками на основе хозяйственных договоров; не финансируемые исследования выполняются по договорам о сотрудничестве.

Широко употребляемая классификация научных исследований – *по целевому назначению.*

Целью фундаментального научного исследования является расширение научного знания, установление того, как можно использовать полученные научные знания в практической деятельности человека

Фундаментальные научные исследования направлены на открытие и изучение новых явлений и законов природы, на создание новых принципов исследования. Эти исследования ведутся на границе известного и неизвестного, обладают наибольшей степенью неопределенности. Их результатом могут быть теории, концепции, гипотезы и т. п.

В результате *прикладных исследований* на основе научных понятий создаются технические понятия. Они направлены на нахождение способов использования законов природы для создания новых и совершенствования существующих средств и способов человеческой деятельности.

Цель прикладных исследований – установление того, как можно использовать научные знания, полученные в результате фундаментальных исследований, в практической деятельности человека

Прикладные исследования, в свою очередь, подразделяются на *поисковые*, *научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы (НИОКР).*

Поисковые исследования направлены на установление факторов, влияющих на объект, отыскание путей создания новых

технологий и техники на основе знаний, предложенных в результате фундаментальных научных исследований.

В результате научно-исследовательских работ создаются новые технологии, опытные установки, приборы и т. п.

Целью опытно-конструкторских работ является подбор конструктивных характеристик, определяющих логическую основу конструкции.

И фундаментальные, и прикладные исследования формируют новую научную и научно-техническую информацию. Целенаправленный процесс преобразования такой информации в форму, пригодную для освоения в промышленности, обычно называют *разработкой*. Она направлена на создание новой техники, материалов, технологии или совершенствование существующих. Например:

– разработки определенной конструкции инженерного объекта или технической системы (конструкторские работы);

– разработки идей и вариантов нового объекта, в т. ч. нетехнического, на уровне чертежа или другой системы знаковых средств (проектные работы);

– разработки технологических процессов, т. е. способов объединения физических, химических, технологических и других процессов с трудовыми в целостную систему, производящую определенный полезный продукт (технологические работы);

– создание опытных образцов (оригинальных моделей, обладающих принципиальными особенностями создаваемого новшества);

– проведение испытаний для получения технических и других данных и накопления опыта (это находит отражение в технической документации по применению нововведений).

Конечной целью разработки является подготовка к внедрению

Фундаментальные и поисковые работы в жизненный цикл изделия, как правило, не включаются. Однако на их основе

осуществляется генерация идей, которые могут трансформироваться в проекты НИОКР. Прикладные исследования являются одной из стадий жизненного цикла изделия. Их задача – дать ответ на вопрос: возможно ли создание нового вида продукции, и какие он имеет характеристики?

Порядок проведения научно-исследовательских работ (НИР) регламентируется ГОСТ 15.101-80. Конкретный состав этапов и характер выполняемых в их рамках работ определяются спецификой НИР.

Таблица 1

Виды научных исследований

Виды научных исследований	Результаты исследований
Фундаментальные	Расширение теоретических знаний. Получение новых научных данных о процессах, явлениях, закономерностях, существующих в исследуемой области; научные основы, методы и принципы исследований
Прикладные: поисковые, научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы	Разрешение конкретных научных проблем для создания новых изделий. Получение рекомендаций, инструкций, расчетно-технических материалов, методик. Определение возможности проведения опытно-конструкторских работ (ОКР) по тематике научно-исследовательских работ (НИР)
	Увеличение объема знаний для более глубокого понимания изучаемого предмета. Разработка прогнозов развития науки и техники; открытие путей применения новых явлений и закономерностей
Разработки	Создание новой техники, материалов, технологии или совершенствование существующих

Решение задач по выбору материалов конкретного назначения относят к исследованиям прикладного характера или, точнее, к разработкам

Структурные элементы научного исследования

Научное исследование является специфической системой элементов, при помощи которых осуществляются целенаправленные познавательные действия. В этой системе выделяют следующие структурные элементы [3]:

1. Научная проблема исследования;
2. Цель;
3. Объект и предмет исследования;
4. Ведущая идея;
5. Гипотеза исследования;
6. Задачи исследования;
7. Методы исследования;
8. Результаты исследования.

Выделение структурных элементов научного исследования удовлетворяет важным методологическим требованиям к научному исследованию. Во-первых, научное исследование можно подвергать эмпирической проверке, уточнять и обогащать на основе исследовательской деятельности. Какова познавательная роль каждого из элементов научного исследования рассмотрим подробнее.

Под научной проблемой понимается такой вопрос, ответ на который не содержится в накопленном данной отраслью научном знании

Проблема как «знание о незнании» способствует определению направления в организации научного исследования – она указывает на неизвестное и побуждает к его познанию. Проблема обеспечивает целенаправленную мобилизацию прежних и организацию получения новых, добываемых в ходе исследования,

знаний. Проблема возникает в результате фиксации реально существующего или прогнозируемого противоречия, от решения которого зависит прогресс научного познания и практики.

Любое научное исследование направлено на достижение определенной *цели*. Цели исследования оказывают определяющее влияние на выбор и обоснование программы исследования. Теоретическое понимание и обоснование целей научного исследования являются показателем направленности исследовательских действий и их значимости. Достижение цели зависит от теоретического понимания науки.

Целью исследования является – всестороннее, достоверное изучение объекта, процесса или явления; его структуры, связей и отношений на основе разработанных в науке принципов и методов познания, а также получение и внедрение в производство (практику) полезных результатов

Кроме того, любое научное исследование имеет свой *объект* и *предмет*.

Рассматриваемая система становится объектом научного исследования лишь в результате активной материально-практической и теоретической деятельности. Другими словами, реальная система является объектом исследования, если подвергается экспериментальному воздействию или превращается в идеальный объект теоретического мышления через научные понятия и специально созданные научные абстракции.

Объектом научного исследования является материальная или идеальная система

Предмет исследования всегда является лишь конкретной частью изучаемых объектов. Результаты, полученные на конкретных предметах исследования, переносятся на весь класс объектов, образующих ту или иную предметную область. Предмет исследования не только выбирается, его выбор необходимо

обосновывать. Чем сложнее изучаемая предметная область, чем дороже обходятся обществу исследования, тем важнее обоснованность такого выбора.

Переход от предмета исследования ко всему классу объектов осуществляется на основе разработки теоретических, логических и эмпирических вопросов.

Предметом исследования – является структура системы, закономерности взаимодействия элементов внутри системы и вне ее, закономерности развития, различные свойства, качества и т. д.

На выбор и обоснование предмета исследования оказывают влияние, прежде всего решаемая научная проблема и характер исходной *гипотезы*. Научная проблема задает направление поиска гипотез как предположений о той или иной форме связи между наблюдаемыми явлениями и процессами.

Гипотеза должна объяснять весь круг явлений и процессов, для анализа которого она выдвигается. Гипотеза определяет круг характеристик, которые необходимо изучать с целью решения поставленной проблемы. Важно иметь альтернативные гипотезы, чтобы получить достоверные результаты.

Гипотеза – это предположительное знание о связи между наблюдаемыми явлениями и процессами

Задачи научного исследования представляют собой цели исследования при некоторых исходных данных, ограничениях и условиях. Обычно именно ограничения, условия, исходные данные превращают фантастический проект в научную задачу. Как правило, формулируется несколько задач, что связано с различными аспектами общей проблемы: необходимостью изучения объекта исследования, проведением испытаний, разработкой новых методов, разработкой рекомендаций по использованию новых знаний и др.

Для достижения цели исследования используют различные *методы исследования* (качественные и количественные), которые выбираются с учетом специфики поставленных задач.

Результаты научного исследования должны формулироваться в таком виде, который допускает эмпирическую проверку, логический анализ и теоретическое обоснование научными методами.

Таким образом, для любого вида научного исследования необходимы, кроме представления о *цели* исследования, определения *объекта* и *предмета* исследования, осознание решаемой *проблемы*, опора на *гипотезы*, формулировка *конкретных задач*, которые требуют обращения к *методам исследованиям*.

Для примера приведем разработку научного аппарата (или структуры научного исследования) по исследованию на тему: «*Повышение износостойкости литых деталей грузовых вагонов дуговой наплавкой слоя стали со структурой игольчатого феррита*». [3]

Проблема повышения износостойкости литых деталей грузовых вагонов обосновывается исследователем как с технической, так и экономической точек зрения. Она определяется тем, что литые детали грузовых вагонов являются материалоемкими, трудоемкими в изготовлении, и дорогостоящими узлами и при достижении предельного износа после 3 лет эксплуатации (~210 тыс. км пробега) подвергаются ремонту дуговыми методами наплавки. Однако применяемые при этом низколегированные сварочно-наплавочные материалы с низкой износостойкостью не позволяют увеличить межремонтный пробег отремонтированных деталей более 160 тыс. км (2 года эксплуатации). Поэтому детали за весь срок службы подвергаются ремонту наплавкой до 10 раз, что приводит к весьма значительным материальным затратам железнодорожной отрасли.

Целью исследования является повышение износостойкости литых деталей грузовых вагонов наплавкой слоя стали с обеспечением межремонтного пробега не менее 500 тыс. км.

Объектом исследования являются комплекснолегированные сварочно-наплавочные материалы.

Предметом исследования является износостойкость литых деталей грузовых вагонов.

Ведущая идея исследования заключается в том, что механизм изнашивания рабочих поверхностей литых деталей будет определяться процессом схватывания при абразивном и коррозионно-окислительном воздействии при наличии высоких контактных и ударных нагрузок.

Научная гипотеза состоит в следующем: если в результате дуговой наплавки комплекснолегированный наплавленный металл со структурой игольчатого феррита образует в условиях сухого трения скольжения высокоизносостойкий поверхностный слой, то возрастает износостойкость литых деталей.

Задачи исследования, поставлены в соответствии с целью исследования:

- провести анализ интенсивности изнашивания стали 20 ГЛ с феррито-перлитной микроструктурой;
- провести металлографические исследования износостойкого комплекснолегированного металла, наплавленного проволокой марки 08ХГ2СМФ на гребень цельнокатаного колеса;
- изучить влияние легирующих элементов на полиморфное превращение переохлажденного аустенита в условиях непрерывного охлаждения комплекснолегированного наплавленного металла;
- выбрать систему легирования наплавленного металла с высокой стойкостью против образования холодных трещин;
- определить влияние степени легирования наплавленного металла на его износостойкость;
- провести эксплуатационные испытания натурных деталей, наплавленных комплекснолегированным металлом;
- разработать технологию износостойкой наплавки литых деталей грузовых вагонов.

Методы исследования:

- экспериментальные исследования по выбору системы легирования наплавочного материала посредством введения соответствующих ферросплавов в шихту;

- металлографические исследования по идентификации микроструктуры и изучение поверхностных слоев комплекснолегированного наплавленного металла на оптическом, электронном просвечивающем и растровом микроскопах, а также микрорентгеноспектральным методом;

- определение механических свойств основного и наплавленного металла по стандартным методикам (ГОСТ 1497, ГОСТ 9454, ГОСТ 6996, ГОСТ 9012);

- дюрометрический анализ поверхностных слоев натурных деталей после пробеговых испытаний на приборе микротвердости ПМТ-3 по ГОСТ 9450;

- химический анализ металла образцов на оптическом эмиссионном спектрометре «Spectrolab-S»;

- изучение неметаллических включений в наплавленном металле на растровом электронном микроскопе JSM-6060A с энергодисперсионным спектрометром JED-2300;

- сравнительная оценка триботехнических свойств основного металла деталей и комплекснолегированного наплавленного металла на машинах трения, имитирующих сухое трение, а также трение скольжения поверхностей.

Ожидаемые результаты могут быть спрогнозированы исходя из поставленных ранее задач:

- построение структурной диаграммы комплекснолегированного наплавленного металла, являющейся теоретической основой для разработки низколегированных сварочно-наплавочных материалов различного назначения;

- установление наиболее эффективного игольчатого феррита в условиях непрерывного охлаждения системы легирования;

- установление наименьшей склонности к схватыванию комплекснолегированного наплавленного металла со структурой игольчатого феррита и получение в результате наклепа высокоизносостойкого поверхностного слоя.

Основные этапы научного исследования

Зная *структуру научного исследования* (или его научный аппарат), можно организовывать основные *этапы* научного исследования, которые будут варьироваться в зависимости от специфики работы:

- разработка технического задания на этапе возникновения идеи и постановка проблемы с выделением объекта и предмета исследования;
- выбор направления исследования с выдвижением гипотез исследования, определением методов решения задач;
- теоретические и экспериментальные исследования с формированием понятий, суждений;
- обобщение результатов исследования с описанием, объяснением и обсуждением научных фактов;
- оценка результатов с приведением доказательств и проверки правильности гипотез и суждений.

На стадии разработки технического задания используются следующие виды информации:

- объект исследования;
- описание требований к объекту исследования;
- перечень функций объекта исследования общетехнического характера;
- перечень физических и других эффектов, закономерностей и теорий, которые могут быть основой принципа действия изделия;
- технические решения (в прогнозных исследованиях);
- сведения о научно-техническом потенциале исследователя;
- сведения о производственных ресурсах (применительно к объекту исследований);
- сведения о материальных ресурсах;
- маркетинговые сведения;
- данные об ожидаемом экономическом эффекте.

Дополнительно используется следующая информация:

- методы решения отдельных задач и обработки информации;

- общетехнические требования (стандарты, ограничения вредных влияний, требования по надежности, ремонтопригодности, эргономике и т. д.);

- проектируемые сроки обновления продукции;

- предложения лицензий и "ноу-хау" по объекту исследований.

На последующих этапах научного исследования в качестве базы в основном используется перечисленная выше информация с использованием:

- сведений о новых принципах действия, новых гипотезах, теориях, результатах исследования;

- данные экономической оценки, моделирования основных процессов, оптимизации многокритериальных задач, макетирования, типовых расчетов, ограничений;

- требования к информации, вводимой в информационные системы и т. д.

Примерное содержание работ на каждом из этапов научного исследования приведено в табл. 2.

Таким образом, классифицируя решение задач по выбору материалов конкретного назначения как прикладные научные исследования, необходимо знать саму структуру научного исследования (его элементный состав: проблема исследования, цель, объект и предмет исследования, ведущая идея и научная гипотеза исследования, задачи, методы исследования). Исходя из этого, организуются основные этапы исследования применительно к конкретной научной проблеме.

В результате этих знаний вырабатываются представления о методологических основах выбора материалов. Понятие методологии очень важное в науке, его смысл и содержание раскроем в следующем параграфе.

Таблица 2

Этапы научного исследования и содержание работ на каждом из них

Этапы научного исследования	Содержание работ
Разработка технического задания на этапе возникновения идеи и постановка проблемы	Научное прогнозирование. Анализ результатов фундаментальных и поисковых исследований. Изучение патентной документации. Учет требований заказчиков
Выбор направления исследования	Сбор и изучение научно-технической информации. Составление аналитического обзора. Проведение патентных исследований. Формулирование возможных направлений решения задач, поставленных в техническом задании, их сравнительная оценка. Обоснование принятого направления исследований с выдвижением гипотезы и выбором методов решения задач. Сопоставление ожидаемых показателей новой продукции после внедрения результатов научно-исследовательских работ с существующими показателями изделий-аналогов. Оценка ориентировочной экономической эффективности новой продукции. Разработка общей методики проведения исследований. Составление промежуточного отчета

продолжение таблицы 2

Теоретические и экспериментальные исследования	Разработка рабочих гипотез, построение моделей объекта исследований, обоснование допущений. Выявление необходимости проведения экспериментов для подтверждения отдельных положений теоретических исследований или для получения конкретных значений параметров, необходимых для проведения расчетов Разработка методики экспериментальных исследований, подготовка моделей (макетов, экспериментальных образцов), а также испытательного оборудования. Проведение экспериментов, обработка полученных данных. Сопоставление результатов эксперимента с теоретическими исследованиями. Корректировка теоретических моделей объекта. Проведение при необходимости дополнительных экспериментов. Проведение технико-экономических исследований. Составление промежуточного отчета
Обобщение и оценка результатов исследований	Обобщение результатов предыдущих этапов работ. Оценка полноты решения задач. Разработка рекомендаций по дальнейшим исследованиям и проведению опытно-конструкторских работ. Разработка проекта технического задания на опытно-конструкторских работах. Составление итогового отчета. Приемка результатов исследований комиссией

1.2. Методология научного поиска. Элементы теории и методологии научного исследования. Методы познания и анализа

Любое научное исследование осуществляется определенными приемами и способами, по определенным правилам. Учение о системе этих приемов, способов и правил называют *методологией*.

Сложное понятие «методология» в современной литературе употребляется в двух значениях: [24]

- совокупность методов, применяемых в какой-либо сфере деятельности (науке, политике и т. д.);
- учение о научном методе познания.

В научной литературе под методологией научного исследования обычно понимают, прежде всего, *методологию научного познания*, т. е. учение о принципах построения, формах и способах научно-познавательной деятельности. Элементы теории познания выступают основными методологическими средствами научно-технического поиска при решении задач по выбору материалов конкретного назначения.

Для лучшего понимания понятия методологии в табл. 3 приведены общие определения методологии, встречающиеся в литературе.

Таблица 3

Определения методологии, встречающиеся в научной литературе

Методология (от «метод» и «логия») – учение о структуре, логической организации, методах и средствах деятельности
Методология – система принципов и способов организации и построения теоретической и практической деятельности, а также учение об этой системе
Учение о методах деятельности (метод и «логос» – учение)
Методология: 1) совокупность приемов исследования, применяемых в какой-либо науке; 2) учение о методе познания и преобразования мира

продолжение таблицы 3

Методология: 1) система определенных способов и приемов, применяемых в той или иной сфере деятельности (в науке, политике, искусстве и т. п.); 2) учение об этой системе, общая теория метода, теория в действии
Методология является дисциплиной об общих принципах и формах организации мышления и деятельности
Общий подход к решению задач того или иного класса
Методология как способ, средство связи науки и практики
Методология как средство помощи науки практике
Методология – это учение об организации деятельности
Методология – учение о методах познания и преобразования действительности, применение принципов мировоззрения к процессу познания. Движение мысли от незнания к знанию руководствуется методологией

Каждое из приведенных определений высвечивает какую-либо одну (иногда несколько) сторону понятия методологии. Так, например, определение методологии как учения об организации деятельности означает, что методология рассматривает упорядочение деятельности в целостную систему с четко определенными характеристиками, логической структурой и процессом ее реализации. Логическая структура включает в себя следующие компоненты: субъект, объект, предмет, формы, средства, методы деятельности, ее результат. Внешними характеристиками деятельности являются: особенности, принципы, условия, нормы.

Исходя из сущности методологии как совокупности принципов, методов в какой-либо конкретной области научного познания, говорят о методологии экономических исследований, методологии психологии, методологии технических наук и, в нашем случае, *методологии научного выбора материалов для техники*.

Роль методологии научного исследования возрастает с ростом количества научных проблем в технических отраслях знаний, что обусловлено следующими причинами:

- сложностью структуры эмпирического и теоретического знания;
- необходимостью обоснования этого знания с помощью абстрактных понятий, идеализированных моделей;
- важностью соотнесения имеющегося знания в данной области с другими науками.

Знание основ методологии научного исследования является основой плодотворной научной деятельности.

В целом, современная методология включает в себя систему знаний объективных законов развития природы и систему соответствующих качеств самого исследователя. Методологическое знание характеризует логический путь к познанию объекта и выражается в исследовательских принципах, общих подходах к сложному объекту, предмету, проблеме.

Главная цель методологии науки – изучение тех методов, средств и приемов, с помощью которых приобретается и обосновывается новое знание в науке. Но, кроме этой основной задачи, методология изучает также структуру научного знания вообще, место и роль в нем различных форм познания и методы анализа и построения различных систем научного знания

В методологии выявляются две взаимосвязанные *функции*:

1) обоснование правил применения мировоззрения к процессу познания и преобразования мира;

2) определение подхода к явлениям действительности.

Первая функция – общая, вторая – частная. Общая функция базируется на обобщении системы взглядов человека на мир в целом, на место отдельных явлений в мире и на свое собственное место в нем.

Вторая функция связана с необходимостью определить наиболее правильный подход к решению той или иной научной проблемы. Стихийный поиск такого подхода требует много времени и сил от современного исследователя, причем это часто не приводит к правильному решению. Необходимо правильно сформулировать вопрос, определить характер ответа на него, а также знать и предвидеть результаты практического использования результатов научного труда. Результативность любого научного труда в значительной мере зависит от знания и умения применять методологию научного исследования.

Каждая из названных функций основана на внутренней организации и регулировании процесса познания или практического преобразования какого-то объекта.

Средством научного поиска выступает *методологический анализ*, который связан с широким охватом проблематики и подразумевает разные способы совмещения конкретного знания и деятельности.

Существует *три уровня* методологического анализа: *философский; общенаучный; конкретно-научный.* Какой либо резкой границы между ними не существует, они плавно переходят друг в друга и взаимно дополняются.

Философия как методология вооружает исследователя знанием наиболее общих законов развития природы, общества, мышления, позволяет охватить мир в его целостности, определить место и связи изучаемой проблемы среди множества других. Философия пронизывает нашу жизнь, т. к. человек, чем бы он ни занимался, неизбежно опирается на некие наиболее общие понятия, принципы, выработанные им самим, заимствованным из окружения или же усвоенные из опыта предыдущих поколений. Пренебрежение знаниями основных законов философии в конечном итоге может привести исследователя в болото псевдонаучных теорий, все непонятные вопросы начнут объясняться действием различных духов и т. п.

Общенаучный уровень методологического анализа выражается в принципах, методах и формах знания (понятия, законы, гипотезы, теории), функционирующих во многих науках.

Например, гносеология, мировоззренческое знание, общенаучные методы (эмпирические и логические), логика. На данном уровне происходит овладение некоторыми общими законам и принципами исследования, эффективными в различных областях знания, например, в естествознании, технике и т. д. Единство общенаучного и философского уровней лежит в основе методологии научного познания.

Конкретно-научный уровень методологического анализа отражает сумму закономерностей, приемов, принципов, эффективных для исследования узкой области научной дисциплины, например – химии, математики и т. д.

В состав *методологического знания технической науки* входят знания истории и места определенной области технической науки, ее понятий, фонд (условные обозначения, определения), базовые теоретические положения и знания по практическому применению, математические расчеты и навыки проектирования, исследовательские методы и принципы изучения тех или иных явлений, знания приборов и оборудования, аппаратуры и инструментария, технических средств и конкретных технологий, а также навыки и умения по их использованию.

Вооружившись методологическими знаниями можно осуществлять системный научный поиск и максимально полно обосновывать правильный выбор материала конкретного назначения.

Системный подход к определению общих путей движения исследовательской мысли непосредственно влияет на получение значимого результата. Системное исследование технического объекта требует рассмотрения среды, надсистемы (в которую входит среда) и ее элементов (подсистем) на разных иерархических уровнях, а также связей, структуры и организации системы (управления, цели). Членение системы на подсистемы определяется внутренними свойствами системы.

Методы познания

Методологическое знание имеет свое продолжение и конкретизацию в *методическом знании*, которое проявляется в конкретных способах, приемах, формах, средствах, рекомендациях по исследованию и изучению данного объекта, предмета, проблемы в конкретной ситуации.

Метод – это способ достижения цели и является программой построения практического применения теории

Разнообразные методы научного познания условно разделяются на *всеобщие* (метатеоретический уровень) – действующие во всех областях науки и на всех этапах исследования; *общенаучные* методы (эмпирический, экспериментально-теоретический и теоретический уровни) – т. е. для всех наук; *частные* – т. е. для определенных наук; *специальные* – для данной науки.

К всеобщим методам относят диалектический метод и метод системного анализа. С помощью этих методов исследуются сами теории и разрабатываются пути их построения, изучается система положений и понятий данной теории, устанавливаются границы ее применения, способы введения новых понятий, обосновываются пути синтезирования нескольких теорий. Центральной задачей данного уровня исследований является познание условий формализации научных теорий и выработка формализованных языков, именуемых метаязыками.

К общенаучным методам эмпирического уровня относят: наблюдение, сравнение, описание, счет, измерение, анкетный опрос, тестирование и др. Методы этой группы конкретно связаны с изучаемыми явлениями и используются на этапе формирования научной гипотезы (табл. 4).

Методы экспериментально-теоретического (общенаучного) уровня: эксперимент, моделирование, гипотетический, исторический методы (табл. 5). Эти методы помогают исследователю об-

наружить те или иные достоверные факты, объективные проявления в протекании исследуемых процессов. Следует подчеркнуть, что факты имеют научно-познавательную ценность только в тех случаях, когда они систематизированы, когда между ними вскрыты неслучайные зависимости, определены причины следствия.

Таблица 4

Характеристика общенаучных методов эмпирического уровня

Название метода	Содержание метода
Наблюдение	Способ познания, основанный на непосредственном восприятии свойств предметов и явлений при помощи органов чувств. В результате наблюдения исследователь получает знания о внешних свойствах и отношениях предметов и явлений. Применяется, например, для сбора информации
Сравнение	Сопоставление признаков, присущих двум или нескольким объектам, установление различия между ними или нахождение в них общего. Этот метод основывается на изучении, сопоставлении сходных объектов, выявлении общего и различного в них, достоинств и недостатков. Таким путем можно решить практические задачи совершенствования государственных институтов
Описание	Фиксация признаков исследуемого объекта, которые устанавливаются, например, путем наблюдения или измерения. Описание бывает: 1) непосредственным, когда исследователь непосредственно воспринимает и указывает признаки объекта; 2) опосредованным, когда исследователь отмечает признаки объекта, которые воспринимались другими лицами
Счет	Определение количественных соотношений объектов исследования или параметров, характеризующих их свойства
Измерение	Определение численного значения некоторой величины путем сравнения её с эталоном

Таблица 5

Характеристика общенаучных методов экспериментально-теоретического уровня

Название метода	Содержание метода
Эксперимент	Искусственное воспроизведение явления, процесса в заданных условиях, в ходе которого проверяется выдвигаемая гипотеза
Моделирование	Получение знаний об объекте исследования с помощью его заменителей – аналога, модели. Под моделью понимается мысленно представляемый или материально существующий аналог объекта. На основании сходства модели и моделируемого объекта выводы о ней по аналогии переносятся на этот объект
Гипотетический	Способ исследования с помощью научной гипотезы, т. е. предположения о причине, которая вызывает данное следствие, или о существовании некоторого явления или предмета
Исторический	Заключается в выявлении исторических фактов и на этой основе в таком мысленном воссоздании исторического процесса, при котором раскрывается логика его движения. Он предполагает изучение возникновения и развития объектов исследования в хронологической последовательности

Задача выявления истины требует не только сбора фактов, но и правильной их теоретической обработки. Первоначальная систематизация фактов и их анализ проводятся уже в процессе наблюдения, бесед, экспериментов, ибо эти методы включают в себя не только акты чувственного восприятия предметов и явлений, но и их отбор, классификацию, осмысливание воспринятого материала, его фиксирование.

Методы теоретического (общенаучного) уровня: абстрагирование, формализация, анализ и синтез, индукция и дедукция, аналогия, аксиоматика, обобщение и т. д. (табл. 6).

Таблица 6

Характеристика общенаучных методов теоретического уровня

Название метода	Содержание метода
Абстрагирование	Мысленное отвлечение от некоторых свойств и отношений изучаемого предмета и выделение интересующих исследователя свойств и отношений. Обычно при абстрагировании второстепенные свойства и связи исследуемого объекта отделяются от существенных свойств и связей
Формализация	Отображение явления или предмета в знаковой форме какого-либо искусственного языка (например, логики, математики, химии) и изучение этого явления или предмета путем операций с соответствующими знаками. Использование искусственного формализованного языка в научном исследовании позволяет устранить такие недостатки естественного языка, как многозначность, неточность, неопределенность. При формализации вместо рассуждений об объектах исследования оперируют со знаками (формулами)
Анализ	Расчленение, разложение объекта исследования на составные части. Разновидностями анализа являются классификация и периодизация
Синтез	Соединение отдельных сторон, частей объекта исследования в единое целое
Индукция	Движение мысли (познания) от фактов, отдельных случаев к общему положению. Индуктивные умозаключения «наводят» на мысль, на общее. Например, метод индукции используется в юриспруденции для установления причинных связей между явлениями, деянием и наступившими последствиями
Дедукция	Выведение единичного, частного из какого-либо общего положения; движение мысли (познания) от общих утверждений к утверждениям об отдельных предметах или явлениях. Посредством дедуктивных умозаключений «выводят» определенную мысль из других мыслей

продолжение таблицы 6

Аналогия	Способ получения знаний о предметах и явлениях на основании того, что они имеют сходство с другими; рассуждение, в котором из сходства изучаемых объектов в некоторых признаках делается заключение об их сходстве и в других признаках
Аксиоматика	Способ исследования, который состоит в том, что некоторые утверждения (аксиомы, постулаты) принимаются без доказательств и затем по определенным логическим правилам из них выводятся остальные знания
Обобщение	Установление общих свойств и отношений предметов и явлений; определение общего понятия, в котором отражены существенные, основные признаки предметов или явлений данного класса. Вместе с тем обобщение может выражаться в выделении не существенных, а любых признаков предмета или явления. Этот метод научного исследования опирается на философские категории общего, особенного и единичного

На теоретическом уровне производятся логическое исследование собранных фактов, выработка понятий, суждений, делаются умозаключения. В процессе этой работы соотносятся ранние научные представления с возникающими новыми. На теоретическом уровне научное мышление освобождается от эмпирической описательности, создает теоретические обобщения. Таким образом, новое теоретическое содержание знаний, надстраивается над эмпирическими знаниями. На теоретическом уровне познания широко используются логические методы сходства, различия, сопутствующих изменений, разрабатываются новые системы знаний, решаются задачи дальнейшего согласования теоретически разработанных систем с накопленным новым экспериментальным материалом.

Соединение специальных знаний в области материаловедения с методологическими знаниями лежит в основе научно

обоснованного выбора нужного материала для конкретного применения.

При решении задач по выбору широкое распространение получил, например, *морфологический анализ*, или метод морфологического ящика, состоящий в систематическом исследовании всех мыслимых вариантов, вытекающих из закономерностей строения (т. е. морфологии) выбираемой системы. Используя данный метод, составляют многофакторную таблицу из набора близких понятий. [6] Изменение факторов по горизонтальной и вертикальной осям приводит к соответствующему изменению состояния объекта исследования. Метод морфологического анализа предусматривает: формулировку задачи; составление списка характерных параметров (признаков) объекта; предъявляемые требования к параметрам. Наиболее целесообразно использовать морфологический анализ при решении технических задач общего плана, поиске схемных решений.

Алгоритм решения проблемы посредством метода морфологического ящика следующий:

1 предельно точно сформулировать проблему;

2 выявить и охарактеризовать все параметры возможных решений (определить классификационные признаки и их значения);

3 сконструировать морфологический ящик, который будет содержать все решения проблемы, оформив его в виде морфологической таблицы или каким-либо иным образом;

4 проанализировать решения, содержащиеся в морфологическом ящике с точки зрения поставленных целей (целевой функции);

5 выбрать и реализовать наилучшее решение (наилучшие решения).

Располагая набором различных структурных признаков, изучение которых обеспечивается теми или иными методами исследования, можно подвергать анализу и решать разнообразные задачи материаловедения. При этом эффективность анализа повышается наиболее полным учетом разнообразных параметров.

Приведем примеры составления морфологических карт для задач из области материаловедения. Так, морфологическая табл. 7 включает основные параметры структуры металлов и сплавов с указанием их характеристик и методов изучения каждого из них.

Таблица 7

А. Структурный компонент	Тип кристаллической решетки	Зерно	Дефекты кристаллического строения	Фазовый состав
Б. Характерные признаки	Параметры решетки	Размер зерна, состояние приграничных зон	Тип, количество, распределение дефектов	Состав и структура фазовых составляющих
В. Методы исследования*				

* - графу «Методы исследования» попытайтесь заполнить самостоятельно

Другой пример составления морфологической карты для соответствующего анализа состояний материала с учетом конкретных факторов, представлен морфологической табл. 8. В таблице показаны характерные признаки конструкционной стали, которые дают ориентиры по выбору той или иной марки в зависимости от структуры, определяющей повышенную прочность с учетом ее изменения при эксплуатации (на поверхности, в сердцевине); от вида и условий обработки, обеспечивающих достижение необходимых свойств; и особенностей применения материала. Эти признаки содержатся в первом столбце таблицы, остальные ячейки таблицы заполнены различными возможными параметрами, которые отвечают за тот или иной признак. В це-

лом, такая таблица дает полное представление об изучаемом объекте исследования и направляет действия исследователя.

Таблица 8

А. Структура, обеспечивающая высокую прочность	Монокристаллы	Фазовый состав	Дисперсные частицы	Дислокационная структура	Доля упрочняющей фазы, волокон, нитей т. п.
Б. Свойства детали на поверхности	Износостойкость	Высокая твердость	Сопротивление усталостному разрушению	Сопротивление коррозии	Защитные свойства покрытия
В. Свойства сердцевины детали	Пластичность	Вязкость	Удовлетворительая прочность		
Г. Вид обработки	ХТО	ТМО	Закалка	Ступенчатая закалка	
Д. Условия работы	Усталостные нагрузки	Статические нагрузки	Динамические нагрузки	Высокие температуры	Низкие температуры
Е. Особенности применения	Для ответственных деталей	Для неответственных деталей	Для работы в условиях космоса	Труднозаменяемая	

Примечание: незаполненные ячейки приведенной таблицы попытайтесь заполнить самостоятельно с объяснением возможных комбинаций морфологического анализа

1.3. Методологические проблемы развития науки о материалах

Прогрессивное развитие человеческого общества во многом определяется открытием и активным использованием материалов различного назначения. Выбор материалов подразумевает охват множества различных материалов, применяемых для изготовления деталей конструкций, зданий, мостов, дорог, транспортных средств, а также бесчисленных других сооружений, машин и технических изделий.

Возможность создания какой-либо конструкции, ее работоспособность зависят от наличия материалов с подходящими механическими свойствами. Например, для изготовления современного автомобиля необходимы легированные стали, а металлический самолет стал реальностью лишь с появлением технологичных и прочных алюминиевых сплавов. Для гидроэлектростанций необходимы те сорта бетона и цемента, из которых можно построить долговечные плотины. Современные высотные здания выглядели бы по-другому, если бы не было стеклянных материалов.

С древности и до настоящего времени условно выделяются такие исторические этапы как каменный, бронзовый и железный века, названные по преимущественному использованию того или иного материала в орудиях труда и оружия. И с того момента как человек начал выбирать, что ему взять в руку – палку или камень – можно считать зарождение материаловедения.

Превалирующее влияние на получение металлических материалов в пределах бронзового и железного веков оказали достижения металлургии, полученные на основании эмпирического опыта. По большому счету, железный век, начавшийся более 2 тысяч лет назад, продолжается до сих пор, поскольку сплавы на основе железа (стали и чугуны) являются и сейчас основными конструкционными и инструментальными материалами промышленности.

Массовое производство сотен марок сталей и чугунов, а также других материалов стало возможным благодаря достижениям фундаментальной науки. Результаты исследований науки о материалах особенно востребованы потребителями и производителями для улучшения эксплуатационных свойств материалов.

Для потребителей важны, прежде всего, физико-химические и эксплуатационные свойства: твердость, прочность, ударная вязкость, износостойкость, коррозионная стойкость и т. д.

Производителей материалов интересует, прежде всего, взаимосвязь состава, структуры и свойств при различного рода воздействиях (механических, тепловых, электрических и др.) для улучшения свойств материалов.

Еще в глубокой древности покупатели оценивали качество стали, например, по режущим свойствам, излому, определенным узорам на поверхности (дамасская сталь). Эти данные были первыми сведениями, которые легли в основу науки о материалах.

Номенклатура материалов, потребляемых современной промышленностью, чрезвычайно велика и разнообразна (только сталей выпускается более 2 тысяч марок). Особенно велико, в настоящее время, значение разработки новых материалов и эффективного использования имеющихся, в связи с острой необходимостью перехода от «сырьевого» к преимущественно инновационному пути развития производства. Поэтому так важно изучение дисциплины «Материаловедение», содержащей большое количество новых понятий и терминов, а также фактических данных о строении и свойствах различных материалов.

Основная цель материаловедения – разработка принципов создания, получения и обработки материалов с заданными свойствами. При этом круг рассматриваемых проблем простирается от минерального сырья до готовой продукции.

Современное материаловедение – это междисциплинарная отрасль науки, основанная на широком использовании достижений химии, физики и многочисленных инженерных дисциплин. Пограничный характер материаловедения обуславливает необ-

ходимость тесного сотрудничества специалистов из разных областей знаний.

Развитие материаловедения как прикладной науки всегда осуществлялось в соответствии с практикой. Так, современное высокотехнологическое производство сильно зависит от материалов с определенными свойствами. Поэтому наука о материалах изучает и совершенствует существующие материалы, а также методы их лучшей адаптации в применении. Причем исследуют как классические материалы, например, стали, бетон, лес, так и более современные, т. е. суперсплавы, техническую керамику, полимеры, композиты.

Ключевая задача современного материаловедения – синтез материалов с заданными свойствами

Однако перед материаловедами не всегда ставится прямая задача создания новых материалов, так как основным материалом в течение многих столетий являются железоуглеродистые сплавы. На практике основной проблемой выступает *выбор необходимого сплава среди множества,* выплавленных металлургами или разработанными физиками, химиками, материаловедами. Эта проблема актуальна в условиях широкого использования в качестве материалов почти всех элементов Периодической системы, а также пластмасс, керамики, полупроводников и т. д.

Правильный подход к науке о материалах и понимание важнейших методологических проблем весьма важны как для создания новых высококачественных материалов повышенной эксплуатационной надежности, так и для их грамотного выбора на основе научного анализа

Современные проблемы науки о материалах появляются на стыке физики, химии, механики, новых технологий. Остановимся подробнее на том, какие методологические проблемы решают в современном материаловедении.

Важнейшей методологической проблемой науки материаловедения выступает проблема оптимального выбора материала, которая требует для своего решения как специальных знаний, так и общенаучных подходов научного поиска.

Если исходить из того, что современное материаловедение призвано обеспечивать научно-технический прогресс и устойчивое развитие отраслей промышленности, техники и технологий, то решение важнейших проблем, связанных с экономией материалов, уменьшением массы машин и приборов, повышением точности, надежности и работоспособности механизмов и конструкций все больше зависит именно от правильного выбора материала.

Теоретической основой для выбора подходящих конструкционных материалов для деталей различного целевого назначения и поиска рациональных способов формирования в них требуемых свойств для обеспечения надежности и долговечности изделий являются вопросы строения и свойств, а также способов обработки с целью их изменения.

Эти вопросы востребуют знаний о фазовых превращениях в сплавах; о прочности и разрушении; о пластической деформации; термодинамических процессах и др.

Само понятие «материал» является системным и отличается от столь традиционных в химии и физике понятий «вещество» и «фаза». К материалам относятся вещества, способные выполнять заданные функции в технических устройствах. Эта способность определяется их составом и специфическим строением, позволяющим материалам проявлять свойства, обеспечивающие возможность реализации заданного преобразования внешнего воздействия в полезный отклик. На основании такого определения материалы классифицируют либо по областям применения (например, материалы для травматологии), либо по функциям, выполняемым материалами (магнитные материалы), либо по их специфическим свойствам (сверхтвердые материалы), по способам их получения (порошковые материалы), по химическому составу (оксидные керамики), по особенностям

строения (монокристаллические материалы). Необходимость создания классификационных систем продиктована огромным многообразием материалов. Выбор наиболее подходящего материала среди имеющихся становится актуальной проблемой.

Таким образом, одним из главнейших направлений материаловедения как науки, описывающей материалы, в соответствии с эмпирически выработанными требованиями, необходимыми для выполнения той или иной практической задачи на конкретном этапе развития, является *методологически обоснованный, правильный выбор материала.*

Стержнем данного направления является практическая идея – *разработка научных основ выбора материалов с заданными свойствами в зависимости от конкретных условий изготовления и эксплуатации изделий и конструкций.* Поэтому необходимо знать базовые теоретические принципы, практические условия и исследовательские методики, способствующие осуществлению научно обоснованного выбора нужного материала для конкретного применения.

В этом направлении ведется множество научных исследований для самых разных классов материалов (железных сплавов и сплавов цветных металлов, композиционных и порошковых материалов, керамических и полимерных материалов; материалов специального назначения). Учитывая новые достижения в области создания высокопрочных материалы для инструментов, разработки особых наноматериалов, открытия и использования свойств полупроводников, можно утверждать, что проблемы выбора материалов, обеспечивающих оптимальное применение, постоянно возрастают.

В качестве примера возникновения проблемы выбора можно привести случай для трубопроводов современных инженерных систем. К настоящему моменту используются следующие трубы: стальные; медные, полимерные и композитные. В табл. 9 приведены основные свойства металлических труб, а также их достоинства и недостатки приведены.

Таблица 9

Сравнительные данные по материалам для труб

Материал	Достоинства	Недостатки
Стальные трубы	прочность; устойчивость к разрывному давлению; низкий коэффициент теплового линейного расширения; газовая герметичность	коррозия, срок эксплуатации 10–15 лет; большой вес, трудоемкий монтаж высокая теплопроводность; электропроводность; разрушения из-за замерзания жидкости; ограниченные гибкость и длина поставки
Медные трубы	высокая прочность коррозионная стойкость, долговечность газовая непроницаемость удобство монтажа по сравнению со стальными трубами	еще более высокая теплопроводность, чем у стали; электропроводность; высокая стоимость; требуется пайка для соединения

Недостатки металлических труб, указанные в табл. 9, ограничивают их использование. В этой связи полимерным и композитным трубам, в последнее время, отдают предпочтение. Хотя не все они удовлетворяют высоким современным требованиям. Поэтому выбор качественного материала трубопровода становится не только проблемой материаловедения, но и важнейшего сегмента экономики. На рис. 1.1 показано, какие материалы использовались для трубопроводов в разные годы в зависимости от потребности инженерных систем.

Оптимальный выбор материала основан на научном анализе имеющихся данных с учетом потребностей практики.

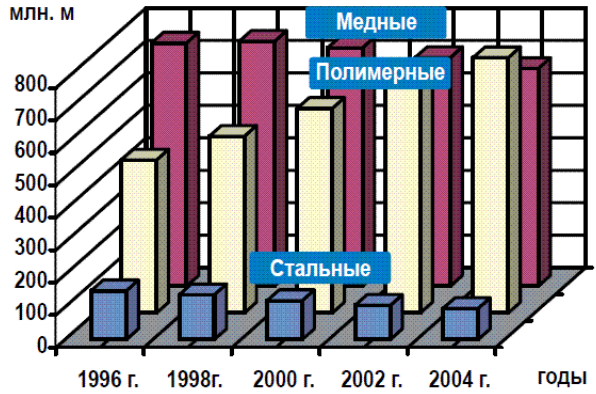


Рис. 1.1. Применение разных материалов труб в разные годы

Эффективное применение методологического знания в научных исследованиях выступает проблемой развития современного материаловедения.

Непрерывный процесс создания новых материалов для современной техники (полупроводниковые материалы и жидкие кристаллы в электронике, композиционные материалы в авиации и ракетостроении, сверхпроводники и аморфные сплавы в радиотехнике и электронике) обогащает науку о материалах, которая стимулирует появление новых технических идей. Однако чтобы уметь ориентироваться в разнообразнейшем мире материалов и предсказывать их новые свойства необходимо, наряду с предметными знаниями, и *методологическое знание*. Именно методологическое знание выстраивает, логически организует, определяет методы и средства научно-практической деятельности по созданию, выбору и применению материалов.

Как уже говорилось в п. 1.2, методология образует необходимый компонент исследовательской деятельности, т. к. дает характеристику структурных элементов научного исследования (проблемы объекта, предмета, цели, задач исследования, совокупности методов), необходимых для решения задачи данного типа, а также

формирует представление о последовательности движения исследователя в процессе решения конкретной проблемы.

В структуре методологического знания выделяют 4 уровня (философский, общенаучный, конкретно-научный, технологический), которые используются во всех областях исследовательской деятельности. В области материаловедения они, соединяясь со специальными знаниями, позволяют последние переносить в разные предметные области, т. е. делают материаловедческую науку прилагаемой ко многим сферам деятельности. Само методологическое знание может и не содержаться в открытом виде в процессе выполнения исследования, посвященного какой-то проблеме. Но его надо эффективно применять, чтобы эффективно организовывать поисковые действия, которые обычно протекают в постоянно меняющихся условиях.

В науке о материалах методология и методологические знания осознаются исследователями при решении и разработке научных проблем, когда они осмысливают свою работу и работу других исследователей, объясняют специалистам свои представления и действия. В некоторых случаях исследователи не только применяют методологическое знание, но и создают его. Так, например, в результате выполнения методологически обоснованного комплекса научно-исследовательских работ в области создания новых наноструктурных материалов исследователями уже создана общая методология исследований поверхностных систем (т. к. доля поверхностных атомов в наноматериалах увеличивается с уменьшением размеров зерен или частиц, то поведение наноструктурных материалов определяется процессами на границах) (гл. 2, п. 2.6). Разработанная методология позволяет выявлять фундаментальные закономерности процессов, протекающих в тонких слоях материалов. Таким образом, из научного осмысления и систематизации накопленных специальных знаний в исследуемой области создана методология исследования данного класса материалов.

Эффективное использование методологического знания при разработке материаловедческих задач как проблема совре-

менного развития науки напрямую связано с методологической грамотностью исследователя, основанной на знании путей движения от замысла к цели. В результате свободного владения методологией исследования исследователь подходит к решению научных проблем осознанно и способен претворять свои идеи, доносить опыт работы научному сообществу.

Методологическое знание в развитии науки о материалах, надстраиваясь над предметными знаниями и конкретными действиями, выступает как в форме предписаний и норм, в которых фиксируются содержание и последовательность конкретных видов деятельности (нормативная методология), так и описаний фактически выполненной деятельности (дескриптивная методология). Несмотря на то, что предметные знания являются главными при решении проблем материаловедения, но они не должны означать лишь узкую специализацию современного исследователя. Узкая специализация, в конечном итоге может привести к творческому тупику, т. к. исследователь исчерпывает проблему, либо утопает в ней. Конечно, в узкой области достигаются определенные результаты в разработке отдельных, частных вопросов, но в создании обобщающих, основополагающих теорий в контексте общего глобального движения науки становятся актуальными методологические знания.

Методологические знания, согласованные с предметными знаниями, повышают эффективность исследовательской деятельности и, в частности, эффективность исследований в области материаловедения.

Проблема эффективного применения методов исследования структуры и свойств материалов, на основе овладения специальными техническими средствами, также является методологически важной проблемой материаловедения.

Поскольку методология науки связана с исследовательскими методиками, то умение их эффективно использовать определяет развитие любой науки, в том числе и науки о материалах.

К методам, используемым в материаловедении, относятся: металлографический анализ, электронная микроскопия, зондо-

вая микроскопия, рентгеноструктурный анализ, механические испытания, калориметрия, ядерный магнитный резонанс, термография и т. д. Далее в главе 2 (п. 2.3) более подробно говорится о методах исследования, применяемых в материаловедении.

Исследовательские методы в области материаловедения позволяют осуществлять контроль структуры, проводить испытания и определять физико-механические и эксплуатационные свойства материалов на образцах и изделиях, прогнозировать, оценивать и управлять качеством, оптимизировать процессы получения и эксплуатации материалов на основе компьютерного анализа.

Проблема эффективного применения методов исследования структуры и свойств материалов при решении задач материаловедения обусловлена степенью развития творческого мышления. Речь не идет об обязательном использовании всех возможных методов исследования. Имея даже небольшой арсенал исследовательских возможностей, важно извлечь максимум ценной информации из используемой методики в рамках проводимого исследования. Так, например, проводя металлографический анализ образцов на оптическом микроскопе недостаточно только получить сведения о микроструктуре (размерах зерен, фазовых составляющих, дефектах и др.). Важно использовать расчетные методики количественного анализа, менять условия получения, параметры изображения, находить новые возможности методики, задаваясь самыми необычными вопросами.

Современное материаловедение развивается быстрыми темпами благодаря появлению новой и достаточно сложной экспериментальной техники, которую надо не только освоить, но и эффективно применить к задачам исследования. Не всегда можно получить желаемые результаты из применения той или иной методики, пусть даже самой совершенной. Здесь требуется ясное понимание принципов, лежащих в основе работы прибора, устройства, чтобы применить их с наиболее высокими результатами.

Так, электронная микроскопия (просвечивающая и растровая) – весьма информативный метод исследования структуры металлов и сплавов благодаря применению различных приставок (для локального химического анализа, для анализа характеристического спектра рентгеновских лучей). С помощью этого метода можно изучать кристаллографию металлических объектов, детали атомного строения границ зерен, межфазных поверхностей, различного рода структурных несовершенств кристаллической решетки. Принципиальное значение имеет применение этого метода для установления атомного механизма фазовых превращений (полиморфных, мартенситных, упорядочения, старения и т. д.) в металлических системах. Однако для идентификации вещества по его кристаллоструктурным характеристикам, что важно для сложнокомпонентных и многофазных металлических систем, требуется использовать конкретные методики рентгено-структурного анализа.

В ряде задач материаловедения не всегда оправдано использование сложного исследовательского оборудования, т. к. взамен могут прийти компьютерные технологии, активно внедряемые и используемые в мире. Их использование может привести к весьма плодотворной исследовательской деятельности.

Систематизация существующих понятий и соотнесение с ними новых относится также к методологическим проблемам материаловедения.

Каждая выделенная и изучаемая в науке предметная область описывается и объясняется при помощи особых систем понятий. Познавательная роль этих систем огромна. Без них невозможно формулировать проблемы и гипотезы, описывать объекты, вести целенаправленное систематическое изучение, логически обосновывать и эмпирически проверять получаемые результаты. В ходе развития научной дисциплины осознается важность таких систем понятий.

Материаловедение как научная дисциплина оперирует понятиями структуры (атомно-кристаллическая решетка, фаза, частица, зерно, дефекты и т. д.), свойств (прочность, пластич-

ность, хрупкость, упругость, долговечность и др.), технологий (термообработка, химико-термическая обработка, механическая обработка и т. д.) и мн. др.

Но в науке о материалах постоянно происходят изменения, которые сопровождаются расширением и уточнением ее понятийно-терминологического аппарата.

Кроме того, новые методы исследования, приводящие к новым данным о структуре и свойствах материалов, а также создание новых материалов, принципиально отличающихся по строению от известных, и представляющих собой сложные структуры, привнесли в науку новые термины и понятия. В то же время изучение и описание новых материалов и процессов, происходящих в материале под воздействием разных факторов, требуют введения новых формулировок, условных обозначений и специальных символов.

Поэтому, приступая к выбору материала, следует, прежде всего, усвоить, весьма специфичный язык науки, в котором много понятий и терминов, имеющих хождение в научной деятельности. От степени владения понятийным аппаратом науки зависит, насколько точно, грамотно и понятно можно объяснить тот или иной выбор. Основу языка для научного выбора материала составляют термины и понятия материаловедения.

Таким образом, вопрос о терминологической определенности имеет большое научное и практическое значение.

Влияние режимов технологических воздействий при производстве материалов на их структуру, оптимизация технологии получения материалов заданной структуры и свойств – являются методологически важной проблемой материаловедения.

Правильный выбор материала не только отвечает определенным свойствам конкретного изделия, но и открывает возможности использования новых технологических процессов. Внедрение новых технологий в производство создают возможности повышения качества продукции, а также открывают дополнительные пути получения материалов с еще лучшими свой-

ствами. Это становится важным в условиях промышленной конкуренции на современном этапе, которая требует все более высокой отдачи и качества. Поэтому, необходимо знать, как производить материалы в соответствии с новым запросом (легкие, прочные и т. д.), как улучшить качество за счет внедрения интенсивных и энергосберегающих технологий, расширения сырьевой базы.

Требуемые свойства материала формируются в процессе их изготовления. И наоборот, технология изготовления или обработки приводит к образованию собственной структуры, а следовательно к формированию свойствам. Отсюда следует, что проблему материалов необходимо рассматривать комплексно, в диалектической цепи «*технология – материал – новая технология*», т. к. материал – это важнейшая составляющая технологического производства, ее фундаментальное звено. При этом следует понимать, что любые технологические изменения тесно связаны с изменениями структуры и свойств материалов. Более того, теоретические и экспериментальные исследования фундаментальных связей состава и строения материалов на разных уровнях (макро, мезо, микро, нано, атомном, электронном) с комплексом физико-механических эксплуатационных свойств нацелены на решение технологических проблем, связанных с обеспечением надежности и долговечности материалов и изделий. Знание структуры и свойств материалов приводит к созданию принципиально новых продуктов, технологий и даже отраслей индустрии. Так, знания, полученные в области строения и свойств материалов, широко используют в технологических процессах литья, проката стали, сварки, роста кристаллов, приготовления тонких пленок, обжига, дутья стекла и др.

Таким образом, изучение свойств материалов с целью их правильного выбора для конкретного применения, предполагает обязательное *изучение технологических вопросов их получения и обработки*. Это связано с тем, что проектирование рациональных, конкурентоспособных изделий, организация их производства опираются на знание технологических процессов.

Итак, проблемы оптимального выбора материала; повышения методологической грамотности специалиста в области материаловедения; систематизации существующих понятий и соотнесения с ними новых; разработки путей решения технологических вопросов их получения и обработки; эффективного применения методов исследования структуры и свойств материалов – являются одними из важнейших методологических проблем развития науки материаловедение.

Список методологических проблем материаловедения не ограничивается приведенными выше и может быть расширен в соответствии с развитием науки и техники и появлением новых научных задач.

1.4. Принципы выбора материалов конкретного назначения. Схема решения задач по выбору материалов

Существующее многообразие технических материалов, а также значительная зависимость их качества от условий обработки и эксплуатации, требует разработки исходных принципов, опора на которые позволит осуществлять целенаправленный, эффективный научный выбор.

На основании разработанных принципов строится схема решения задач по выбору материалов.

Под принципами в науке понимают основные, исходные положения теории, учения, концепции, т. е. это базовая структурная единица для научного построения

Оптимальный выбор материала, обеспечивающий эффективное применение конкретного изделия, основывается на научном знании, привязанном к опыту практики. В контексте конкретно поставленной задачи необходимо так сфокусировать усвоенные научные знания, чтобы ставить конкретные вопросы и

оценивать именно то, что подлежит оценке. В данном случае необходимо уметь оперировать имеющимися научными знаниями в области материаловедения, которые, в свою очередь, регулируются методологическими знаниями.

Так как методологическим отражением познанных закономерностей науки являются принципы, то в этой связи необходимо руководствоваться принципами научного исследования (которые определяются для задач по выбору материалов, исходя из знания основных вопросов материаловедения). В результате появляются ориентиры в сложном процессе поиска нужных материалов с учетом их закономерностей и особенностей поведения, свойств, обработки и применения.

Основными принципами, определяющими процесс научно обоснованного выбора материалов и отражающими поэтапный поиск, адекватный теоретическим закономерностям и практическому опыту, являются:

- выявление условий работы изделия, детали и др.;

- определение класса материалов, применяемых для работы в данных условиях;

- изучение требуемых свойств и необходимого строения;

- описание технологии получения и обработки материала;

- выяснение особенностей применения;

- рассмотрение возможных вариантов с дальнейшей оптимизацией выбора;

- оценке качества, экономической целесообразности.

Через указанные принципы, как концентрированные выражения процесса научного выбора материалов для практических целей, раскрывается содержание изучаемой дисциплины. Эти принципы являются отправными точками научного поиска, но их число можно может быть увеличено или уменьшено, в зависимости от сложности поставленной задачи.

В любом случае, руководствуясь предварительно разработанными принципами выбора материалов конкретного назначения, можно целенаправленно осуществлять научный поиск, ос-

новываясь на логическом использовании теоретического содержания дисциплины материаловедение и разумно интерпретируя практический опыт. Кроме того, выделенные принципы определяют непосредственно подход к организации научно обоснованного выбора.

Далее раскроем суть принципов, лежащих в основе научно обоснованного выбора материалов.

Принцип выявления условий работы изделия, детали и т. д. задает направление на всех этапах выбора, т. к. подразумевает те обстоятельства работы, которые испытывает материал, из которого изготавливается та или иная конструкция или деталь.

Прежде всего, условия, в которых будет работать деталь, изделие, обуславливают окончательный выбор материала. Поэтому важно иметь точное описание этих условий, с указанием параметров среды (температуры, давления и т. п.); характера действующих нагрузок и возникающего при этом напряженного состояния; возможных конструктивных изменений, допускающих последующую обработку.

Под влиянием приложенных нагрузок в работающих деталях возникают напряжения. Основные виды напряжений: растяжение, сжатие, сдвиг (срез), изгиб и кручение. Иногда на детали воздействуют одновременно несколько видов напряжений, например: сжатие или растяжение с изгибом и т. д. Вид напряжения во многих случаях оказывает влияние на выбор материала. Например, чугун используют там, где деталь работает только на сжатие, т. к. известно, что он хорошо работает на сжатие, но плохо на растяжение.

Нагрузки, воспринимаемые деталями, по характеру действия могут быть постоянными (статическими) и переменными (динамическими). Весьма ответственным является выбор материалов для деталей, подверженных воздействию динамических нагрузок. Материалы в этом случае, кроме повышенной статической прочности, должны иметь некоторые особые механические характеристики. При условиях эксплуатации, приводящих

к быстрому механическому износу, выбор материала должен обеспечивать минимальные потери энергии на трение.

Детали могут работать и в условиях активного коррозионного воздействия различных сред, т. н. химического или электрохимического взаимодействия с окружающей средой, что требует учета при выборе материалов, обеспечивающих герметичность соединений и изоляцию соединяемых деталей (термическую, электрическую и т. п.).

При выявлении условий работы конструкции, детали учитывается и влияние разного рода случайных факторов, приводящих к поломкам и авариям, что также лежит в основе вышеназванного принципа, определяющего процесс научно обоснованного выбора материалов.

Принцип, связанный с определением класса материалов, применяемых для работы в данных условиях, ориентирует процесс поиска, очерчивая его внешние границы.

Этот принцип подразумевает, что нужно иметь представление о выбираемом типе материала, его строении и свойствах, особенностях поведения под воздействием разных факторов. Это в дальнейшем позволит пользоваться этими знаниями как источниками информации.

Опора на данный принцип связана с тем, что в промышленности используют различные материалы, отличающиеся химическим составом, степенью деформации, макроструктурой, термической обработкой, плотностью и другими физическими свойствами. Чтобы сделать правильный выбор материала, надо ориентироваться в основных классах материалов, используемых для работы конкретной детали.

Так, например, длительная работоспособность трактора зависит от надежности и долговечности деталей и узлов, изготавливаемых обычно из железных сплавов. Конкретизация класса материалов требует анализа особенностей поведения деталей в условиях эксплуатации, т. к. существует комплекс прочностных (предел выносливости, сопротивление контактной усталости, сопротивление износу, коррозии) и других параметров материа-

ла, которые находятся в наибольшей зависимости с эксплуатационными свойствами.

Надежность работы деталей во многом определяется сопротивлением материала распространению трещин, т. е. его вязкостью разрушения. Это значит, что основное требование, предъявляемое к детали при эксплуатации – высокое сопротивление нагрузкам (статическим), чтобы не появились микротрещины.

Кроме того, для получения качественной отливки ряда деталей трактора необходимо применять материал с высокими литейными свойствами (каким является чугун).

К важным технологическим свойствам деталей трактора относятся герметичность, износостойкость, работоспособность.

Все эти свойства характерны для серого чугуна (марки СЧ15, СЧ18, СЧ20, G20). Причем наилучшими формами графита, содержащегося в чугун, являются среднепластинчатая, компактная и шаровидная. С размельчением графита износ увеличивается. Очень мелкие шаровидные включения уступают по своему влиянию на износостойкость среднему по величине пластинчатому графиту в сером чугуне. Включения графита, сульфида, фосфата в чугунах не разрушаются, а служат препятствием для дальнейшего распространения трещины.

Важно знать, что прочность серого чугуна определяется, прежде всего, его металлической основой. Такие свойства как статическая прочность, ударная вязкость, длительная прочность зависят как от свойств металлической основы, так и от формы или размеров и количества графитных включений. Прочность серого чугуна зависит от вида нагружения: при растяжении статическая прочность имеет наименьшее значение; наибольшее значение прочности серые чугуны имеют при сжатии. При кручении и изгибе прочность ниже, чем при сжатии, но выше чем при растяжении. Ударная вязкость выявляет склонность к хрупкому разрушению и определяется работой распространения трещины, чем больше ударная вязкость, тем меньше возможность внезапного хрупкого разрушения. Ударная вязкость серого чугуна зависит от пластичности. Твердость чугуна почти

полностью зависит от структуры металлической основы, а модуль упругости зависит от графита. Физические свойства серого чугуна (плотность, тепловые свойства) зависят от состава и структуры, а именно от марки чугуна.

Исходя из вышеприведенных знаний о чугуне, можно рекомендовать серый чугун (например, СЧ 18), который обладает хорошим комплексом прочностных и технологических свойств, обеспечивающих надежность и долговечность детали. Отливка из СЧ 18 имеет низкую стоимость, способна выдерживать значительные статические нагрузки. Серый чугун СЧ 18 имеет хорошие литейные свойства и обрабатываемость резанием. Отливка деталей из СЧ 18 не склонна к короблению и трещинообразованию. Наличие в структуре этого чугуна свободного углерода в виде пластинчатого графита придает ему хорошие эксплуатационные качества.

Таким образом, выбор материала конкретного назначения в значительной степени определяется особенностями его поведения в тех или иных условиях эксплуатации, описываемых структурными изменениями и вытекающими из них свойствами, согласно вышеназванному принципу.

Принцип изучения требуемых свойств и необходимого строения основан на необходимости концентрации работы по выбору материала вокруг главных вопросов материаловедения с использованием специальных методов исследования.

Важнейшие свойства различных материалов определяют области их применения. Только глубокое и всестороннее знание свойств материалов позволяет рационально в техническом и экономическом отношениях выбрать материал для конкретных условий использования. Обилие материалов, разнообразие способов их обработки для задания разнообразных физико-механических, технологических, эксплуатационных выдвигают следующий принцип, в соответствии с которым осуществляет выбор наиболее подходящего материала для конкретного случая применения на основе установления взаимосвязи оптимальных составов и структур материала с требуемыми свойствами.

Так, например, выбор материал для клинков, ножей осуществляют из нескольких групп сталей: качественные конструкционные углеродистые стали (технологичны и дешевы, но чувствительны к перегреву и низкая коррозионная стойкость); инструментальные (стойкая режущая кромка, прочны, но низка коррозионная стойкость) и легированные (коррозионностойкие) стали. При этом особое внимание следует уделить сталям с содержанием углерода от 0,4 до 1,5 %. Наиболее предпочтительны для клинков с точки зрения режущей способности углеродистые стали с содержанием углерода 0,9–2,0 %. Если клинок работает со значительными ударными нагрузками (мечи, сабли и др.) следует использовать стали повышенной вязкости (содержание углерода 0,6–0,75 %). Высокая упругость, прочность фехтовальных клинков шпаг и рапир требует применения сталей с содержанием углерода от 0,4 до 0,6 %.

Реализация данного принципа востребует знаний о взаимосвязи между фазовым составом, структурой и свойствами материалов, технологических процессах, устройствах и работе приборов и оборудования. Необходимо иметь представление о материаловедческой науке, основных направлениях ее развития и достижениях науки и техники в этой области. Важно уметь применять на практике методы изучения структуры и свойств материалов. Данный принцип находит свое продолжение в реализации следующего принципа.

Принцип разработки технологических вопросов получения и обработки данного материала, направлен на обеспечение необходимой структуры и адекватного уровня свойств материалов.

На выбор материалов для конкретных целей применения влияют технологические процессы их получения, обработки и переработки.

Таблица 10

Выбор материала для изготовления деталей фасонного профиля

Форма и способ изготовления	Металлы и сплавы								
	Сталь (углеродистая, низколегированная)	Жаропрочные и коррозионно-стойкие сплавы	Алюминиевые сплавы	Медные сплавы	Свинцовые сплавы	Магниевые сплавы	Никелевые сплавы	Титановые сплавы	Цинковые сплавы
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Литье в землю	+	+	+	+	О	+	+		О
Литье под давлением			+	О	+	+			+
Литье по выплавляемым моделям	+	О	+	+		+	О		
Кокильное литье	О	О	+	+			О		
Горячая штамповка в открытом штампе	+	+	О	О		О	О	О	
Объемная штамповка	+	+	О	О		О	О	О	
Холодная штамповка	+	О	О	+		О	О	О	О
Ковка с высадкой	+	+	О	О		О	О	О	
Изготовление деталей на токарно-винторезном станке	+	О	+	+		О	+	О	О
Фасонный прокат	+	+	+	+		+	+	+	
Профилактика листового металла	+		О	О		О		О	О

Примечание: условные знаки: + – наиболее часто используемые материалы; О – материалы, которые начинают применяться в настоящее время

Более того, проблемы выбора материалов тесно связаны с проблемами выбора технологий получения и обработки.

Поэтому, исходя из типа материала, следует принять во внимание и выбор метода изготовления изделия.

Так, например, если будет применяться литье, и материал имеет высокую точку плавления, то в таком случае процесс может быть любой – литье в песок или литье по выплавляемым моделям.

В табл. 10 приведены рекомендации по выбору материалов в зависимости от некоторых видов технологических способов изготовления деталей.

На выбор технологии влияют конфигурация изделия, формы, размеры, требуемая точность выполнения, а также размер партии изготовления (единичное изделие, малая партия или массовое производство).

Следование следующему важному принципу в задачах по выбору материала повышает эффективность их решения.

Принцип выяснения особенностей применения подразумевает учет динамично изменяющихся условий развития современной техники, науки, производства.

Выбор материалов продиктован областью его применения. Обычно заказчики (потребители материаловедческой продукции) формулируют требования в целях улучшения эксплуатационных свойств материалов. Для потребителей важны те свойства материалов, которые гарантируют качество продукции. При этом следует иметь в виду, что помимо удачно выбранного материала большое значение для проявления его свойств приобретает целый спектр таких параметров как конфигурация изделия, состояние его поверхности, сечения. Решающим фактором при выборе материала для конкретного применения является возможность проведения термической обработки, которая позволит выбрать менее дорогой, не уступающий по свойствам, материал.

Зачастую возникает проблема применения новых материалов с необычными свойствами. Так, например, было с демпфирующими материалами, глушащих внешние колебания, пока не были найдены технологические решения, направленные на борьбу с шумом и вибрациями. Или: не всегда легко найти применение наноструктурным материалам, несмотря на их уникальные свойства. Многие материалы данного класса не могут быть использованы из-за ряда технических сложностей их применения.

Зная особенности применения определенного материала для конкретной детали, конструкции, можно повысить его ко-

эффициент полезного использования. Именно это подразумевается при соблюдении указанного принципа.

Важный принцип, лежащий в основе научного выбора материала связан с аналитической работой с целью оптимизации процесса.

Принцип рассмотрения возможных вариантов с дальнейшей оптимизацией выбора означает обобщение полученных данных с целью их сравнения за счет системного подхода к проблеме и использования математических методов анализа.

Реализация данного принципа основывается на анализе комплексной задачи по выбору материала и соответствующей технологии получения и обработки, путем разбиения поставленной проблемы на совокупность взаимосвязанных задач с определением частных критериев или параметров оптимизации. Структурирование совокупности частных критериев или параметров оптимизации осуществляется по признакам значимости, характеризующих физико-механические, технологические, эксплуатационные и стоимостные свойства. Решение задач оптимизации основывается на методах построения многофакторных математических моделей, на анализе их качества.

Решение практических задач математическими методами начинается с математической формулировки задачи (разработки математической модели), выбора метода проведения исследования полученной математической модели, анализа результатов. Первым этапом математического моделирования является постановка задачи, определение объекта и целей исследования, задание критериев (признаков) изучения объектов и управления ими. Весьма важным на этом этапе является установление границ области влияния изучаемого объекта. Учет области влияния объекта при математическом моделировании позволяет включить в эту модель все существенные факторы. Следующим этапом моделирования является выбор типа математической модели, определяющий направление всего исследования.

При помощи анализа данных поискового эксперимента устанавливаются общие характеристики объекта исследования, позволяющие выбрать математический аппарат.

Принцип оценки качества, экономической целесообразности приобретает актуальность в условиях рыночной экономики.

Важность данного принципа обусловлена и возрастает в связи с тем, что природные богатства (энергия и сырье) в мире уменьшаются. Одновременно увеличивается потребность в использовании все новых материалов и технологий. Поэтому необходимо учитывать их экономическую эффективность, отсюда вытекает содержание данного принципа.

Общество всегда стремилось к тому, чтобы, с одной стороны, получить как можно больше нужных материалов, а с другой стороны – чтобы эти материалы обладали определенными свойствами, необходимыми в данный период времени. И если таких материалов не оказывалось, то проблема, например повышения надежности машин, решалась увеличением толщины стенок деталей, что приводило к повышению материалоемкости всей конструкции и значительному дополнительному расходу материалов.

Известно, что сегодня удельный вес материалов в себестоимости изготовляемой продукции составляет свыше 70 %, а в текстильной и химической промышленности – до 85 %. Естественно, что увеличение расхода материалов не удовлетворяет требованиям интенсификации экономики, которая подразумевает не просто применение высококачественных, а одновременно и экономичных материалов, получаемых по рациональным технологическим схемам.

Опора на вышеприведенные принципы при решении задач по выбору материалов позволяет представить ***общую схему научного выбора материалов*** в виде следующих этапов:

- анализ технических потребностей общества и выявление технических проблем и недостатков;

- анализ систем задач и выбор конкретной задачи;

- формулировка условий задачи по выбору материалов конкретного назначения;

- поиск идеи решения (принципа действий);

- обоснование выбора рекомендуемого материала (с использованием комплексной методики).

Первый этап имеет большое значение, т. к. жизнеспособными оказываются именно те технические решения задач, которые соответствуют закономерностям развития техники. Поэтому важно правильно предвидеть направления и тенденции возможного изменения исходной технической системы и действовать в соответствии с этими закономерностями.

Переход к следующему этапу выбора материалов осуществляется после осознания первого этапа работы и основывается на изучении типовых задач, возникавших до данного момента.

Весьма важно правильно сформулировать задачу по выбору материалов, с указанием всех условий и особенностей применения.

Непосредственный поиск решения востребует использования общенаучных методов исследования, обеспечивающих эффективность поиска. Так, например, могут быть использованы методы прогнозирования. Другим эффективным приемом поискового этапа может стать идеализация конечного материала – выбираемого материала (приближение к идеальному результату – это необходимое стремление при решении задачи). На данном этапе процесса выбора материалов можно применить морфологический анализ. Следует понимать, что научный поиск требует творческого подхода.

На завершающем этапе обоснования научного выбора целесообразно использовать комплексную методику выбора материала и его обработки, которая позволяет последовательно выполнять конкретные шаги по решению поставленной задачи.

Таким образом, разработка принципов выбора материалов ориентирует научный поиск, адекватный методологическим подходам с учетом реальной практики. Опора на конкретные принципы при решении задач по выбору материалов позволяет выработать общую схему научного выбора материалов.

1.5. Комплексная методика выбора материалов. Оформление результатов научных разработок

Комплексная методика выбора материалов и их обработки, в наибольшей степени обеспечивающая надежность работы деталей в условиях эксплуатации, предусматривает:

- *постановку задачи*;
- *составление списка характерных параметров или свойств объекта*;
- *учет требований, предъявляемых к материалу*;
- *оценку достоинств и разработку критериев выбора оптимального материала конкретного назначения* (рассмотрены в следующем п.1.6);
- *формулировку правил по выбору материалов* (рассмотрены в п.1.6).

Постановка задачи

Как правило, постановка задачи исходит из приведения наиболее типичных условий использования изделий в разных отраслях промышленности. В постановке задачи отражаются характерные свойства и особенности, которые должен иметь материал в соответствующем изделии. В постановке задачи по выбору материала обязательно предусматривается его обработка.

Составление списка характерных параметров (или свойств) объекта

Целесообразно составление списка всех характерных параметров задачи для обеспечения частичных решений. Причем по каждому признаку (параметру) необходимо описывать возможные варианты. Следует указывать при этом отсутствие данного параметра для облегчения выхода к новым и иногда эффективным решениям. Удобно использовать морфологическую карту (см. п.1.2), т. е. составлять двухосную таблицу, где в каждой клетке оказывается один вариант. В результате выявляется функциональная ценность всех возможных сочетаний.

Учет требований, предъявляемых к материалу.

До принятия решения о выборе материала следует учесть требования к спецификации материала, и, исходя из этого, сделать вывод, какой должен быть оптимальный материал для поставленной задачи. Требования должны быть существенными для любого решения, независимыми друг от друга, охватывать все аспекты задачи, и достаточно немногочисленными, чтобы обеспечить быстрое изучение. Их можно объединить в четыре группы:

1) по свойствам;

2) по изготавливаемому изделию и обработке материала изделия;

3) по классу материалов, пригодного для конкретного применения;

4) по экономическим параметрам.

1) ***По первой группе требований*** необходимо учесть те свойства, которые будут иметь значение при эксплуатации материала, а именно:

- механические свойства (прочность, жесткость, твердость, пластичность, упругость, сопротивление усталости, износостойкость и т. д., а также связанные с этими свойствами способности работать при низких, комнатной или высоких температурах);
- электрические свойства (электропроводность, изоляционные свойства);
- магнитные свойства (мягкие или жесткие магнитные свойства, отсутствие магнитных свойств);
- тепловые свойства (удельная теплоемкость, коэффициент линейного расширения, удельная теплопроводность);
- химические свойства (способность работать в определенных средах, коррозионная стойкость).

Далее в п. 1.6 показано как оценивают материал по его свойствам как главного критерия оптимального выбора. Предъявляемые к материалу требования могут быть представлены в виде таблицы, как это показано на примере (табл. 11).

Таблица 11

Требования к механическим свойствам материала для изготовления деталей

Применение материала	Марки стали	Режим термообработки	$\sigma_т$, МПа	$\sigma_в$, МПа	δ_5, %	Ψ, %	KCU, Дж/см^2
Валы, шестерни, оси, болты, шатуны и др.	Хромистые стали: 40Х	Закалка с температур 860 ^{0}С,	800	1000	10	45	60
	50Х	830 ^{0}С. Охлаждение в масле. Отпуск при 500^{0}С, 520^{0}С с охлаждением в воде или масле	900	1100	9	40	40
	Хромомарганцовистые стали: 30ХГТ	Закалка с температур 850 ^{0}С,	300	1500	9	40	60
	40ХГТР	840 ^{0}С,	800	1000	11	45	80
	40ХГФ	870 ^{0}С. Охлаждение в масле. Отпуск при 200^{0}С, 550^{0}С, 630^{0}С, охлаждение в воде или масле	800	930	14	55	80

2) ***По второй группе требований*** следует учесть следующее:

- процесс изготовления изделия, чистовую обработку поверхности (сохранение стабильности размеров);
- технологии литья, штамповки, резания;
- термообработку.

В качестве примера в табл. 12 приведены требования к технологическим свойствам материалов, предназначенных для изготовления валов, шестерен, осей, болтов, шатунов и др.

Таблица 12

Требования к технологическим свойствам материала для изготовления деталей

Применение материала	Марки стали	Свариваемость	Обрабатываемость резанием		Флокеночувствительность	Склонность к отпускной хрупкости
			Состояние металла	Коэффиц. обрабатываем. K_v		
Валы, шестерни, оси, болты, шатуны и др.	40Х	Трудносвариваемые стали	Горячекатанное *НВ*163-168, $\sigma_в$=470МПа	1000	10	45
	50Х		Горячекатанное *НВ*207, $\sigma_в$=620 МПа	1100	9	40
	30ХГТ	Закалка с 850 ^{0}С, 840 ^{0}С, 870 ^{0}С Охлаждение в масле. Отпуск с 200 ^{0}С, 550 ^{0}С, 630 ^{0}С, охлаждение в воде/ масле	1300	1500	9	40
	40ХГТР		800	1000	11	45
	40ХГФ		800	930	14	55

Данная группа требований предполагает рассмотрение характеристик различных процессов изготовления, которые могут применяться к образцам изделий из определенного материала. Метод изготовления будет определяться типом материала, конфигурацией изделия, а также выпускаемым количеством (единичное изделие, большая партия или непрерывное производство).

Например, если будет применяться литье и материал имеет высокую точку плавления, то в таком случае процесс может быть любой: песочное литье или литье по выплавляемым моделям. Для высокой точности будет предпочтительнее песочное литье. Если изделие имеет форму трубы, то оно может быть изготовлено литьем на центрифуге, волочением или экструзией.

Важно учитывать наличие отверстия, ступеньки, втулки, пустотелой секции, тонкие детали и т. д. Так, если имеются пустотелые секции, то недопустимы операция ковки.

Для придания конечного вида изделию (гладкую или шлифованную поверхность) применяют чистовую обработку.

3) ***По третьей группе требований*** необходимо учитывать ассортимент, т. е.:

- наличие требуемого класса материалов;
- вид поставки (в прутках, листах).

Чтобы учесть требования этой группы, необходимо использовать справочные материалы. При этом сведения о материале любого класса должны включать следующие данные: заменитель; вид поставки; назначение; содержание химических элементов; критические температуры превращений и др. Ссылка на используемые ГОСТы, технические условия обязательна.

В табл. 13 в качестве примера приведены характеристики поставки групп сталей обыкновенного качества и их основные марки.

Таблица 13

Группа	Характеристика поставки	Марки
А	По механическим свойствам	Ст0, Ст1, Ст2, Ст3, Ст4, Ст5, Ст6
Б	По химическому составу	БСт0, БСт1, БСт2, БСт3, БСт4, БСт5, БСт6
В	По механическим свойствам и химическому составу	ВСт1, ВСт2, ВСт3, ВСт4, ВСт5

Здесь: сталь группы А применяют, когда изделия у потребителя не подвергают горячей обработке (сварке, ковке и др.), и они поэтому сохраняют свойства, полученные на металлургическом заводе. Химический состав этой стали не регламентируется, но указывается в сертификате. Сталь группы Б подвергают у потребителя обработке, при которой механические свойства меняются, и уровень их, помимо условий обработки, определяется химическим составом. От последнего зависят также режимы горячей обработки у потребителя.

Если при изготовлении конструкции и деталей применяется сварка, то гарантируются и химический состав, и механические свойства (группа В). Это необходимо потому, что свариваемость и механические свойства в зоне влияния сварки зави-

сят от химического состава, а в остальных частях изделия свойства сохраняются на уровне, достигнутом на металлургическом заводе.

Сталь поставляют горячекатаной – сортовой, фасонной, толстолистовой, широкополосной (универсальной) и холоднокатаной – тонколистовой, а также в виде ленты, проволоки и метизов.

4) ***К экономическим требованиям*** относятся:

- стоимость необработанного материала;
- стоимость предполагаемой обработки;
- стоимость материала вместе с обработкой.

Поскольку низкая стоимость весьма важна, свойства группы материалов подлежат сравнению на основе стоимости единицы свойства или группы свойств. Причем следует принять во внимание, что стоимость материалов изменяется со временем, и нет необходимости в спецификации ее какой-либо частной денежной единицы. Поэтому применяется относительная стоимость с тем, чтобы провести отбор материалов, когда требуется только определить оптимальный материал.

Относительная стоимость материала равна отношению стоимости 1 кг материала к стоимости 1 кг мягкой стали

Относительную стоимость указывают для массы материала. Ее определяют по отношению к мягкой стали, обычно, мягкого стального стержня.

Относительная стоимость 1 кг может быть переведена в относительную стоимость за 1 $м^3$ при умножении его на плотность.

Необходимо оценивать экономические требования к энергии, необходимой для производства 1 кг конечного материала из сырого продукта. Эти требования включают оценку необходимой энергии для разработки, очистки и придания формы материалам. Элементы, преимущественно металлические, находятся в Земной коре в виде окислов, нитридов, гидридов и гид-

ратов, хлоридов и т. п. Для превращения минерального сырья в полуфабрикаты необходимы значительные затраты энергии из дополнительных видов минералов и веществ. Наименьшими потерями среди технических материалов обладает производство стали и чугуна, что положительно сказывается на их относительной стоимости.

В табл. 14 приведены некоторые относительные величины стоимости материалов. А в табл. 15 приведены оценки затрат энергии для производства 1 кг материала.

Таблица 14

Относительная стоимость различных материалов

Материал	Относительная стоимость за 1 кг	Материал	Относительная стоимость за 1 кг
Металлы			
Мягкий стальной пруток (черный)	1,0	Лист нержавеющей стали	8,5
Мягкий стальной пруток (блестящий)	1,3	Алюминиевый пруток	8,5
Мягкий стальной лист	1,4	Пруток никель-хромистой стали	4,6
Среднеуглеродистая сталь	1,6	Латунный пруток	6,6
Пруток высокоуглеродистой стали	2,3	Алюминиевый лист	7,1
Отливка литейного чугуна	2,4	Алюминиевая отливка	9,6
Пруток марганцевой стали	2,5	Пруток нержавеющей стали	9,6
Латунный лист	5,1	Пруток фосфорной бронзы	16,0
Медный лист	8,3	Пруток сплава монель	20,6

продолжение таблицы 14

Лист нержавеющей стали	8,5	Лист нержа-веющей стали	8,5
Полимеры			
Полиэтилен	3	Ацетат целлю-лозы	15
Полипропилен	3	Ацетали	15
Полистирол	3	Поликарбонат	36
PVC	6	Нейлоны	45
ABS	12	Полиуретан	60
Фенольные смолы	12	PTFF	90
Акрилики	12	Фтористый кремний	240

Таблица 15

Затраты энергии для производства 1 кг материала

Материал	Энергия, [МДж/кг]	Материал	Энергия, [МДж/кг]	Материал	Энергия, [МДж/кг]
Металлы		Полимеры		Керамика	
Алюминий и сплавы	230…300	Нейлоны	170…180	Стекло	10…25
Медь и сплавы	50…120	Полиэтилен низкой плотности	80…100	Цемент	4…8
Магний и сплавы	360..420			Бетон	3…6
Железо	20	Полиэтилен высокой плотности	100…120	**Композиты**	
Углеродистые стали	50…60	Полипропилен	110…115	Волокнистые стеклянные полимеры	90…120
Нержавеющие стали	100…120	Полистирол	100…140	Древесина	2…4
Литейные чугуны	50…250	PVC	70…90	Армированный бетон 8…20	
Титан и сплавы	500…550	Синтетические эластомеры	120…140		

Мировой объем производства основных материалов к настоящему времени составляет около:

- 700 млн. т стали;
- 46 млн. т конструкционного чугуна;
- 100 млн. т пластических масс;
- 180 млн. т конструкционных стекла и керамики.

Отметим, что плотность пластмасс в 2–3 раза ниже, чем металлов, и в объемных процентах пластмасс выпускается в 2 раза больше других материалов. Отличительной особенностью современного машиностроения является расширение номенклатуры применяемых материалов.

Среди металлических материалов мировой объем производства составляет:

- алюминий 12,2 млн. т;
- медь 7,3 млн. т;
- цинк 4,68 млн. т;
- свинец 3,77 млн. т;
- никель = 0,52 млн. т.

Наибольшие темпы роста производства у композиционных и порошковых материалов.

Экономические требования должны соответствовать и экологическим нормам.

Таким образом, комплексная методика выбора материалов и их обработки включает четкую постановку задачи; учет характерных параметров и требований, предъявляемых к материалу; а также качественную и количественную оценку достоинств с разработкой критериев выбора оптимального материала конкретного назначения (см. далее п.1.6) с формулировкой рекомендаций по выбору материалов (см. далее п.1.7).

Оформление результатов научных разработок

Научно-исследовательская работа, в т. ч. и разработки по научному выбору материалов конкретного применения, выполняются в определенной последовательности. Вначале формулируется сама тема в результате общего ознакомления с проблемой, в рамках которой предстоит выполнить научную разработ-

ку. Дальнейшая разработка темы основывается на литературном анализе, где описывается уже достигнутый уровень исследований и ранее полученные результаты. Особое внимание уделяется еще нерешенным вопросам, обоснованию, актуальности и значимости работы для отрасли и экономики страны в целом. В результате становится возможным наметить методы решения, задачи и этапы исследования, определить конечную цель выполнения темы. Полученные теоретические и экспериментальные результаты исследований анализируются в соответствии с выдвинутой гипотезой. В конце работы формулируются выводы и рекомендации. Процесс оформления результатов научной разработки предполагает знание и соблюдение некоторых требований, предъявляемых к содержанию.

*Требования к оформлению результатов научной разработки***.** Подготовленный материал должен быть изложен ясно, систематично и последовательно. В изложении материала должна быть включена критическая оценка существующих применений материала. Вспомогательный материал лучше привести в виде приложения. Цитируемые места должны иметь точные ссылки на источники. Необходимо соблюдать единство условных обозначений и допускаемых сокращений слов.

При написании научной разработки целесообразно придерживаться следующего общего плана изложения (хотя индивидуальные отклонения возможны). Вначале продумывается *название* (заглавие работы, которое должно быть кратким, определенным, отвечающим содержанию работы, т. к. по нему научная разработка будет классифицирована в предметном каталоге). Для раскрытия в краткой форме содержания работы в структуру научной разработки включают *оглавление* (содержание), где обозначают основные разделы, части, главы и другие подразделения рукописи. Иногда включают *предисловие*, в котором излагаются внешние предпосылки создания научной разработки: чем вызвано его появление, когда и где была выполнена работа, перечисляются организации и лица, оказавшие содействие при выполнении данной работы. Во *введении* (вступлении) вво-

дят в круг проблем, дают постановку основного вопроса научной разработки. Определяются значение проблемы, ее актуальность, цели и задачи, состояние проблемы на данный момент. Вслед за вступлением дается *краткий обзор литературы* по рассматриваемому вопросу. В *основное содержание* разработки включаются материалы, методы, экспериментальные данные, обобщения и выводы проведенного исследования. Вновь введенные термины или понятия необходимо подробно разъяснять. Цифровой материал представляется в виде таблиц, диаграмм, графиков. *Выводы* должны отвечать только тому материалу, который изложен в разработке. Пишутся выводы как итоговый материал в конце разработки в виде кратко сформулированных и пронумерованных отдельных тезисов (положений). В *заключении* дается обобщение наиболее существенных положений проведенного исследования, подводятся итоги, показывается справедливость выдвинутых новых положений, а также выдвигаются вопросы, которые еще требуют разрешения. В конце работы приводится *перечень литературных источников.*

Технико-экономическое обоснование научной разработки

Для объективной оценки научной разработки необходимо иметь хотя бы предварительные экономические выкладки в виде технико-экономического обоснования цели научной разработки или бизнес-плана. Принципиальной разницы между этими документами нет, и та, и другая является расчетно-пояснительной запиской, в которой с помощью конкретных расчетов, пояснения, информации из достоверных источников доказывается экономическая целесообразность начинаемых научных разработок, показывается, что даст предлагаемая работа, кто будет ее потребителем, какой экономический эффект она даст и когда. Этот документ является основным исходным предплановым документом, при наличии которого возможно дальнейшее планирование темы. В результате составления документа делается вывод о целесообразности и необходимости выполнения НИР и

ОКР. Конкретизируются цели и задачи исследования, составляется библиографический список литературы, научно-технических отчетов по теме различных организаций соответствующего профиля, составляются аннотации литературных источников, рефераты по теме, уясняются явления, процессы, предметы, которые должны охватить конкретное исследование, а также методы исследования (теоретические, экспериментальные и т. д.).

Ряд вопросов предполагает ответы, основанные на опыте производственных практик, а также имеющихся знаний в смежных областях специальности.

Для оценки экономической эффективности работы следует определять численные критерии. Простейшим из них является критерий экономической эффективности $k_э = Э_п / З_и$, где $Э_п$ – предполагаемый экономический эффект от внедрения; $З_и$ – затраты на научные исследования. Чем больше значение $k_э$, тем эффективнее тема и выше ее экономическая эффективность.

Однако критерий $k_э$ не учитывает объем внедряемой продукции, период внедрения, поэтому более объективным является критерий, вычисляемый по формуле $k_э = C_Г \sqrt{\frac{T}{З_О}}$. Здесь $C_Г$ – стоимость продукции за год после освоения научного исследования и внедрения в производство; T – продолжительность производственного внедрения в годах; $З_О$ – общие затраты на выполнение научного исследования, опытное и промышленное освоение продукции и годовые затраты на ее изготовление по новой технологии. Экономичность является важнейшим критерием перспективности темы. Однако в некоторых случаях и этого критерия оказывается недостаточно и требуется более общая оценка, учитывающая и другие показатели. В этом случае часто используется экспертная оценка, которая выполняется специально подобранным составом высококвалифицированных экспертов (обычно от 7 до 15 человек). С их помощью в зависимости от специфики направления или комплексности устанавлива-

ются оценочные показатели тем. Тема, получившая максимальную поддержку экспертов, считается наиболее перспективной.

1.6. Оценка достоинств материала и критерии выбора оптимального материала конкретного назначения

Несмотря на то, что ряд материалов стыкуется по требованиям к разным свойствам, может возникнуть проблема выбора при попытке определить оптимальный материал. Тогда необходимо определить материал, который обладает наилучшим балансом свойств. Для этого по каждому материалу определяют относительное значение достоинств каждого из его свойств. Оценки устанавливаются по сравнению с некоторым наилучшим материалом, которому присваивает максимальное значение достоинства, например, от 10 до 100. Все другие материалы имеют тогда относительные оценки.

Например, для электропроводности чистой меди *($\rho = 59 \cdot 10^{-10}$ см/м)* может быть дана оценка 100. Тогда электропроводность других материалов оценивается соответственно как процент по отношению к электропроводности этой меди. Так, на этой шкале алюминий *($\rho = 38 \cdot 10^{-10}$ см/м)* будет иметь оценку: *(38/59)·100=64.*

Применяя *метод оценки достоинств* для каждого материала и каждого свойства, можно прийти к полной оценке материала по выбранным суммарным взвешенным оценкам достоинств для каждого свойства.

Так, например, при отборе материалов для нитей электрических ламп накаливания для освещения по температуре плавления, электрической проводимости, прочности и пластичности, мы можем считать такое свойство, как температура плавления более важным, чем электропроводность, которая, в свою очередь важнее, чем прочность, а та более важна, чем пластичность. В результате мы имеем взвешенные оценки, такие как плавление X4, электропроводность X3, прочность X2 и пластичность X1.

Для оценки достоинств материала разрабатывают критерии оптимального выбора материалов по критическим свойствам. Идентификацию критических свойств проводят по эксплуатационным, технологическим (связанных с механическими, физико-химическими и физическими) и стоимостным свойствам, которые лежат в основе выбора материала и определяют техническую и экономическую целесообразность его применения.

Критерии выбора оптимального материала конкретного назначения

Поскольку решение задачи по выбору оптимального материала конкретного назначения требует разработки определенных критериев, то проводят идентификацию *критических свойств*.

Например, прочность должна быть около некоторого конкретного предела напряжения, или электрическое сопротивление должно быть ниже некоторого конкретного граничного значения.

Принимая во внимание, что некоторые установленные критические пределы соответствуют поставленным значениям, материалы можно признать подходящими для рассмотрения.

Критические свойства – это такие свойства, при которых материал уже не может быть годным

Свойство – это количественная или качественная характеристика материала, определяющая его общность или различие с другими материалами

Выделяют три основные группы свойств: ***эксплуатационные, технологические*** и ***стоимостные***, которые лежат в основе выбора материала, определяют техническую и экономическую целесообразность его применения.

Первостепенное значение имеют эксплуатационные свойства.

Эксплуатационными называют свойства материала, которые определяют работоспособность деталей машин, приборов или инструментов, их силовые, скоростные, стойкостные и другие технико-эксплуатационные показатели

Работоспособность подавляющего большинства деталей машин и изделий обеспечивает уровень *механических свойств*.

Механические свойства характеризуют поведение материала под действием внешней нагрузки

Так как условия приложения внешней нагрузки деталей машин самые разнообразные, то механические свойства включают большую группу показателей, характеризующих сопротивление материала деформации или разрушению.

Для определения механических свойств проводят механические испытания, которые в зависимости от характера и условий действия нагрузки делят на такие группы: статические, динамические и циклические испытания

На рис. 1.2 показаны графики испытаний для приведенных видов нагрузок.

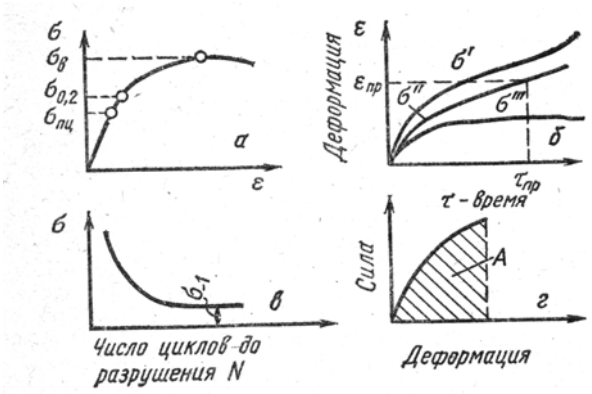


Рис. 1.2. Способы выражения результатов испытания в зависимости от характера приложения нагрузки: *а) статическое растяжение; б) испытания на ползучесть (σ – предел ползучести при допуске $\varepsilon_{ПР}$ за время $\tau_{ПР}$), $\sigma^I > \sigma^{II} > \sigma^{III}$; в) усталостные испытания; г) ударные испытания (А –работа разрушения)* [34]

К статическим испытаниям относят испытания на растяжение, сжатие, кручение, изгиб, на твердость, на ползучесть. В результате проведения этих испытаний находят следующие показатели механических свойств:

- прочностные $\sigma_У$ ($\sigma_{0,05}$), $\sigma_т$ ($\sigma_{0,2}$), $\sigma_В$, $\sigma_Д$;
- пластические Δl, δ, ψ;
- характеристики твердости HB, HRC, HRA.

Динамические испытания проводят для выявления склонности материала к хрупкому разрушению. Основной характеристикой, получаемой из этих испытаний, является работа, затрачиваемая на разрушение образца (KCU, KCV, KCT).

При испытаниях на усталость материала подвергают меняющимся по величине и времени нагрузкам, в результате чего выявляют усталостную прочность (σ_W или σ_R).

В качестве критерия выбора материалов могут выступать критические свойства *износостойкость или сопротивление износу.*

Износ – это прогрессирующая потеря материала с поверхности в результате контакта с другой поверхностью. Он имеет место вследствие скольжения или прокатки контактирующих поверхностей при передвижении жидкостей и контактирующих частиц по поверхности. Таким образом, износ является эффектом поверхности. Обработка поверхности и покрытия на ней играют важнейшую роль в улучшении сопротивления износу. В качестве средства защиты поверхности и, следовательно, уменьшения износа можно рассматривать смазку.

Мягкие стали обладают низкой износостойкостью. Однако увеличение содержания углерода увеличивает ее. У поверхности закаленных углеродистых или низколегированных сталей улучшается износостойкость в результате обработок поверхности, таких как науглероживание и цианирование. Одинаково высокую износостойкость дает азотирование средненауглероженных хромистых или хромоалюминиевых сталей или поверхностное упрочнение высокоуглеродистых, высокохромистых сталей. Серый литейный чугун имеет достаточную износостойкость для многих сфер приложения, наилучшую – дают белые чугуны.

Среди не железных сплавов наивысшую износостойкость показывают бериллиевые меди и сплавы на основе кобальта, такие как стеллит.

Высоких твердости и сопротивления износу при низком коэффициенте сцепления требуют, например металлические материалы, применяемые для рабочих поверхностей подшипников. Одновременно они должны быть достаточно прочными. В основном это требование встречается в случае применения мягких или твердых сплавов, в которые вкраплены твердые частицы. Мягкий сплав, обладающий текучестью, приспосабливается к некоторому локальному высокому давлению, появляющемуся из-за незначительных смещений от оси при запуске подшипника в ход, в то время как твердые частицы обеспечивают сопротивление износу. К таким материалам относятся белые подшипниковые металлы и подшипниковые металлы на основе меди и алюминия. Основными материалами белых подшипников металлов служат олово и свинец. Материалы с оловом в основе известны как баббитовые металлы. Это сплавы олово-сурьма-медь, возможно, с некоторым количеством свинца. Наличие твердых частиц обеспечивает соединения сурьма-олово и медь-олово. Материалы на основе свинца – это сплавы свинец-сурьма-олово с соединениями сурьма-олово, обеспечивающими твердые частицы. Главные подшипниковые металлы на основе меди содержат фосфорные бронзы с 10…15 % олова и сплавы медь-олово. Главными алюминиевыми подшипниковыми материалами являются сплавы алюминий-олово. Самосмазывающиеся пластики, например, нейлон 6.6 со смазывающей добавкой 18 % PTFE–2 % кремния, оказывают очень хорошее сопротивление износу и широко применяются для сфер, где требуется низкий износ, например, таких как подшипники и зубчатые передачи.

В табл. 16 приведены главные свойства, необходимые при подборе материалов подшипников обычного применения.

Таблица 16

Свойства материалов для подшипников

Материал	Твердость по Бринеллю, НВ	Предел текучести, [МПа]	Прочность, [МПа]	Модуль упругости, [ГПа]
Баббит: олово в основе	17…25	30…65	70…120	51…53
Баббит: свинец в основе	15…20	20…60	40…110	29
Сплавы медь-свинец	20…40	40…60	50…90	75
Фосфорная бронза	70…150	130…230	280…420	80…95
Свинцово-оловянистая бронза	50…80	80…150	160…300	95
Сплавы алюминий-олово	70…75	50…90	140…210	73
Полимеры	5…20	-	20…80	1…10

продолжение таблицы 16

Материал	Плотность, [Мг/м^3]	Предел усталости, [МПа]	Удельная теплопроводность, [Вт/(м·К]
Баббит: олово в основе	7,3…7,7	25…35	50
Баббит: свинец в основе	9,6…10	22…30	24
Сплавы медь-свинец	9,3…9,5	40…50	42
Фосфорная бронза	8,8	90…120	42
Свинцово-оловянистая бронза	8,8	80	42
Сплавы алюминий-олово	2,9	130…170	160
Полимеры	1,0…1,3	5…40	0,1

продолжение таблицы 16

Материал	Относительное сопротивление коррозии	Относительное сопротивление износу	Относительная стоимость
Баббит:олово в основе	5	2	7
Баббит:свинец в основе	4	3	1
Сплавы медь-свинец	3	5	1,5
Фосфорная бронза	2	5	2
Свинцово-оловянистая бронза	2	3	2
Сплавы алюминий-олово	3	2	1,5
Полимеры	5	5	0,3

Работоспособность отдельной группы деталей машин зависит не только от механических свойств, но и от *физико-химических свойств материалов* (жаростойкости, коррозионной стойкости).

Физико-химические свойства материалов характеризуют сопротивление воздействию химически активной рабочей среды

Жаростойкость характеризует способность материала противостоять химической коррозии, развивающейся в атмосфере сухих газов при повышенной и высокой температуре. У металлов нагрев сопровождается образованием на поверхности оксидного слоя (окалины). Количественными показателями жаростойкости являются: скорость окисления, оценивающая интенсивность изменения массы металла (в г/м^2·ч) или скорость

роста толщины оксидной пленки на его поверхности (в мкм/ч); допустимая рабочая температура металла, при которой скорость его окисления не превышает заданного значения.

Коррозионная стойкость – это способность металла противостоять электрохимической коррозии, которая развивается при наличии жидкой среды на поверхности металла и ее электрохимической неоднородности. Количественными показателями коррозионной стойкости являются:

- скорость электрохимической коррозии, оценивающая интенсивность изменения массы металла (в г/($м^2$·ч)) или линейных размеров образца (в мкм/ч);
- степень изменения механических свойств под влиянием повреждения поверхности.

Для некоторых деталей машин и изделий большое значение имеют *физические свойства.*

Физические свойства, характеризующие поведение материалов в магнитных, электрических и тепловых полях, а также под воздействием потоков высокой энергии или радиации

Физические свойства принято подразделять на *магнитные, электрические, теплофизические и радиационные*.

Наиболее важными физическими свойствами, значения которых учитывают при практическом использовании материалов, являются *плотность, пористость, тепловое расширение, теплопроводность, теплоемкость, электропроводность.* Особые магнитные свойства железа, никеля, кобальта и их сплавов, а также ферритов, выделяют их в группы материалов исключительной ценности – ферро- и ферримагнетики.

Физические свойства определяются типом межатомной связи и химическим составом материалов, температурой и давлением. Для большинства процессов обработки материалов давления не превышают 500 МПа. Такие давления практически не

влияют на значения физических свойств. При нагреве физические свойства изменяются нелинейно.

Плотность существенно зависит от типа межатомной связи. Максимальную плотность имеют материалы с ненаправленными металлическими или ионными связями. Направленная ковалентная связь предопределяет менее плотное расположение атомов. У металлов плотность изменяется от 22,5 г/см^3 у осмия до 0,534 г/см^3 у лития. Легирование сплава более тяжелыми элементами, чем основа, увеличивает, а более легкими – уменьшает его плотность. Чем меньше плотность материалов, тем ниже динамические нагрузки на детали и меньше расход энергии на эксплуатацию машины.

Преимущество легких материалов над тяжелыми становится более наглядным при сравнении материалов по их *удельной прочности* $\sigma_B/\gamma g$ и *удельной жесткости* $E/\gamma д$. По этим характеристикам первое место занимают композиционные материалы, а сплавы алюминия (дуралюмины) не уступают более прочным легированным конструкционным сталям.

Пористость уменьшает плотность. Для порошковых сплавов и других пористых материалов она является одним из критериев качества. Пористость оценивают по фактической плотности материала и определяют методом гидростатического взвешивания или другими способами. При нагреве плотность материалов уменьшается из-за теплового расширения.

Тепловое расширение – это изменение объема (линейных размеров) тела при повышении температуры при постоянном давлении. В основе теплового расширения лежит несимметричность тепловых колебаний атомов, поэтому при повышении температуры увеличиваются средние межатомные расстояния.

Для практических целей пользуются средними значениями коэффициентов объемного α_V и линейного α_l расширения:

$$\alpha_V = \frac{1}{V}\frac{\Delta V}{\Delta T}; \quad \alpha_l = \frac{1}{l}\frac{\Delta l}{\Delta T},$$

где V, l – объем и длина образца соответственно; ΔV, Δl – изменения объема и длины при повышении температуры на ΔT.

В общем случае, $\beta = \alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3$, где α_1, α_2 и α_3 — соответственно коэффициенты линейного расширения по трем осям симметрии кристалла (табл. 17).

Таблица 17

Значение коэффициента линейного расширения $\alpha \cdot 10^6$, $К^{-1}$

Материалы	α_1	α_2	α_3
Be	8,6	11,7	11,7
Графит	28	-1,5	-1,5
Co	16,1	12,6	12,6
Mg	26,4	25,6	25,6
SiO_2	8,0	14,4	14,4
SiC	12,2	20,9	20,9
Sb	16	7	7
Zr	4,0	13,0	13,0

Создание текстур в металлических сплавах, ориентация макромолекул в полимерах отражаются на значениях коэффициента линейного расширения: они существенно различаются в направлении преимущественной ориентации и в поперечном направлении.

Тепловое расширение полимеров уменьшается при усилении межмолекулярного притяжения благодаря взаимодействию диполей, наличии водородных и химических связей между молекулами. Тепловое расширение стекол по мере повышения содержания щелочных оксидов Me_2O возрастает от α=0,56·10 $^{-6}$ $К^{-1}$ у кварцевого стекла, до $\alpha < 6 \cdot 10^{-6}$ $К^{-1}$ – у так называемых твердых стекол и $\alpha > 6 \cdot 10^{-6}$ $К^{-1}$ – у так называемых мягких стекол, к которым относится большая часть промышленных стекол (α = (6 ... 9)·10^{-6} $К^{-1}$). Различие значений коэффициента теплового расширения двух соединяемых материалов является причиной появления значительных термических напряжений. Согласование

значений α при соединении стекол с металлами необходимо при впаивании металлических проводников в стекла.

Тепловое расширение учитывают при расчете прессовых посадок, сварке и пайке разнородных материалов, изготовлении аппаратуры из двухслойных сталей и ее эксплуатации, при выборе клеев и эксплуатации машин и приборов в изменяющихся температурных полях. У большинства материалов при повышении температуры коэффициенты теплового расширения увеличиваются.

Теплопроводностью называется перенос тепловой энергии в твердых телах, жидкостях и газах при макроскопической неподвижности частиц. Перенос теплоты происходит от более горячих частиц к холодным и подчиняется закону Фурье: $q=-\lambda\ gradT$, где q – плотность теплового потока, Дж/(м^2·с); λ – теплопроводность, Вт/(м·К).

Теплопроводность зависит от типа межатомной связи, температуры, химического состава и структуры материала. Теплота в твердых телах переносится электронами и фононами, т. е. $\lambda=\lambda_Э+\lambda_Ф$. Механизм передачи теплоты в первую очередь определяется типом связи: в металлах теплоту переносят электроны; в материалах с ковалентным или ионным типом связи – фононы. Самым теплопроводным является алмаз. Чем совершеннее кристаллы, тем выше их теплопроводность. Монокристаллы лучше проводят теплоту, чем поликристаллы, т. к. границы зерен и другие дефекты кристаллической решетки увеличивают электросопротивление. Кристаллическая решетка создает периодическое энергетическое пространство, в котором передача теплоты облегчена по сравнению с аморфным состоянием (табл. 18).

Таблица 18

Теплопроводность кварцевого стекла, кварца, поликристаллических и жидких металлов

Материал	t, °C	λ, Вт/(м·К)
Кварцевое стекло	-200 -100 0 100	0,93 1,56 1,90 2,08
Кварц*	-200 -100 0 100	39,8/100,3 17,3/34,5 10,4/19,0 6,9/12,1
Алюминий**	~ 650	85/225
Свинец**	~ 327	15/31
Цинк**	~ 419	60/93

* В числителе – в перпендикулярном, а в знаменателе – в параллельном оси направлении.

** В числителе – в расплавленном, а в знаменателе – в поликристаллическом состоянии

Чем больше примесей содержит металл, мельче зерна и больше искажена кристаллическая решетка, тем меньше теплопроводность. Легирование вносит искажение в кристаллические решетки твердых растворов и понижает теплопроводность по сравнению с чистым металлом – основой сплава. Структурные составляющие, представляющие дисперсные смеси нескольких фаз (эвтектики, эвтектоиды), снижают теплопроводность.

Структуры с равномерным распределением частиц фаз имеют меньшую теплопроводность, чем основа сплава. Предельным видом подобной структуры является пористый материал. По сравнению с твердыми телами газы являются теплоизоляторами. Теплопроводность пористых керамических и металлических материалов независимо от типа межатомной связи

можно оценить по формуле: $\lambda_{пор} \approx \lambda(1-\rho)$, где λ – теплопроводность беспористого материала, *Вт/(м·К); p* – доля пор в объеме пористого материала.

Графит имеет высокую теплопроводность. При передаче теплоты параллельно слоям атомов углерода базисной плоскости теплопроводность графита превышает теплопроводность меди более чем в 2 раза (табл. 11). Разветвленные пластины графита в сером чугуне имеют структуру монокристалла, и поэтому он имеет высокую теплопроводность (50–70 Вт/(м·К). Высокопрочный чугун с шаровидным графитом при той же объемной доле графита имеет теплопроводность 25 .. .40 Вт/м·К, что почти вдвое меньше по сравнению с серым чугуном.

При нагреве значения теплопроводности сталей разных классов сближаются.

Стекло имеет низкую теплопроводность. Полимерные материалы плохо проводят теплоту, теплопроводность большинства термопластов не превышает 1,5 Вт/(м· К).

Теплоемкость – это способность вещества поглощать теплоту при нагреве. Ее характеристикой является удельная теплоемкость – количество энергии, поглощаемой единицей массы при нагреве на один градус.

У металлических сплавов удельная теплоемкость находится в пределах 100…2000 Дж/(кг·К). Тугоплавкие металлы характеризуются низкими значениями (134 Дж/(кг·К) у *W* и 254 Дж/(кг·К) – у Mo, а легкие металлы, напротив, высокими значениями теплоемкости (896, 1017 и 1750 Дж/(кг·К) – у Al, Mg и Be соответственно). У большинства металлов теплоемкость составляет 300–400 Дж/(кг·К). Теплоемкость металлических материалов растет с повышением температуры. Полимерные материалы, как правило, имеют удельную теплоемкость 1000 Дж/(кг·К) и более.

Электрические свойства материалов характеризуются наличием носителей зарядов – электронов или ионов – и свободой их передвижения под действием электрического поля. Высокие энергии ковалентной и ионной связи сообщают материалам с

этими типами связи свойства диэлектрика. Их слабая электрическая проводимость обусловлена влиянием примесей, причем под влиянием влаги, образующей с примесями проводящие растворы, электропроводность таких материалов возрастает.

Материалы с разными типами связи имеют различные температурные *коэффициенты электросопротивления:* у металлов он положителен, у материалов с ковалентным и ионным типом связи – отрицателен. При нагреве металлов концентрация носителей зарядов – электронов не увеличивается, а сопротивление их движению возрастает из-за увеличения амплитуд колебаний атомов. В материалах с ковалентной или ионной связью при нагреве концентрация носителей зарядов повышается. По этой причине удельное электросопротивление таких материалов при нагреве снижается. Начиная с (0,8–0,9) $T_{пл}$ концентрация носителей заряда становится большой, а сами материалы делаются проводящими.

Технологические свойства определяют технологичность материала – т. е. его пригодность для изготовления деталей машин, приборов и инструментов требуемого качества при минимальных трудовых затратах

Технологичность оценивается *обрабатываемостью резанием, давлением, свариваемостью, способностью к литью*, а также *прокаливаемостью, склонностью к деформации и короблению при термической обработке*.

Обрабатываемость резанием – это комплексная характеристика материала, которая оценивается рядом показателей: производительностью обработки, качеством обработанной поверхности, видом стружки. В зависимости от конкретных условий решающим может оказаться любой из критериев. Например, в условиях автоматизированного производства важнейшим является вопрос стружкообразования – стружка должна легко удаляться из зоны резания, т. е. быть элементной, а не сливной. Наиболее распространенной является оценка обрабатываемости

материала *по производительности*. Критерием является скорость резания, при которой достигается заранее заданная стойкость инструмента. Используют критерий i>60 – это скорость резания, при которой достигается 60-тиминутная стойкость режущего инструмента до регламентируемого износа, м/мин. Критерий *v60* является абсолютным показателем обрабатываемости. За эталон часто принимается сталь 45 твердостью 160… 180 НВ.

Обрабатываемость давлением (прокат, ковка и др.) зависит от пластичности металла. Обработка давлением возможна только для металлов. Это связано с тем, что пластичность определяется металлическим, гибким и ненаправленным типом связи. Высокая пластичность присуща однофазным сплавам; появление второй фазы, особенно если она обладает высокой твердостью или малой пластичностью, резко снижает пластичность металла. Так, например, в системе А1-Си деформируемыми являются сплавы с содержанием меди до 5,7 %, т. е. не содержащие эвтектики. Некоторые из этих сплавов являются однофазными вплоть до начала плавления, другие становятся однофазными при нагреве. В промышленности при изготовлении деталей из стали широкое распространение получила технология холодной пластической деформации. Это операции листовой (вытяжка, гибка) и объемной (высадка) штамповки. Для особо сложной штамповки, с большими степенями деформации, содержание углерода в сталях не должно превышать 0,08 %. При содержании углерода 0,2…0,3 % можно производить гибку деталей и незначительную вытяжку, а при содержании 0,3… 0,4 % только гибку с большим радиусом. Для оценки возможности проведения операций с определенной степенью деформации применяют различные технологические испытания (пробы), имитирующие процесс холодной пластической деформации.

Свариваемость – свойство металлов или сплавов образовывать при установленной технологии сварки соединение, отвечающее требованиям, обусловленным конструкцией и эксплуатацией изделия. В сварочной практике существуют такие поня-

тия, как физическая и технологическая свариваемость. *Физическая свариваемость* подразумевает возможность получения монолитных сварных соединений с химической связью. Такой свариваемостью обладают практически все технические сплавы и чистые металлы, а также ряд соединений металлов с неметаллами. *Технологическая свариваемость* – это характеристика металла, определяющая его реакцию на воздействие сварки и способность образовывать сварное соединение с заданными эксплуатационными свойствами. В этом случае свариваемость рассматривается как степень соответствия свойств сварных соединений одноименным свойствам основного металла или их нормативным значениям.

Способность к литью позволяет получать литые заготовки путем заливки расплавленного материала в формы. Полученные отливки имеют массу от нескольких грамм до 300 т, длину от нескольких сантиметров до 20 м, толщину стенок от 0,5–500 мм (блоки цилиндров, поршни, коленчатые валы, корпуса и крышки редукторов, зубчатые колеса, станины станков и прокатных станов, турбинные лопатки и т. д.). Отливки получают из черных металлов (чугун, стали), цветных сплавов (алюминиевых, магниевых, медных, цинковых, титановых и др.). Различные сплавы характеризуются разными литейными свойствами (жидкотекучесть, усадка).

Прокаливаемость – это глубина проникновения закаленной зоны, т. е. способность стали закаливаться на определенную глубину (расстояние от поверхности до слоя, где в структуре будет примерно одинаковое количество мартенсита и троостита. Прокаливаемость зависит от химического состава стали, размеров деталей и условий охлаждения. С увеличением содержания углерода до 0,8 % прокаливаемость стали увеличивается. При дальнейшем увеличении углерода прокаливаемость несколько снижается. Увеличению прокаливаемости также способствует укрупнение зерен аустенита при нагреве под закалку. Нерастворимые частицы, неоднородность аустенита и другие факторы, которые уменьшают устойчивость переохлажденного аустенита, уменьшают прокаливаемость. Все легирующие элементы, кроме

кобальта, увеличивают прокаливаемость. Характеристикой прокаливаемости является критический диаметр, т. е. диаметр максимального сечения, которое прокаливается полностью в данной охлаждающей среде.

Склонность к деформации и короблению при термической обработке. Коробление и поводка деталей при термообработке возникают, вследствие неравномерного увеличения удельного объема структурных составляющих стали при нагреве-охлаждении и возникновения вследствие этого внутренних напряжений. Мелкие простые по форме детали (без острых углов и резких переходов) менее склонны к короблению, чем длинные с переменным сечением и с незамкнутым контуром. Деформация иногда бывает столь значительной, что деталь выбраковывают; в некоторых случаях возможно исправление рихтовкой или правкой. Поэтому при конструировании следует придавать детали такие конструктивные формы, которые способствовали бы уменьшению коробления. Детали, более сложные по форме, целесообразнее изготовлять из легированных сталей, закаливаемых изотермически или в масле. Термообработку крупногабаритных плоских или длинных деталей для устранения поводки выполняют в специальных закалочных прессах с последующим отпуском. Для уменьшения деформации и трещинообразования необходимо:

- правильно выбирать материал;
- назначать термообработку (изотермическую, ступенчатую, прерывистую закалку), обеспечивающую минимальную поводку, в зависимости от состава стали, формы детали и требуемых свойств, при которых деформация детали минимальная;
- переходы от одного сечения детали к другому делать плавными;
- масса металла должна быть распределена равномерно, нежелательны длинные открытые пазы и подрезы;
- обеспечить технологичность форм для всего цикла изготовления детали перед термообработкой;

- при необходимости предусмотреть технологические припуски, удаление которых механической обработкой позволит исправить размер и форму детали.

Технологичность материала имеет важное значение, т. к. от нее зависят производительность и качество изготовления деталей.

Стоимостные свойства материала оценивают экономичность его использования

Количественным показателем стоимостных свойств является *оптовая цена – стоимость единицы массы материала в виде заготовки, проката, слитков, порошка*, по которой завод-изготовитель реализует свою продукцию машиностроительным предприятиям.

Для обоснованного выбора материала можно использовать в качестве критерия *диаграммы «материал-свойство»*.

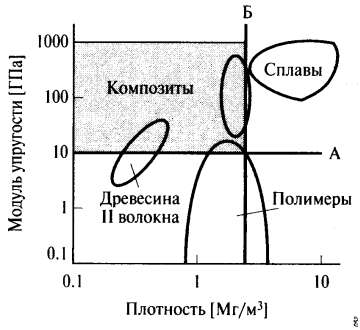


Рис. 1.3. Диаграмма свойств (по критерию плотности)

На рис. 1.3 показана диаграмма, где материалы указаны напротив двух значений свойств: модуля упругости и плотности. Для выбора материалов, которые имеют модуль упругости, скажем 10 ГПа, проводят через диаграмму линию А при данном значении и все материалы выше этой линии формируются в набор, из которого может быть выбран нужный материал. Если необходимо требование, что-

бы плотность была, по крайней мере, меньше 2 Мг/м^3, то проводится на диаграмме линия Б при данном значении и все материалы слева от этой линии формируются в набор по этому критерию. Таким образом, набор материалов с обоими критериями находится в верхнем левом углу диаграммы.

Приведенную диаграмму можно применять, например, если требуется материал в форме балки с максимизированной жесткостью (табл. 19). Это соответствует материалам со значениями E/ρ больше некоторого критического значения. Отношения прочности к плотности и модуль упругости к плотности часто применяют в качестве основных характеристик для материалов при оптимизации этих отношений, чтобы получить наилучшие свойства материалов при наименьшей массе. Однако эти значения могут не отражать наилучших свойств во всех случаях нагрузки.

Таблица 19

Показатели эксплуатационных качеств

Компонент	Максимизация жесткости	Максимизация прочности
Соединительная тяга, т.е прочная связь	E/ρ	σ_y/ρ
Балка	$E^{1/2}/\rho$	$\sigma_y^{2/3}/\rho$
Колонна, т. е. сжимающая связь	$E^{1/2}/\rho$	σ_y/ρ
Плита, внешняя нагрузка или изгиб под собственным весом	$E^{1/3}/\rho$	σ_y/ρ
Цилиндр с внутренним давлением	E/ρ	σ_y/ρ
Сферическая оболочка с внутр. давлением	$E/[(1-\nu)\rho]$	σ_y/ρ

Здесь: E – модуль упругости, ρ – плотность, σ_y – предел текучести (иногда применяется предел прочности на растяжение), ν – коэффициент Пуассона

Приведенные в табл. 19 оптимальные критерии указывают на максимизацию отношений прочности к массе и жесткости к массе для ряда различных нагрузок, при этом следует учесть, что разрушение обусловлено и чрезмерным изгибанием.

Например, требуются материалы, для которых $E/\rho > 1000$, которая обозначена линией В на диаграмме с постоянным наклоном 1000 (рис. 1.4).

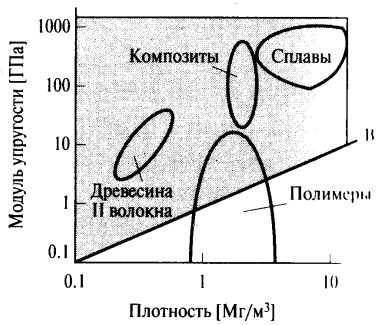


Рис. 1.4. Диаграмма свойств (по критерию жесткости)

Таким образом, выбор пути решения задач по выбору материалов опирается на использование разнообразных критериев (которыми могут быть не только характерные показатели, но и диаграммы). По критериям выбора оценивают критические свойства материала. Оценку критических свойств проводят по эксплуатационным, технологическим и стоимостным свойствам, которые лежат в основе выбора материала и определяют техническую и экономическую целесообразность его применения.

1.7. Обобщенные правила научного выбора материалов

Научно обоснованный выбор материала опирается на методологические знания, позволяющие осуществлять системный научный поиск и максимально полное обоснование оптимального выбора материала конкретного назначения. Здесь важно руководствоваться важнейшими принципами выбора материалов, приведенными в п. 1.4.

Методическое знание как продолжение методологического находит отражение в комплексной методике выбора материала, приве-

денной в п.1.5, фактически задающей логическую последовательность решения практических задач по выбору материалов. При этом важно методически конкретизировать выбор материалов на основе оценки достоинств и разработке критериев оптимального выбора материала конкретного назначения (см. п.1.6).

Необходимо представлять себе, что включает в себя *анализ условий работы изделий* – деталей машин, инструментов и др. – то, с чего начинается выбор материала. Для этого надо уметь определить напряженное состояние, которое возникает в них в условиях службы, предвидеть возможные виды разрушений и другие причины выхода из строя, т. к. от этого зависит выбор материала и способ его обработки.

Далее надо уметь *определить класс или группу материалов* (например, конструкционные стали общего назначения, чугуны, жаропрочные стали и сплавы, инструментальные стали, полимерные материалы и т. п.), обладающих свойствами, близкими к требуемым. Для этой цели рекомендуется ознакомиться с классификацией, составом и назначением основных материалов, используемых в технике.

Составы, строение и свойства основных материалов содержатся в обширной справочной литературе, которой необходимо пользоваться при решении данных задач. Если при рассмотрении свойств намечаемых сплавов окажется, что они не удовлетворяют требованиям задачи, например, по прочности или по вязкости, то следует рассмотреть возможность их улучшения выбором термической или химико-термической обработки. При этом указывать их виды, режимы, получаемую структуру и свойства. Так, например, весьма информативна для использования таблица обобщенных параметров типовых методов упрочнения, предложенная А.Т. Канаевым, В.И. Сидоркиным, Д.А. Азнабаевым (табл. 20).

При выборе того или иного материала важно *учитывать эксплуатационные, технологические и стоимостные с*войства (см. п.1.6), чтобы использовать при изготовлении изделий более экономичные технологические процессы, позволяющие наряду с улучшением характеристик данных изделий, снизить их трудо-

емкость, себестоимость и расход материалов, например, в результате сокращения количества отходов. Необходимо ориентироваться на применение менее дорогих материалов, и в то же время обладающих более высоким уровнем требуемых свойств, что должно обеспечить более длительный срок службы деталей и конструкций.

Таблица 20

Таблица обобщенных параметров типовых методов упрочнения [29]

Метод упрочнения	Дополнительные требования к методу упрочнения	Эффективность метода упрочнения	Типовые изделия, подвергаемые виду упрочнения
Закалка объемная, отпуск средний, твердость по сечению 40–45 *HRC*	Необходимость обеспечения требуемой прокаливаемости по сечению при балле зерна >5–7	Повышение сопротивления хрупкому разруше-нию	Рессоры, пружины и другие упругие элементы
Закалка объемная, отпуск высокий, твердость по всему сечению 25–40 *HRC*		Повышение предела выносливости на 30–40 %, долговечности в 2–5 раз, контактной выносливости на 20–50 %, сопротивления фреттинг коррозии в 2–5 раз	Валы, оси, шатуны, детали ходов. части автомобилей, тракторов, сельхоз. машин
Поверхностная закалка стали ТВЧ (глубина 2–5 мм), низкий отпуск, твердость закаленного слоя 56–60 *HRC*, твердость сердцевины 20–25 *HRC*	Расстояние между окончанием закаленной зоны и концентратором напряжений должно быть не более 5 мм или же зона их концентрации должна быть упрочнена закалкой ТВЧ или поверхностным наклепом	Повышение предела выносливости на 40–60 %, долговечности от 2 до 5 раз, предела контактной выносливости на 50–70 %, сопротивления фреттинг коррозии в 2–5 раз	Коленчатые валы, полуоси, распределительные валы, зубчатые колеса, карданные валы
Цементация (глубина с 0,5–2,0 мм) или итроцементации (глубина 0,4–1,0 мм), закалка, низкий отпуск, твердость поверхностного слоя 58–62 *HRC*, твердость сердцевины 28–40 *HRC*	Отсутствие немартенситных структур в периферийной зоне на расстоянии свыше 0,015 мм от поверхности вследствие внутреннего окисления цементованного слоя, отсутствие темной составляющей в структуре нитроцементованного слоя	Повышение предела выносливости на 50–80 %, долговечности в 5–10 раз, предела контактной выносливости на 60–100 %, износостойкости в 3–10 раз, сопротивления фреттинг-коррозии в 2–5 раз	Зубчатые колеса автомобилей, тракторов, крупные подшипники качения
Наклеп поверхности (глубина слоя 0,1–0,2 мм)	Контроль интенсивности наклепа с использованием специальных пластинок-калибров	Повышение предела выносливости на 30–50 %, долговечности в 3–10 раз, сопротивления фреттинг-коррозии в 2–5 раз	Рессоры, пружины, торсионные валы, полуоси, колен валы, зубчатые колеса
Прерванная закалка с самоотпуском		Повышение предела прочности в 1,5–2,0 раз	Массовые виды проката

В снижении материалоемкости деталей машин и конструкций важная роль принадлежит пластическим массам, поскольку при ценных, а иногда уникальных, физико-механических свойствах они обладают малой плотностью (обычно 1–2 т/м^3; у пенопластов < 1 т/м^3), а принятые для изготовления изделий методы прессования (а иногда и литья) характеризуются очень высоким коэффициентом использования исходных материалов. Кроме того, пластмассы характеризуются ценными технологическими свойствами, что позволяет снизить и трудоемкость изготовления изделий.

В заключении необходимо *обосновать приемлемое решение*, отобрав из целого ряда материалов, которые имеются в наличии и подходят поставленной задаче, наиболее пригодные, удовлетворяющих предъявляемым требованиям.

Целесообразно предложить всегда выбирать два и больше варианта решения. Возможно использование математических методов оптимизации выбора материала на основе анализа возможных вариантов решения задачи.

Таким образом, при выборе материала важно следовать некоторым *правилам*, основанных на закономерностях строения и свойств материалов, их возможного изменения и особенностях применения. Эти правила выведены из методологически разработанного процесса выбора материалов на основе выделенных научных принципов выбора материалов, комплексной методике и позволяют конкретизировать шаги на базе оценки достоинств и разработке критериев оптимального выбора материала конкретного назначения. Имея рекомендательный характер, они состоят в следующем:

- учитывать требования, предъявляемых к данному классу материалов;

- важно учитывать, что выбранные материалы должны обладать более высоким уровнем требуемых свойств, обеспечивающим более длительный срок службы деталей и конструкций (это позволяет снизить материалоемкость изделий);

- рассматривать возможность использования наиболее дешевых или менее дорогих материалов из числа применяемых в данной области;

- при выборе стали или сплава необходимо учитывать технологические свойства, важные при изготовлении изделий для повышения характеристик, снижения трудоемкости и расхода материалов;

- если свойства выбираемых материалов полностью не удовлетворяют требованиям задачи, то следует рассматривать возможность их улучшения выбором того или иного вида обработки (например, термической, химико-термической или термомеханической обработки).

- необходимо указывать виды и режимы рекомендуемой термической обработки, химико-термической, термомеханической обработки, а также получаемую микроструктуру и свойства;

- при выборе режимов обработки необходимо стремиться к указанию наиболее экономичных и производительных способов, особенно для деталей изготовляемых в условиях массового или крупносерийного производства;

- дорогие легированные стали, особенно содержащие Ni, W, Mo, Nb, Co, Zr или цветные сплавы следует рекомендовать в тех случаях, когда выбор более дешевых материалов не может обеспечить требований, указанных в задаче;

- сделанный выбор материала надо обосновать.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ПО РАЗДЕЛУ 1

1. Какова структура научного исследования? В чем содержание каждого структурного элемента научного исследования?
2. Какие виды научных исследований бывают и к какому типу исследований относятся задачи по выбору материалов?
3. Какие из определений методологии научного исследования наиболее точно раскрывают суть методологии

научного выбора материалов и чем отличается методологическое знание от методического?

4. В чем состоит суть общенаучных методов эмпирического, экспериментально-теоретического и теоретического уровней метода морфологического анализа и какие из них можно применить к задачам по выбору материала?

5. Какие методологические проблемы можно выделить в материаловедческой науке и как эффективно применить методологические знания в научных исследованиях? (Ответ обоснуйте примером).

6. На каких основных принципах осуществляется научно обоснованный выбор материалов конкретного назначения?

7. Что включает в себя комплексная методика выбора материалов и что надо учитывать при ее реализации?

8. В чем заключается метод оценки достоинств материала, и по каким критериям осуществляют выбор оптимального материала?

9. Как идентифицируют критические свойства, и какие основные группы свойств лежат в основе выбора материала?

10. Какими основными правилами руководствуются при осуществлении научно обоснованного выбора материалов, и какие требования предъявляют к оформлению научной работы?

2. ОСНОВЫ ТЕОРЕТИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ

2.1. Основные вопросы науки о материалах

Теоретическое понимание объектов изучения курса дисциплины «Научные основы выбора материалов» предполагает систематизацию их содержания. Как следует из содержания предыдущего раздела книги, научно основанный выбор материалов конкретного назначения строится на знании *современной концепции* выбора и применения материалов, технологий их изготовления, основанной на методологии научного поиска. Сущность данной концепции, ее *главные положения* сводятся к следующему:

- в процессе выбора материалов необходимо опираться на методологически обоснованные подходы и принципы, схемы и методики, что обуславливается самим типом исследовательских задач, относимых к разработкам;
- материал рассматривается не просто как вещество с заданным химическим составом, а как интегральное понятие, объединяющее в себе структуру вещества, технологию обработки, возможность применения;
- выбор оптимального материала подразумевает его оценку по разработанным критериям.

Для освоения приведенных положений концепции научно обоснованного выбора материалов необходимо изучение:

- структурной теории материалов, основанной на закономерностях формирования структуры, которая определяет требуемый комплекс свойств технических материалов; способов их обработки;
- экспериментальных и аналитических методов исследования для оценки материалов с позиции их возможного применения;
- основных классов материалов на базе разных классификационных систем с тем, чтобы при выборе ориентироваться в огромном многообразии существующих материалов;

- возможностей управления качеством за счет использования систем стандартизации, что подразумевает исключение ухудшения свойств материала в процессе эксплуатации изделий из него;
- задач из практики выбора и применения тех или иных материалов, чтобы расширять и конкретизировать полученные знания.

Именно эти вопросы рассматриваются в настоящем разделе книги, т. к. научно обоснованный выбор материалов конкретного назначения базируется на знании теоретических основ науки «Материаловедение» и системном представлении о предмете, имеющем огромное прикладное значение.

Таким образом, в данном разделе учебника выделены основные теоретические вопросы материаловедения, которые необходимо знать и использовать при осуществлении научно обоснованного выбора материалов.

Материаловедение относится к техническим наукам, которые представляют специфическую систему знаний о методах технической деятельности, о способах функционирования технических объектов.

Материаловедение как обширная область знаний базируется на основных положениях физики твердого тела, физической химии и электрохимии. В целом, наука о материалах занимается изучением и целенаправленным использованием закономерной взаимосвязи между структурой и свойствами технических материалов для улучшения качества применяемых материалов или для создания новых материалов с заданными свойствами. Важное направление данной науки – это научно обоснованное предсказание поведения применяемых в технике материалов.

Материаловедение – это прикладная наука о связи состава, строения и свойств материалов, применяемых в технике

Поскольку материаловедение имеет дело с получением, обработкой, выбором и применением материалов, то круг проблем, который изучает материаловедение, охватывает обширные вопросы внутреннего строения материалов, изменения их свойств под воздействием разнообразных факторов и дальнейшего их применения.

Содержание учебного курса дисциплины «Материаловедение» обычно разделяют на две части:

- *металловедение* (первоначально наука материаловедение занималась изучением только металлических материалов);
- *неметаллические материалы.*

Каждый раздел материаловедения содержит свои проблемы, решение которых, в конечном счете, способствует решению задачи эффективного выбора и применения того или иного материала в определенной области техники.

На рис. 2.1 и 2.2 приведены структурно-логические схемы изучения 2-х частей (блоков) дисциплины «Материаловедение»: 1) металлические материалы; 2) неметаллические материалы.

В соответствии с приведенными схемами выделяются главные разделы дисциплины, включающие *основные вопросы,* содержание которых приводится ниже. Эти вопросы содержатся почти во всех учебных программах дисциплины «Материаловедение» самых разных технических специальностей.

Каждая часть дисциплины начинается с освещения роли и значения материалов (металлических и неметаллических) в развитии науки и техники на современном этапе. Обычно этот вопрос предваряется историей развития материаловедения, которая диалектически связана с историей развития общества и богата событиями, открытиями и именами людей, внесших значительный вклад в науку.



Рис. 2.1. Структурно-логическая схема теоретического блока «Металловедение»

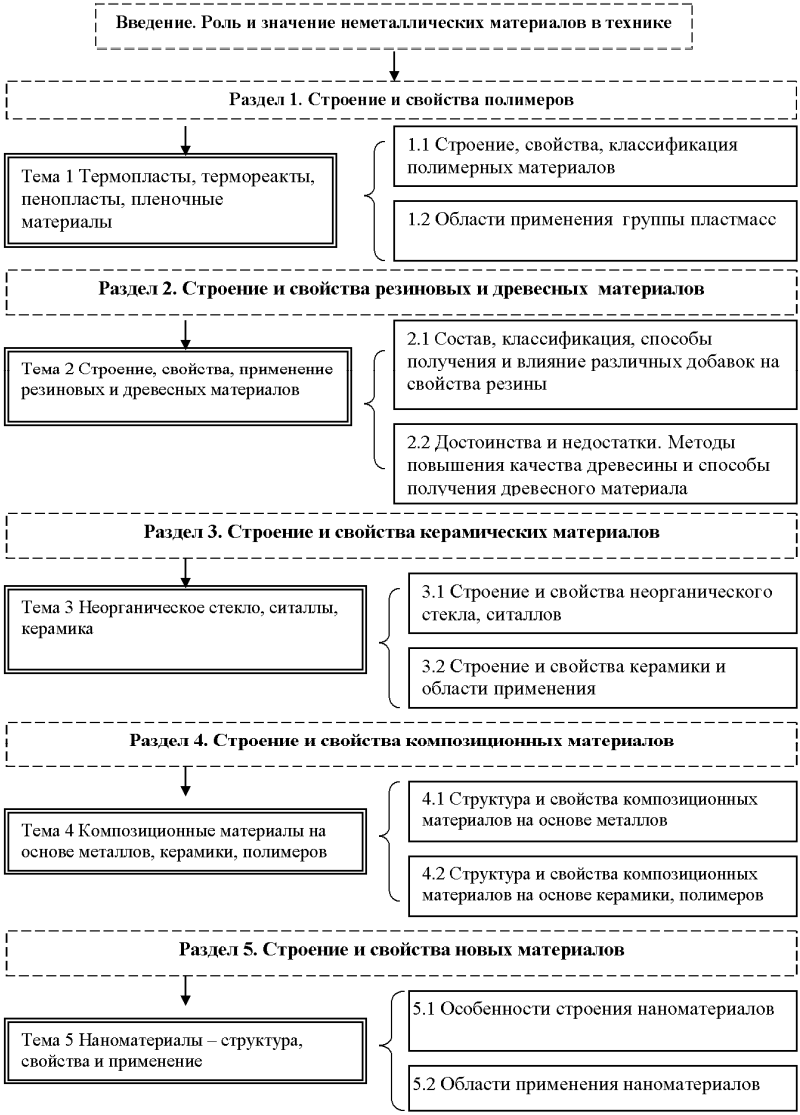


Рис. 2.2. Структурно-логическая схема теоретического блока «Неметаллические материалы»

По версии американского научного журнала по материаловедению, к величайшим людям и событиям в истории материаловедения отнесены: Менделеев Д.И. и его периодическая система элементов; египтяне, подарившие секрет обработки железа за 3500 лет до н. э.; Дж. Бардин, У. Браттейн и У. Шокли – создатели транзистора; жители Северо-Западного Ирана, изготовившие первое стекло – второй после керамики неметаллический материал цивилизованного мира за 2200 лет до н. э.; А. Левенгук – создатель оптического микроскопа с 200-хкратным увеличением; Дж. Смитон, изобретший в 1875 г. бетон; индийские металлурги, придумавшие способ плавления стали в вагранках за 300 лет до н. э.; добыча меди из малахита и лазурита в Малой Азии за 5000 лет до н. э.; Макс фон Лауэ, открывший в 1912 г. дифракцию рентгеновских лучей в кристаллах, что позволило давать характеристики кристаллическим структурам; Г. Бессемер, запатентовавший конвертерный кислый процесс производства низкоуглеродистой стали в 1856 г.

К этим историческим вехам развития материаловедения необходимо добавить периоды зарождения и роста металлургической промышленности в России XVIII в., приведшие к становлению науки о металлах. Большой вклад в разработку теоретических основ металлургии внесли Ломоносов М.В. (1711–1765), издавший первый учебник горнозаводского дела; Аносов П.П. (1797–1851), разработавший научные основы получения высококачественной литой стали; Чернов Д.К. (1839–1921), открывший критические точки фазовых превращений стали и всемирно признанный основоположник научного металловедения; Курнаков Н.С. (1860–1941), создавший научную школу физико-химического анализа сплавов и твердых растворов; Байков А.А. (1870–1946), развивший теорию структурных превращений в металлах; Бутлеров А.М., создавший и обосновавший в 1861 г. теорию химического строения веществ и позднее разработавший основные принципы получения полимеров из низкомолекулярных неорганических соединений и многие другие великие ученые.

Научно-техническая революция, начавшаяся в середине XX в., интенсифицировала развитие материаловедения. Были разработаны новые типы материалов: сверхпроводники, электрическое сопротивление которых при охлаждении ниже критической температуры обращается в ноль; полупроводниковые материалы, электропроводность которых при комнатной температуре имеет промежуточное значение между электропроводностью металлов и диэлектриков; синтетические алмазы, полученные из графита и углеродсодержащих веществ. Развитие высокоскоростной кристаллизации металлов позволило на порядок повысить их прочность, кардинально улучшить магнитные свойства, сопротивление коррозии и др. Разработаны новые технологические методы упрочнения металлов путем пластического деформирования, совмещенного с термической обработкой (ТМО). Развиты представления о молекулярном механизме действия поверхностно-активных веществ и разработаны основы их применения в технологических процессах. Выросло число сплавов, обладающих специфическими свойствами: противокоррозионными, особыми, магнитными, памятью формы и т. д.

В современном материаловедении главными направлениями развития являются: получение композиционных материалов путем сочетания разнородных компонентов; разработка материалов с ранее неизвестным сочетанием свойств, направленно изменяющих свои структуру и свойства в соответствии с условиями эксплуатации. Появились новые области материаловедения: космическое материаловедение, строительное, медицинское и др.

Рассмотрим краткое содержание основных вопросов дисциплины «Материаловедение», включенных в раздел 1. Строение и свойства металлических сплавов (рис. 2.1). Три темы этого раздела посвящены строению и свойствам металлов.

Следует отметить, что понятие *строение* имеет очень широкий смысл, включающий все сведения о материале от электронного строения отдельных атомов до видимых невооруженным глазом дефектов образцов (изделий).

В *практическом материаловедении* под термином строение подразумевается микроструктура материалов, изучаемая с помощью микроскопов. *Теоретическое материаловедение* охватывает вопросы строения, относящиеся к модельным образцам с описанием графических и расчетных методов представления, а также процессы структурообразования и изменения структуры в определенных условиях.

Для понимания строения металла необходимо знать следующие основные вопросы, касающиеся его структурообразования.

Строение металлов:

- типы связей в твердых телах;
- атомно-кристаллическое строение металлических материалов;
- анизотропия кристаллов, полиморфизм, магнитные превращения;
- термодинамика фазовых превращений;
- кристаллизация, энергетические условия кристаллизации, механизм кристаллизации, строение слитка;
- реальное строение кристаллов, строение дефектов;
- превращения в твердом состоянии, полиморфизм;
- магнитные превращения;
- аморфные состояния.

Теория сплавов:

- понятие «фаза» и основные фазы в твердом состоянии металлических материалов;
- диаграммы состояния сплавов, их построение, правило фаз и правило отрезков;
- закономерные связи между составом, строением и свойствами.

Пластическая деформация и механические свойства металлов:

- упругая и пластическая деформация;
- механизм пластической деформации металлов и сплавов;
- теория дислокаций, влияние пластической деформации на структуру и свойства;

- характеристики сопротивления деформации;
- сверхпластичность;
- разрушение, характеристики сопротивления разрушению материалов;
- методы испытания для определения механических свойств.

Влияние нагрева на структуру и свойства деформируемого металла:

- рекристаллизационные процессы;
- отжиг деформированного металла.

Железо и его сплавы:

- диаграмма состояния $Fe - Fe_3C$;
- структура и свойства железных сплавов;
- влияние примесей на свойства стали;
- углеродистые стали;
- чугуны, процесс графитизации, структура и свойства.

Вопросы строения металлов неотделимы от их обработки, направленной на изменение окончательных свойств. Поэтому темы раздела 2 «Влияние пластической деформации, химического состава и термической обработки на структуру и свойства железоуглеродистых и цветных сплавов» – тесно связаны с темами раздела 1 «Строение и свойства металлических сплавов» и могут быть расширены в зависимости от направленности специальности.

Теория термической обработки:

- виды термообработки, их назначение и физическая сущность процессов отжига, закалки, отпуска, старения;
- основные превращения при нагреве и охлаждении;
- кинетика аустенитного превращения;
- влияние легирующих элементов на процессы термообработки;
- термическая обработка и диаграмма состояния.

Технология термической обработки:

- характеристика технологических процессов термической обработки;
- закаливаемость и прокаливаемость сталей;

- способы термического упрочнения: (поверхностное упрочнение, термомеханическая обработка (ТМО);

- оборудование, используемое для термической обработки.

Химико-термическая обработка стали:

- принципы химико-термической обработки (ХТО);

-технология ХТО (цементация, азотирование, цианирование, нитроцементация, диффузионная металлизация и др.).

Важная тема данного раздела посвящена классификации, маркировке и особенностям применения металлических материалов различного назначения и включает следующие вопросы.

Конструкционные стали:

- требования, предъявляемые к конструкционным материалам, маркировка;

- влияние легирующих элементов на структуру и свойства стали;

- термическая обработка конструкционных сталей;

- цементируемые (низкоуглеродистые) стали, улучшаемые (среднеуглеродистые), высокопрочные, строительные, арматурные, пружинные, шарикоподшипниковые.

Инструментальные стали:

- маркировка и классификация инструментальных сталей;

- применение и особенности термической обработки сталей для режущего, штампового и измерительного инструмента.

Стали и сплавы с особыми свойствами:

- твердые сплавы;

- стали и сплавы с особыми физическими свойствами (устойчивые к температурам и средам, магнитные, с высоким электросопротивлением, с особыми упругими свойствами);

- сплавы на основе титана, никеля, кобальта, тугоплавких металлов.

Алюминий, магний, бериллий и их сплавы:

- классификация алюминиевых сплавов, их термообработка и способы упрочнения;

- сплавы магния и бериллия.

Медь и ее сплавы:

- классификация медных сплавов, их маркировка;
- структура, свойства латуней;
- бронзы, особенности их структуры, свойства.

Цинк, свинец, олово и их сплавы:

- строение сплавов на основе цинка, свинца, олова (антифрикционных сплавов);
- области применения.

Титан и его сплавы:

- свойства титана, фазовые превращения в титановых сплавах, примеси в титановых сплавах;
- термическая обработка титановых сплавов.

Подшипниковые сплавы и припои:

- требования, предъявляемые к подшипниковым сплавам, особенности структуры и свойства;
- требования, предъявляемые к припоям, особенности структуры и свойства, легкоплавкие сплавы.

Цинк и его сплавы:

- свойства цинка, промышленные цинковые сплавы;
- типографские сплавы.

Благородные металлы:

- свойства и применение золота, серебра, металлов платиновой группы и их сплавов.

Вторая часть дисциплины материаловедения содержит вопросы, касающиеся неметаллических материалов, рассматриваемых в пяти разделах, указанных в структурно-логической схеме теоретического блока «Неметаллические материалы» (рис. 2.2).

Полимерные материалы:

- строение и свойства полимеров;
- классификация полимерных материалов, группы пластмасс (термопласты, термореакты, пенопласты, пленочные материалы), их свойства и области применения.

Резиновые материалы:

- состав, классификация, способы получения, влияние разных добавок на свойства резины.

Керамические материалы, стекла:

- общие сведения, конструкционная керамика, инструментальная керамика, техническая керамика;

- общие сведения, классификация стекол по назначению, материалы и изделия из стекла;

- ситаллы.

Древесные материалы:

- строение древесины, ее достоинства и недостатки как конструкционного материала.

- методы повышения качества древесины и способы получения древесного материала.

Композиционные материалы:

- особенности строения композитов, их свойства в зависимости от вида матрицы и формы, размеров и расположения наполнителя;

- получение композитов.

Новые материалы:

- конструкционные и функциональные новые материалы;

- наноматериалы, особенности их строения и области применения.

Приведенные вопросы лежат в основе изучения науки материаловедение, задачами которой являются: установление связей между строением, свойствами материалов; разработка методов направленного изменения структуры с целью улучшения комплекса служебных характеристик; а также *создание теоретических основ и практических рекомендаций для выбора материалов конкретного назначения.*

При изучении курса «Научные основы выбора материалов» требуется знать базовые вопросы, касающиеся структурной теории материалов и технологических процессов их обработки, а также иметь общее представление об основных свойствах приведенного (неполного) ряда материалов.

Соединение знаний приведенных вопросов материаловедения с методологическими подходами научного поиска, рассмотренных в предыдущей главе, необходимо для осуществления практического выбора нужного материала, делая этот выбор научно обоснованным и эффективным.

2.2. Структурная теория материалов

Для создания новых материалов, улучшения свойств существующих и решения проблемы выбора среди множества существующих материалов необходима теоретическая основа, базирующаяся на разработках в области исследования структуры и свойств наиболее распространенных материалов.

Теоретическое содержание материаловедения может быть разбито по темам, в соответствии со схемами на рис. 4 и 5, как показано в п. 2.1. При этом стержнем дисциплины, вокруг которого развертывается содержание науки, являются следующие основные связи:

- ***состав ↔ строение***
- ***обработка ↔ строение***
- ***строение ↔ свойства***

Понимание основных связей материаловедения основывается на знании закономерностей строения. Поэтому, так важно рассмотрение в каждом разделе вопросов кристаллического строения металлических материалов, элементов дислокационного строения реальных кристаллов, особенностей строения неметаллических материалов. В наиболее общем виде ***краткие положения структурной теории***, на которых основывается большинство вопросов науки о материалах приводятся ниже:

1. Существуют *четыре типа связи* в твердых телах: металлическая, ионная, ковалентная и связь Ван-дер-Ваальса.

В металлах и сплавах определяющее значение имеет *металлический тип связи*, когда положительные ионы в узлах ре-

шетки взаимодействуют с коллективизированными электронами. Электронное строение определяет свойства металлов. Электроны, находящие на внешних оболочках (электроны проводимости) способны ускоряться в электрическом поле, что определяет электропроводность металлов.

Для неметаллов характерна ионная или ковалентная связь, обусловленная электростатическим притяжением двух разнородно заряженных ионов. *Ионная связь* – то химическая связь, основанная на электростатическом притяжении ионов. Такая связь возникает при большой разнице в электроотрицательностях связываемых атомов ($\Delta\chi > 2$), когда менее электроотрицательный атом почти полностью отдает свои валентные электроны и превращается в катион, а другой, более электроотрицательный атом, эти электроны присоединяет и становится анионом. Например, в хлориде натрия NaCl. Ионно-связанные соединения не имеют молекулярного строения и представляют собой твердые вещества, образующие ионные кристаллические решетки, с высокими температурами плавления и кипения, они высокополярны, часто солеобразны, в водных растворах электропроводны.

Ковалентная связь образуется за счёт общих электронных пар, возникающих в оболочках связываемых атомов. Она может быть образована атомами одного и того же элемента (неполярная связь). Например, молекулы газов H_2, O_2, N_2, Cl_2. Ковалентная связь может быть образована атомами разных элементов, сходных по химическому характеру, и тогда она полярная; например, такая ковалентная связь существует в молекулах H_2O, NF_3, CO_2. Ковалентная связь образуется между атомами элементов, обладающих электроотрицательным характером.

Связь Ван-дер-Ваальса характерна для молекулярных кристаллов, в которых в узлах кристаллической решетки располагаются молекулы веществ, связанные собой слабыми силами Ван-дер-Ваальса или водородной связью. Внутри молекул между атомами действует более прочная, обычно ковалентная связь. Силы взаимодействия между молекулами обусловлены незначительным взаимным смещением электронов в электронных обо-

лочках атомов. Связь Ван-дер-Ваальса является наиболее универсальной, она возникает между любыми частицами, но это наиболее слабая связь, ее энергия на два порядка ниже энергии ионной и ковалентной связи. Поэтому молекулярные кристаллы обладают низкими температурами плавления (например, парафин), большими коэффициентами теплового расширения, большой сжимаемостью, малой твердостью.

2. В зависимости от температуры и давления меняются значения свободной энергии F тела и происходит переход состояний вещества (*твердое, жидкое и газообразное*). Для начала процесса перехода из жидкого состояния в твердое (кристаллизация) необходимо, чтобы процесс был термодинамически выгоден и сопровождался уменьшением свободной энергии системы F. Механизм процесса кристаллизации заключается в зарождении центров кристаллизации и последующем их росте. При этом образуются кристаллы древовидной формы – дендриты.

Твердые тела, в отличие от аморфных и жидких, характеризуются *кристаллической решеткой* в расположении атомов (Приложение А). Наиболее распространенными среди металлов являются гексагональная плотноупакованная решетка (*Mg, Zn, Hf* и др.); гранецентрированная кубическая (*Cu, Al, Pt* и др.); объемно-центрированная кубическая (*Na, V, Nb* и др.).

Металл состоит из зерен (кристаллов). Кристаллы содержат дефекты (*точечные, линейные и поверхностные*). Наиболее важные дефекты – это линейные (дислокации) (Приложение Б). От их количества и расположения зависит поведение металлов при механической нагрузке. Дефекты влияют на структурночувствительные свойства. Например, наличие дислокаций изменяет прочность металлов. Бездефектные кристаллические металлические и керамические материалы в виде волокон и НК (нитевидных кристаллов) применяются как фаза – упрочнитель конструкционных композитов.

3. Сплав имеет сложное строение и характеризуется наличием фаз, структурных составляющих, образуемых при взаимодействии компонентов. В сплаве могут присутствовать несколь-

ко фаз. Основными фазами металлических сплавов являются: *твердый раствор, химическое соединение*, *механическая смесь* (Приложение В).

Твердыми растворами называют фазу, у которой ионы растворенного элемента расположены в кристаллической решетке растворителя. Твердые растворы разделяются на три типа: замещения, внедрения и вычитания, или твердые растворы на базе химических соединений.

Если два компонента не способны к взаимному растворению в твердом состоянии и не образуют химического соединения, создается механическая смесь. Сплав будет состоять из кристаллов каждого компонента.

В сплавах существуют электронные соединения, которые образуются в случаях, когда атомные размеры компонентов различаются мало:

- фазы Юм-Розери образуются между металлами следующих основных групп: Cu, Ag, Au, Fe, Pd, Pt – с одной стороны, и Be, Zn Cd, Al, Sn, Si – с другой. Они характеризуются определенным соотношением валентных электронов к числу атомов. Причем каждому соотношению соответствует определенная кристаллическая решетка: 3/2 – ОЦК – β фаза; 21/13 – сложная кубическая ячейка – γ фаза; 7/4 – ГПУ – ε фаза.

- фазы Лавеса образуются между элементами сплава с существенно различными размерами атомов компонентов. Встречаются как упрочняющие интерметаллидные фазы в жаропрочных сплавах.

- фазы внедрения образуют металлы переходных групп с металлоидами, имеющими малый атомный радиус (водород, азот, углерод), если их обратное отношение радиусов меньше 0,59. Эти фазы удовлетворяют условиям образования химических соединений (M_4X, M_2X и MX). Карбиды и нитриды, встречающие в сталях, являются фазами внедрения.

4. Графически сплав может быть изображен с помощью *диаграмм состояния* в координатах температура-концентрация. Вид диаграммы определяется характером взаимодействий, ко-

торые возникают между компонентами в жидком и твердом состояниях. Диаграммы состояния строятся экспериментальным путем с использованием *термического анализа* сплавов.

Диаграммы состояния позволяют получить полное представление о структуре и структурных превращениях сплавов в интервале концентраций от чистого компонента (металла, неметалла) до соединений. В зависимости от того, какая структура образовалась в результате кристаллизации сплава, различают (Приложение Г):

- диаграммы состояния с ограниченными твердыми растворами и эвтектикой (механическая смесь фаз);

- диаграммы состояния с ограниченными твердыми растворами и перитектикой (фаза, кристаллизующаяся в результате взаимодействия твердой и жидкой фаз сплава);

- диаграммы состояния с ограниченной растворимостью компонентов в твердом состоянии и полиморфными (эвтектоидными и перитектоидными) превращениями. В отличие от предыдущих случаев, здесь фазы образуются в результате распада не жидкого, а твердого раствора, т. н. вторичная кристаллизация;

- диаграммы состояния, образующие устойчивое химическое соединение.

Между типом диаграммы состояния и свойствами сплава существует закономерная связь, установленная *Н.С. Курнаковым*. (Приложение Д).

5. Особенно важной является *диаграмма состояния железоуглеродистых сплавов* (сталей и чугунов), наиболее применяемых материалов в технике (Приложение Е). С помощью этой диаграммы устанавливают фазовый состав и структуру сплавов, полученных при медленном охлаждении, что определило ее широкое использование для выбора оптимальных режимов получения и термообработки железоуглеродистых сплавов.

6. Следует учесть, что технические железоуглеродистые сплавы состоят не только из железа и углерода, но обязательно содержат постоянные примеси, попадающие в сплав в результате выплавки.

Постоянные примеси (марганец, кремний, фосфор, сера, а также газы – водород, азот, кислород) влияют на строение и свойства стали и чугунов. Марганец – полезная примесь. Марганец вводится специально для раскисления и остается в количествах 0,3–0,8 %. Марганец уменьшает вредное влияние кислорода и серы. Кремний вводится в сталь в качестве активного раскислителя и остается в ней в количестве до 0,4 %. Как полезная примесь кремний оказывает упрочняющее действие. Фосфор – вредная и крайне нежелательная примесь, имеющая сильно охрупчивающее действие. Сера – вредная примесь, вызывающая красноломкость стали – хрупкость при горячей обработке давлением. Содержание серы и фосфора в стали строго ограничивается. Водород, азот, кислород – вредные скрытые примеси. Их влияние наиболее сильно проявляется в снижении пластичности и повышения склонности стали к хрупкому разрушению.

Легирующие элементы влияют на критические точки железа и стали с получением легированных ферритного, перлитного, аустенитного и ледебуритного классов (Приложение Ж). В качестве легирующих элементов наиболее часто используют: Cr, Ni, Mn, Si, Mo, W, V, Ti, Co, Nb. Почти все легирующие элементы изменят температуры полиморфных превращений железа, температуру эвтектоидной и эвтектической реакций и влияют на растворимость углерода в аустените. Некоторые легирующие элементы способны взаимодействовать с углеродом, образуя карбиды, а также друг с другом или с железом, образуя промежуточные фазы – интерметаллиды. Легирование стали небольшими количествами (до 0,05–0,15 %) V, Ti, Nb, Zr, измельчает зерно, понижает порог хладноломкости, повышает работу распространения трещины и уменьшает чувствительность к концентраторам напряжений. Легирующие элементы повышают устойчивость мартенсита против отпуска и задерживают коагуляцию карбидов; существенно повышают прочность стали после улучшения, упрочняя ферритную основу и увеличения дисперсности карбидных частиц. Наиболее сильно упрочняют сталь Cr, Si, Mo.

Легированные стали в изделиях крупных сечений (диаметром свыше 15–20 мм) обладают лучшими механическими свойствами после термической обработки, чем углеродистые. Особенно сильно повышаются предел текучести, относительное сужение, ударная вязкость. Это объясняется меньшей критической скоростью закалки, т. е. лучшей прокаливаемостью. Кроме того, после термической обработки они имеют более мелкое зерно и более дисперсные структуры. Для достижения высокой прокаливаемости сталь легируют следующими элементами: Mn, Cr, B, Ni, Mo. По достижении необходимой прокаливаемости для данного сечения, дальнейшее увеличение в стали легирующих элементов может ухудшить механические и технологические свойства. Повысить порог хладноломкости и уменьшить запас вязкости. Исключение никель и молибден.

7. Вследствие металлического типа связи характерного для металлических материалов, они способны к пластической деформации и самоупрочнению при холодной механической обработке (наклепу). Механизмами пластической деформации являются сдвиги путем скольжения и двойникования кристаллов. Изначальный толчок механизмам пластической деформации дают перемещения дислокаций. В настоящее время разработана *дислокационная теория*, объясняющая механизмы пластической деформации и причины разрушения металлов, их упрочнения при обработке давлением и иных технологических способах. Если в металле отсутствуют дислокации, то сдвиг возможен только за счет одновременного смещения всей части кристалла. Это обуславливает прочность бездефектного металла близкую к теоретической. С ростом числа дислокаций (дефектов) прочностные свойства металла падают, однако при достижении плотности дислокаций $\rho > 10^7 см^{-2}$ происходит упрочнение из-за торможения движения дислокаций (т. н. наклеп).

Прочность, пластичность, ударная вязкость, твердость, упругость, трещиностойкость – характеризуют механические свойства металлов. Для каждого вида механической нагрузки (статической, циклической, динамической) существуют опреде-

ленные виды механический испытаний, позволяющие измерить значения тех или иных механических свойств.

8. Даже небольшой нагрев (для железа 300–400 ^{0}C) приводит к структурным изменениям металла, сопровождающие процессы *возврата* (или *отдыха*), *полигонизации*, *рекристаллизации*.

Под возвратом понимают структурные изменения, связанные со значительным снижением плотности дислокаций, их перегруппировкой. В результате перегруппировки дислокаций образуются сузерна – т. н. процесс полигонизации.

Рекристаллизацией называется процесс зарождения новых зерен в объеме деформированного материала и их последующий рост. Если возврат понижает твердость и прочность, примерно на 20–30 %, повышая пластичность, то рекристаллизационные процессы на разных стадиях развития существенно влияют на изменение механических свойств металла.

9. Для изменения свойств сплавов применяют термическую обработку. Различают следующие виды *термической обработки*: отжиг первого рода, отжиг второго рода, закалка, отпуск, старение, химико-термическая обработка, термомеханическая обработка. В их основе лежат четыре вида *фазовых превращений* в стали:

- превращение перлита в аустенит, происходящее при нагреве стали;
- превращение аустенита в перлит, при охлаждении;
- превращение аустенита в мартенсит при быстром охлаждении;
- превращение мартенсита при отпуске закаленной стали.

Превращения аустенита при различных температурах охлаждения описываются кинетическими кривыми, по которым строят *диаграмму изотермического распада аустенита* (Приложение И). Из этой диаграммы можно предсказать, какие структуры образуются в результате охлаждения с разной скоростью. При этом минимальная скорость охлаждения, необходимая для переохлажденного аустенита до мартенситного превращения, называется *критической скоростью охлаждения* ($V_{кр.}$).

Чтобы закалить сталь, ее следует охлаждать со скоростью не меньше критической. При скорости охлаждения меньше $V_{кр.}$, аустенит распадает при разных температурах на ферритоцементитные смеси перлита, сорбита, бейнита, троостита.

На практике температура термообработки определяется положением критических точек, а время нагрева складывается из времени нагрева до заданной температуры и времени выдержки при этой температуре. В процессе нагрева при высокой температуре происходит химическое взаимодействие поверхности металла с окружающей средой (обезуглероживание, окисление). Скорость охлаждения регулируется закалочными средами. Скорость охлаждения определяет окончательную структуру и свойства стали при отжиге, нормализации, закалке, обработке холодом.

10. Все виды термической обработки можно разбить на две большие группы: обеспечивающие получение стабильного и метастабильного структурных состояний. К первой группе относятся все виды отжига, ко второй – остальные способы обработки, обеспечивающие получение структур с различной степенью неравновесности. Причем вторую группу можно разделить на две подгруппы: термическую обработку, проводимую для получения объемных свойств, и термическую обработку для получения высоких свойств поверхности.

Технологические процессы термической обработки обуславливаются разновидностями режимов. При закалке скорость охлаждения распределяется по сечению неравномерно (явление *прокаливаемости*). На прокаливаемость влияет ряд факторов: состав аустенита, нерастворенные частицы, неоднородный аустенит, размер зерна аустенита. Возникающие в процессе термической обработки термические и фазовые напряжения становятся причинами брака.

Термическая обработка осуществляется в специальных термических печах, но при массовом производстве могут использоваться современные автоматические и полуавтоматические агрегаты, включенные в технологические линии машиностроительных заводов.

11. Основными способами термического упрочнения являются *термомеханическая обработка* и *поверхностная закалка* стали.

Термомеханическая обработка – совокупность операций деформации, нагрева и охлаждения, в результате которых формирование окончательной структуры и свойств материала происходит в условиях повышенной плотности и оптимального распределения несовершенств строения, созданных пластической деформацией.

Поверхностная закалка осуществляется нагревом на заданную глубину только поверхностного слоя, поэтому при последующем охлаждении закаливается только этот слой, а не все сечение детали. При этом сопротивление ударным нагрузкам обеспечивается вязкой сердцевиной.

12. При *химико-термической обработке* деталь помещают в среду, богатую элементом, который диффундирует в металл. В случае газовой среды происходят следующие процессы: диссоциация, абсорбция и диффузия. При *цементации* (разновидности ХТО) поверхность стали насыщается углеродом, а сердцевина остается мягкой и вязкой. *Азотированием* называют процесс насыщения стали азотом. Азотированный слой без последующей термической обработки, в отличие от цементации, приобретает высокую твердость, а размеры изделий после азотирования изменяются мало. Процесс одновременного насыщения стали углеродом и азотом называют *цианированием*. Это как бы комбинированный процесс цементации и азотирования: при высокой температуре больше приближается к цементации, а при низкой – к азотированию. *Диффузионная металлизация* – процесс диффузионного насыщения поверхностных слоев стали различными металлами. При насыщении хромом этот процесс называется хромированием, алюминием – алитированием, кремнием – силицированием и т. д. В последнее время ХТО достаточно широко применяется для упрочнения *неорганических стекол*, которые подвергаются закалке в подогретых кремнийорганических жидкостях, в результате чего на поверхности изделия об-

разуются полимерные пленки. Этим создается дополнительное по сравнению с результатом обычной закалки упрочнение.

Приведенные, в кратком виде, основные положения теоретического материаловедения основывается на знании закономерных связей между строением и свойствами, и составляют положения структурной теории наиболее распространенных материалов (металлов и сплавов), на которых основывается основная часть курса материаловедения. Знания о морфологии структуры позволяют оптимизировать технологические процессы получения материалов, дают объективное представление о рациональности его использования для изделия. Способы получения материала и упрочняющей обработки (главным образом, термическая обработка) как способ формирования структуры, имеют принципиальное значение в практике их применения.

В современном материаловедении, как непрерывно развивающейся науке, расширяется изучение материалов как неорганической (керамика, пластмассы и др.), так и органической (древесина, резина и др.) природы, структурная теория которых находится в процессе разработки и внедрения в учебные программы материаловедческих специальностей.

2.3. Методы исследования в материаловедении

В реализации целей любого научного исследования существенная роль принадлежит методам исследований как системе познавательных действий, позволяющих контролируемым путем получать специфические результаты.

Все основные вопросы материаловедения и теоретические положения, объясняющие явления и процессы, которые протекают в материалах под воздействием разнообразных факторов, были изучены и разработаны с помощью специальных методов исследований.

В целом, развитие науки о материалах происходит экспериментальным путем на основе использования специальных ме-

тодов изучения структуры и свойств материалов при воздействии различных физико-механических полей, материальных сред.

Подавляющее большинство существующих методов в материаловедении основано на физических принципах и разделяется на следующие группы:

1) *методы, с помощью которых определяют строение металла* и протекающих в них превращений. К ним относят:

а) структурные, использование которых позволяет непосредственно наблюдать или определять строение металлов;

б) основанные на существовании связи между строением и свойствами металлов. Они позволяют косвенно, но достаточно надежно судить о превращениях, протекающих в металлах при их обработке по изменению физических, некоторых химических и механических свойств.

2) позволяющие непосредственно определять свойства металлических материалов в тех или иных условиях эксплуатации, прежде всего, механические, а также физические и химические.

Наиболее распространенные *структурные методы* изучения материалов: металлографический, рентгенографический, метод просвечивающей электронной микроскопии и др. Эти методы позволяют изучать элементы кристаллической структуры, ее дефекты и закономерности превращений под воздействием внешних факторов (температура, давление и др.).

С помощью таких методов как нейтронография, электронография, микрорентгеноспектральный анализ, растровая электронная микроскопия, методы локального анализа состава вещества, а также новые методы резонансного исследования превращений в металлах и сплавах – получают основные данные, необходимые для построения диаграмм состояния металлических сплавов, без которых нельзя охарактеризовать их фазовый состав и строение.

Физические и химические методы, позволяющие судить о превращениях, протекающих в тех или иных металлических сплавах, существенно дополняют данные структурного исследования.

Таким образом, исходя из того, что различают *макростроение*, *микростроение* и *субмикростроение* материалов – применяют разнообразные методы исследования строения. Макроструктура (макростроение) выявляется визуально; микроструктура (микростроение) – при увеличениях, достигаемых оптическими системами; субмикроструктура – с помощью рентгеновских и электронных лучей.

Для определения свойств материалов применяют и разрабатывают специальные методы исследований с использованием соответствующей аппаратуры.

Методы исследования строения материалов (металлографический, рентгенографический, метод просвечивающей электронной микроскопии и др.) сопровождают выбор материала для получения нужных сведений по применимости в заданных условиях

Рассмотрим лишь принципиальные особенности основных методов исследования и испытания материалов, не касаясь подробно лабораторного оборудования и методик проведения, изучаемых в специальных курсах дисциплин.

Макроанализ. Макроструктурный анализ заключается в определении строения металлов при небольших увеличениях до 30 раз.

Макроанализ металлических материалов осуществляют на специальных темплетах (образцах). После травления специальными растворами шлифованной поверхности темплета выявляется кристаллическая структура, волокнистость, дендритное строение, неоднородность металла. Например, травление поперечного среза сварного шва дает возможность выявить места непровара, пузыри, зону термического влияния, трещины и т. п.

По результатам макроанализа можно судить:

- о качестве поверхности заготовки (детали) и его излома;
- определять условия предшествующей обработки (обработки давлением, сварки, термической обработки), влияющие на сплошность металла и особенности строения;

- качество литых структур после затвердевания (химическая неоднородность, дендритное строение, зона транскристаллизации);

- характер и качество обработки (волокнистость структуры), применяемое для придания детали окончательных формы и свойств.

Микроанализ. Микроструктурный анализ заключается в исследовании структуры металлов при увеличениях от 50 до 1500 раз, получаемых в металлографических микроскопах. Использование микроскопа требует знания техники приготовления шлифов. При таком увеличении можно обнаружить раздельно элементы структуры размером не менее 0,2 мкм.

Для изучения более тонких деталей структуры применяют *методы электронной микроскопии*, основанные на взаимодействии электронов с твердым телом (методы просвечивающей электронной микроскопии, растровой электронной микроскопии, рентгеноструктурные).

Применение различного излучения и микроскопов разных конструкций (оптических и электронных) требует различной специальной подготовки объектов и особых методов расшифровки наблюдаемых изображений.

В микроскопах, в зависимости от требуемого увеличения присутствующих фаз, их количества, формы и распределения, используют:

- белый свет и обычные оптические системы, являющиеся комбинацией стеклянных линз и призм (оптическая микроскопия);

- электронные лучи (поток электронов). Для получения изображения необходимо применять электромагнитные линзы, управляющие движением электронов в колонне прибора с помощью магнитного поля (электронная микроскопия). Электронный микроскоп позволяет получать изображение объектов с максимальным увеличением до 10^6 раз. Разновидностями электронных микроскопов являются просвечивающий и растровый электронный.

К *электронной микроскопии* относят методы исследования с помощью просвечивающих, растровых, эмиссионных и отражательных электронных микроскопов.

Наиболее широко применяются просвечивающие (ПЭМ) и растровые (РЭМ). В ПЭМ изображение получается с высоким разрешением, позволяющим судить о строении материала: о характере расположения частиц избыточных фаз в сплаве, о дислокационной структуре металлов и сплавов. Дифракционная картина дает сведения о природе кристаллической решетки наблюдаемых фаз. РЭМ позволяет изучать поверхности твердых тел микрозондовым методом.

Для определения параметров кристаллической структуры, анализа дефектов и фазового состава материалов применяют метод *рентгеноструктурного анализа* (РСА). Рентгеноструктурный анализ основан на явлении дифракции рентгеновских лучей.

Методами РСА по дифракционным картинам, возникающим при рассеянии рентгеновских лучей кристаллическими веществами, можно изучать расположение атомов в этих веществах, а также процессы, связанные с перестройкой атомов в кристаллах. Можно исследовать диаграммы состояний систем, определять внутренние напряжения, размеры кристаллитов, виды и количество дефектов структуры, распределение примесей и легирующих элементов в литом и деформированном состояниях. Применяют для количественной оценки параметров диффузионных процессов, например, при химико-термической обработке, на основании определений распределения концентраций по глубине диффузионного слоя.

Физико-химический анализ материалов проводится для детального изучения поведения материалов под воздействием термических, механических, радиационных и других условий и включает следующие методы исследования.

Определение температур превращений металлов. Для этой цели определяют изменение теплофизических свойств – теплосодержания (энтальпии), температуры и теплоемкости (термический и калориметрический анализы) и теплового расширения (дилатометрический анализ).

Изменение энтальпии вызывает любое изменение состояния металлов и сплавов (фазовое, внутрифазовое или структурное

превращения), сопровождающееся выделением или поглощением тепла. Измерения теплоемкости позволяют регистрировать тепловой эффект превращения, т. к. при выделении тепла теплоемкость падает, а при поглощении тепла – резко возрастает.

Термический анализ как наиболее простой используют для определения температуры превращений, протекающих в сплавах разного состава, по изменению агрегатного состояния (при кристаллизации из жидкого состояния), при полиморфных, эвтектоидных и других превращениях.

По экспериментальным данным, в процессе нагрева (охлаждения) с постоянной скоростью строят графическую зависимость изменения температуры во времени.

С помощью кривых охлаждения выявляют критические точки – точки перегиба на кривой. На основании данных термического анализа возможно построение *диаграммы состояния* для сплавов данной системы.

С помощью *дилатометрического анализа* изучают объемные эффекты, связанные с изменением размеров тел при нагреве и охлаждении, температурно-временных условий развития фазовых превращений. Его достоинство состоит в независимости от скорости охлаждения или нагрева.

В металлах и сплавах с изменением температуры, механического давления, пластической деформации, образовании твердых растворов меняются значения *удельного электросопротивления*, которое сильно зависит от концентрации дефектов кристаллической решетки. В связи с этим применяют *методы амперметрии, вольтметрии, потенциометрии*, позволяющие измерять величину сопротивления при постоянном и переменном токе.

При исследовании металлов и сплавов применяют методы измерения *магнитных свойств*. При этом для определения состава и фазового анализа, используют структурно-нечувствительное свойство – *намагниченность*.

В случае существования в сплаве магнитной фазы величина намагниченности сплава будет пропорциональна количеству фазы, а исчезновение ферромагнитных свойств соответствует температуре

Кюри фазы. Намагниченности образца пропорционально количество распавшегося аустенита, поскольку он превращается в ферромагнитную смесь феррита и цементита или мартенсит.

По намагниченности сплавов изучают диаграммы фазового равновесия, т. к. в однофазной области намагниченность насыщения монотонно изменяется с изменением концентрации компонентов, а в двухфазной области намагниченность определяется правилом аддитивности; на границе фаз наблюдается перегиб кривой зависимости намагниченности от концентрации. Определяют размер однодоменных частиц дисперсной ферромагнитной фракции.

Наиболее широко распространенные методы исследования структур показаны в табл. 21, где содержатся графы с указанием сведений, получаемых тем или иным методом, а также используемые в конкретном методе аппаратура и приборы.

Таблица 21

Методы исследования структуры материалов

Методы	Получаемые сведения	Аппаратура, приборы
Макроанализ	о качестве поверхности заготовки (и его излома); об условиях предшествующей обработки (давлением, сварки, термо-обработкой); о качестве литых структур (химическая неоднородность, дендритное строение, зона транскристаллизации); о характере и качестве финальной обработки (волокнистость структуры)	Лупа

продолжение таблицы 21

Методы	Получаемые сведения	Аппаратура, приборы
Микроанализ: Оптическая микроскопия Электронная микроскопия (дифракционный, фрактографический анализы)	об основных структурных составляющих (фазах), их количестве, морфологии и распределении, степени дисперсности; о размере зерен; о форме, размере и распределении включений	Металлографический микроскоп, установки для высокотемпературной металлографии
Рентгеноструктурный, рентгеноспектральный анализы	о механизмах фазовых превращений (мартенситных, распаде пересыщенных твердых растворов, дисперсных частицах избыточной фазы); о строении границ, о процессах пластической деформации (дислокационной структуре) и разрушения (строении изломов); о рекристаллизации, о структурных проявлениях радиационных повреждений; о тонкой (локальной) химической неоднородности сплавов	Просвечивающий электронный микроскоп (ПЭМ), растровый (сканирующий) микроскоп (РЭМ)
	о параметрах кристаллической структуры и его дефектах (дислокациях, дефектах упаковки); о фазовом со-	Рентгеновские аппараты, рентгеновские дифрактометры, рентгеновские микроанализаторы

	ставе, текстуре, зональных напряжениях сложно-компонентных и многофазных металлических сплавов; об атомной структуре частично упорядоченных и некристаллических объектов (металлические стекла)	
Физико-химический анализ (химический, спектральный, термический, калориметрический, дилатометрический, резистометрический анализы)	о химическом составе структурной основы и включений; о полиморфных, эвтектоидных и др. превращениях в сплавах разного при кристаллизации из жидкого состояния; об изменениях теплофизических свойств – теплосодержания (энтальпии), теплоемкости, теплового расширения при нагреве и охлаждении, температурно-временных условиях протекания фазовых превращений: об электрических и магнитных свойствах	Установки для определения тепловых свойств, дериватограф, дилатометр, амперметр, вольтметр, магнетометр, анизометр

Испытания для определения физико-химических и механических свойств в конкретных условиях эксплуатации предназначены для получения количественных оценок.

Изучение физических (плотность, электропроводимость, теплопроводимость, магнитная проницаемость и др.), механических (прочность, пластичность, твердость, модуль упругости и др.), технологических (жидкотекучесть, ковкость, обрабатываемость резанием и др.), эксплуатационных свойств (сопротивление коррозии, изнашиванию и усталости, жаропрочность, хладостойкость и др.) позволяет определять области рационального использования различных материалов с учетом экономических требований

Определение физических свойств. По изменению физических свойств судят об изменении фазового состава сплавов и о протекании структурных превращений. Из физических методов, применяемых для выявления фазового состава сплавов и кинетики его изменения, наиболее широко используют метод определения электрических и магнитных свойств, которые являются структурно-чувствительными. Структурно-нечувствительные физические свойства широко используют в металловедении при изучении кинетики фазовых превращений, т. к. они позволяют с высокой точностью фиксировать изменение состава фаз и количественного соотношения между ними.

В науке о материалах обобщаются данные технических и технологических испытаний материалов, которые связываются с особенностями строения материалов.

В результате *механических испытаний*, в зависимости от типа испытаний и задаваемых характера нагружения, скорости, температуры и состояния внешней среды, а также возникающих при этом в образце вида напряженного состояния, определяют *механические свойства* металлов данного состава и обработки.

Для каждого вида нагружения проводят определенный вид испытаний: статические, динамические, циклические.

К статическим испытаниям относят испытания на твердость, на растяжение и сжатие, изгиб, кручение, ползучесть. Наиболее распространенным видом испытаний для оценки механических свойств металлов и сплавов являются *испытания на*

растяжение. По результатам этих испытаний определяют сразу несколько важных механических характеристик (прочностные, пластические и характеристики вязкости).

К динамическим испытаниям относят *испытания на ударную вязкость*. Динамические испытания применяют для выявления склонности металлов к хрупкому разрушению. Стандартизированы и наиболее распространены ударные испытания на изгиб образцов с надрезом. Скорости деформирования при динамических испытаниях на несколько порядков больше, чем при статических. Это и определяет особенности пластической деформации и разрушения.

К циклическим испытаниям относят усталостные испытания. Задача усталостных испытаний – дать количественную оценку способности материала работать в условиях циклического нагружения без разрушения.

Для того чтобы приблизить результаты испытаний к реальным условиям эксплуатации металла в конструкции и получить цифры, характеризующие конструктивную прочность, стали применять испытания на растяжение с концентраторами (надрезами). В случае вязкого разрушения в результате значительной местной пластической деформации и местного сильного упрочнения прочность образца с концентратором всегда выше, чем гладкого. Поэтому при вязком разрушении получаются завышенные значения прочности. В случае хрупкого разрушения надрезанный образец имеет значительно меньшую прочность. Поэтому значения прочности ненадежные и нестабильные. Для установления степени надежности металла определяют сопротивление разрушению (вязкость разрушения) или трещинообразованию.

Для определения работоспособности материала детали в условиях эксплуатации проводят *испытания на износ*. Износ оценивают по изменению размеров (линейный износ), уменьшению объема или массы (объемный или массовый износ). При выборе материала необходимо учитывать, что критерии его износостойкости зависят не только от свойств поверхностного

слоя материала, но и в сильной степени от условий его работы. Износостойкость материала при заданных условиях трения, как правило, определяется экспериментальным путем.

Для определения *склонности к коррозии* (т. н. межкристаллитной коррозии) проводят стандартные испытания химическими методами, основанными на длительном (от 8 до 240 ч) кипячении в определенных агрессивных средах. Существуют ускоренные электрохимические испытания сталей на склонность к коррозии, которые базируются на определении плотности анодного тока при постоянном потенциале, формы анодных потенциометрических кривых и др.

При выборе материала для работы при повышенных температурах и длительных нагрузках определяют его *жаропрочность*. Критериями жаропрочности являются предел ползучести и предел длительной прочности, для их определения существуют испытания на ползучесть (когда образец подвергается воздействию постоянной растягивающей нагрузки и постоянной температуры при фиксировании деформации образца во времени) и на длительную прочность (образец доводят до разрушения под действием постоянной растягивающей нагрузки при постоянной температуре).

Для оценивания *хладостойкости* материала в условиях пониженных температур (от 0 до –269 ^{0}C) эксплуатации определяют температуру, при которой ударная вязкость не менее 0,3 МДж/м^2. Кроме этого, критерием основания выбора материала служат показатели прочности, физические и технологические свойства, совместимость с окружающей средой, стоимость материала. Важным критерием хладостойкости является критерий вязкости разрушения.

Таблица 22

Методы исследования свойств материалов

Методы	Получаемые сведения	Аппаратура и оборудование
Измерения физических свойств	Об изменениях магнитных свойств (магнитной восприимчивости в парамагнитных/ диаманитных сплавах, намагниченности насыщения, коэрцетивной силы в ферромагнетиках)	Установки, магнетометр, анизометр
Дефектоскопии (ультразвуковой, радиационный, магнитный	о дефектах без разрушения изделий	Ультразвуковой дефектоскоп, индукционный метод
Определения микротвердости	о твердости структурных составляющих материала	Прибор Виккерса
Определения мех. свойств: статический, динамический методы определения модуля упругости;	о модуле Юнга, коэффициенте Пуассона;	Ультразвуковая установка
методы Бринелля, Роквелла	о величине твердости (HB, HRC, HV)	
статические методы испытания	о сопротивлении пластической деформации (пределы упругости, текучести, прочности); о сопротивлении разрушению (работа разрушения); о пластичности	Приборы Бринелля, Роквелла Машины для испытаний на растяжение, сжатие, кручение, изгиб
длительные статические испытания		
динамические методы испытания	о ползучести; тепловой хрупкости	Машины для испытаний при повышенных температурах и деформации

циклические методы испытания		Маятниковый копер
определение сопротивления разрушению	о склонности материала к хрупкому разрушению (ударная вязкость, температурный порог хладноломкости) об усталостных свойствах материала (предел усталости, предел выносливости) о способности сопротивляться росту трещин	Машины для испытаний на усталость Испытательные маш. на трещиностойкость
Специальные методы: испытания на коррозиионную стойкость (гравиметрический, магнитометрический, объемнометрический методы); испытания на износ	о коррозионной устойчивости материалов в разных средах об износостойокости и фрикционных свойствах пар трения	Установки и приборы (потенциостат, полярограф) Машины на трение

Большинство методов исследований материалов содержат погрешности измерений – отклонений от истинного (действительного) значения измеряемой величины – которые колеблются в определенных, зачастую довольно узких пределах. Поэтому методы исследования предполагают применение *математических методов обработки* полученных результатов с оценкой величин погрешностей измерений.

Таким образом, поскольку выбор материала конкретного назначения определяется его структурой и свойствами, важно знать методы их исследования и уметь использовать соответст-

вующую аппаратуру, математическую обработку полученных данных (табл. 21 и 22).

К методам изучения структуры относятся: металлографический, рентгенографический, метод просвечивающей электронной микроскопии и др. Испытания для определения физико-химических и механических характеристик в конкретных условиях эксплуатации предназначены для получения количественных оценок свойств материала.

2.4. Системы классификации технических материалов

Число материалов, применяемых в технике, исчисляется тысячами и постоянно растет в соответствии с возникающими новыми и разнообразными требованиями многих отраслей промышленности. Эти материалы по одному признаку, одинаковому для всех, охарактеризовать весьма сложно, т. к. их свойства и назначение различны. В этой связи существуют разные системы классификации материалов по разным признакам. Так, например, классификации материалов по этапу переработки (табл. 23), создание которой связано с тем, что в ходе процесса переработки кроме целевого продукта, как правило, образуются отходы. Однако то, что считается отходами для одного производственного цикла, может служить сырьем для другого. В этом случае такие материалы являются вторичным сырьем.

Таблица 23

Классификация материалов по этапу переработки

Материал (объект)	Пример	Вторичное сырье
Объект природы	Растущее дерево	-
Первичное сырье	Бревно	Ветки
Полуфабрикат	Доска нестроганная	Опилки
Готовый продукт	Доска строганная	Стружки, обрезки

Примеры других возможных систем классификации материалов приведены в табл. 23–29.

Таблица 24

Классификация материалов по их назначению

Виды материалов	Примеры материалов
Конструкционные	Бетон
Электротехнические	Провода, сердечники трансформаторов
Триботехнические (используемые в узлах трения)	Смазки
Инструментальные	Стальные резцы для токарного станка
Рабочие тела	Вода рек на гидроэлектростанциях, тормозная жидкость
Топливо/окислитель	Ацетилен/ кислород (пламя для сварки металлов)
Технологические (вспомогательные)	Клеи, герметики

Таблица 25

Классификация материалов по наиболее важным для определенных условий свойствам или их совокупности

Свойство	Примеры материалов
Электропроводимость	Проводники, полупроводники, диэлектрики
Магнитная восприимчивость	Диа-, пара-, ферромагнетики
Теплопроводность	Теплоизоляционные материалы, огнеупоры
Коррозионная устойчивость	Покрытия, легирующие добавки

Таблица 26

Классификация материалов по условиям применения

Условия применения материала	Примеры материалов
Время	Матрица для захоронения ядерных отходов
Температура	Огнеупорные кирпичи
Среда	Коррозионная защита
Электрическое и магнитное поля	Провода, сердечники трансформаторов
Электромагнитное и корпускулярное излучения	Защита ядерных реакторов
Давление	Сталь для изготовления баллонов
Большая скорость, ускорение	Корпус космического корабля

Выделяют классификационные уровни по структурным признакам в зависимости от уровней организации вещества (табл. 27–29). Так, например, существует классификация по макроструктуре (агрегатному состоянию):

Газы – тела, не имеющие постоянных форм и объема
Жидкости – тела, не имеющие постоянной формы, но имеющие постоянный объем
Твердые тела – тела, имеющие постоянные форму и объем
Жидкие кристаллы, ленки и покрытия, микро- и наноструктуры – переходные форы, обладающие признаками различных агрегатных состояний

Таблица 27

Классификация твердых материалов по количеству фаз и масштабу неоднородностей структуры

Виды материалов	Примеры материалов
Простые, образованные одним веществом	Стекло, чистые металлы, гипс
Сплавы – материалы с однородной структурой, образовавшиеся в результате затвердевания расплава химически разнородных веществ	Эвтектические сплав – многофазные системы (Sn-Pb); Сплавы/твердые растворы – однофазные системы (Au-Cu)
Композиты – многофазные материалы с неоднородной макроструктурой	Бетонный блок с арматурой

Таблица 28

Классификация твердых материалов по микроструктуре

Твердые тела				
Кристаллические		Некристаллические		
Монокристаллы	Поликристаллы (поликристаллич. порошок)	Стекла	Частично упорядоченные	Аморфные тела (аморфный порошок)
Ювелирный алмаз (бриллиант)	Мел, металлы и сплавы	Оконное стекло, полимеры	Каучуки, резина, биополимеры	Сажа, аморфные полупроводники и сплавы
Характеризуется ориентированным дальн. порядком	Характеризуется неориентирован. дальним порядком	Дальний порядок отсутствует, т. е. имеется только ближний порядок в расположении структурных единиц вещества материала		

Таблица 29

Классификация материалов по атомно-молекулярной структуре

Структурные единицы вещества материала					
Атомы	Ионы		Молекулы	Макромолекулы	
Алмаз	NaCl		Лед (вода)	Полиэтилен	
Типы связей между структурными единицами вещества материала					
Ковалентная связь		Ионная связь	Металлическая связь	Водородная связь	Ван-дер-Ваальса
Неполярная	Полярная				
Алмаз (С)	Карбид кремния (SiC)	Хлорид натрия (NaCl)	Медь, железо, металлические сплавы	Лед (H_2O)	Сухой лед(CO_2)

Для наиболее широко применяемых металлических материалов обычно используют классификацию *по химическому составу*, указывая главный компонент сплава (*Fe, Cu, Al* и т. д.), чтобы распределить сплавы на небольшое число основных классов:

- стали;
- чугуны;
- медные сплавы;
- алюминиевые сплавы;
- магниевые сплавы;
- титановые сплавы;
- оловянистые и свинцовистые подшипниковые сплавы.

Указанные сплавы, в свою очередь, распределяют в группы и подгруппы. Распределение внутри групп или подгрупп сделано чаще всего *по признаку применения* сплава в технике, а в некоторых случаях – по химическому составу или свойствам.

Б.Н. Арзамасовым предложена классификация конструкционных материалов (как металлических, так и неметаллических) *по свойствам*, определяющим выбор материала для конкретных деталей конструкций. Каждая группа материалов оценивается соответствующими критериями, обеспечивающими работоспо-

собность в эксплуатации. В соответствии с выбранным принципом классификации все конструкционные материалы подразделяются на следующие группы:

1. Материалы, обеспечивающие жесткость, статическую и циклическую прочность (стали).
2. Материалы с особыми технологическими свойствами.
3. Износостойкие материалы.
4. Материалы с высокими упругими свойствами.
5. Материалы с малой плотностью.
6. Материалы с высокой удельной прочностью.
7. Материалы, устойчивые к воздействию температуры и рабочей среды.

Учитывая существующее разделение дисциплины «Материаловедение» на две части: металловедение и неметаллические материалы, рассмотрим принципы классификации отдельно для металлических и неметаллических материалов, а также области их применения (Приложения М, У, Ф, Ц, Ч, Ш).

Классификация сталей

В зависимости от назначения стали объединяют в три большие группы: конструкционные, инструментальные и стали с особыми свойствами.

Конструкционные стали применяют для изготовления деталей машин, строительных конструкций и сооружений. Их маркируют по химическому составу: содержание углерода соответствует в обозначении сотым долям процента (Приложение К). Комплекс механических свойств конструкционных сталей улучшается за счет совместного воздействия термообработки и легирующих элементов. Конструкционные стали классифицируют по следующим признакам.

По химическому составу:

- *углеродистые*;
- *легированные – строительные* (Ст3, Ст4, 14Г2, 14ХГС) – для сварных конструкций; *высокопрочные* (30ХГСНА,

40ХГСН3ВА) – для силовых сварных конструкций, деталей фюзеляжей, шасси; *мартенситостареющие* (03Н18К9М5Т, 03Н12К15М10) – для наиболее ответственных деталей в авиации, ракетной технике, судостроении, приборостроении; *цементуемые* (15Х, 20ХН3А, 18ХГТ) – для зубчатых колес, кулачков; *улучшаемые* (40Х, 20ХГС, 30ХН2МФ) – для ответственных деталей, валов, штоков, шатунов; *рессорно-пружинные* (60С2, 50ХФА); *шарикоподшипниковые* (ШХ15, ШХ15ГС); *для отливок* (15Л, 20ГЛ, 35НГМЛ);

По качеству:

- *обыкновенного качества* с содержанием *S, P* до 0,055 % – Ст1 – Ст6, Ст2кп – поставляемые по механическим свойствам, БСт3кп – поставляемые по химическому составу и в дальнейшем подвергаемые термообработке, ВСт3пс, ВСт4сп – поставляют по химическому составу и механическим свойствам. Применяют для ограждений, труб, заклепок, балок, листов для холодной штамповки, крюков, гаек, рычагов, деталей сельскохозяйственного машиностроения;

- *качественные* с содержанием вредных примесей ≤0,04 % – 08 кп, 10 кп, 30 пс, 45, 60, 45Х и др. Применяют для штамповочных листов, осей, валов, втулок, шестерен;

- *высококачественные* с содержанием *S, P* до 0,025 % – У10А;

- *особо высококачественные* с содержанием *S, P* до 0,015 % – А40Г, А12, А20 (автоматные). Применяют для изготовления на автоматах винтов, болтов, гаек;

По степени раскисления (степени удаления из жидкого металла кислорода с помощью *Mn, Si, Al*):

- *спокойные* (сп);

- *полуспокойные* (пс);

- *кипящие* (кп) – низкоуглеродистые, раскисленные только *Mn*, с повышенным содержанием газов, дешевые;

По структуре в отожженном состоянии:

- *доэвтектоидны*е (с избыточным ферритом) – углеродистые;

- *эвтектоидные* (со структурой перлита) – углеродистые;
- *аустенитные* – легированные;
- *ферритные* – легированные;

По прочности:

- *стали нормальной или средней прочности* (до 1000 МПа);
- *повышенной прочности* (до 1500 МПа);
- *высокопрочные* (больше 1500 МПа).

Инструментальные стали используются для обработки материалов давлением. Их классифицируют также по разным признакам.

По химическому составу инструментальные стали являются преимущественно *легированными*. Часть углеродистых сталей – *качественные*. *По применению* инструментальные разделяют на стали для режущего, штампового и измерительного инструментов. Часто классифицируют инструментальные стали *по теплостойкости* как свойству, определяющему их основные особенности, химический состав и область назначения. По этому признаку различают: *нетеплостойкие*, *полутеплостойкие*, и *теплостойкие*. Внутри каждой группы инструментальные стали дополнительно различают по механическим свойствам: *стали высокой твердости и стали повышенной вязкости*.

Стали для режущих инструментов:

- *углеродистые инструментальные стали* – У7, У8, У8А – применяют для инструментов ударного действия – пуансоны, керны, зубила, кузнечные штампы; У9, У13 – применяют для сверл, разверток, фрез, плашек, напильников;
- *легированные инструментальные стали* – Х5, 7ХФ, 9ХС, 6ХВГ, 9ХС – для ударного и режущего инструмента; ХВ5 – алмазная сталь для разверток, резцов, граверного инструмента;
- *быстрорежущие стали* – Р18, Р9, Р12Ф3, Р9М4К8 – работают при больших скоростях резания.

Стали для измерительного инструмента (калибров, шаблонов, линеек):

- *высокоуглеродистые* – У12;
- *хромистые* - Х9, Х12Ф1

Стали для штампового инструмента:

- *стали для штампов холодного деформирования* – У10, У12 – для небольших размеров до 25 мм, 9ХС, Х12М – с хорошей прокаливаемостью; ХС4, 5ХНМ, 5ХГМ – с большой вязкостью;

- *стали для штампов горячего деформирования* – 5ХНМ, 5ХНВ, 5ХНТ – для больших ударных нагрузок, 4ХВ2С – термостойкие.

В особую группу инструментальных материалов входят *твердые сплавы* на основе карбидов тугоплавких металлов, связанных кобальтом, легированной сталью или же жаропрочным сплавом на основе никеля. Их применяют для инструмента, работающего на особо высоких скоростях резания.

Стали (и сплавы) с особыми свойствами:

- *коррозионностойкие* – 12Х13, 30Х13, 12Х18Н9Т, 10Х14АГ15 и др. Основным легирующим элементом против коррозии в окислительных средах является *Cr*, который образует пленку Cr_2O_3 при содержании *Cr*>12,5 %. *Ni* повышает коррозионную стойкость, *C* – понижает коррозионную стойкость, при содержании <0,02 % коррозии не наблюдается. Подвергаются закалке с 1000–1100 ^{0}С. Применяют для изделий, работающих в агрессивных средах: хирургических инструментов, оборудовании химической, пищевой, легкой промышленности;

- *жаростойкие* – 15Х25Т (окалиностойкая до 1100–1150 ^{0}С), 15Х28, 36Х18Н25С2 и др. Сопротивляются газовой коррозии при высоких температурах в течение длительного времени. Жаростойкость повышается за счет легирующих элементов *Cr, Al, Si,* образующих на поверхности оксиды Cr_2O_3, Al_2O_3, SiO_2 – плотные тугоплавкие пленки, препятствующие проникновению O_2 в глубь изделия. Окалина – это оксид, который пропускает O_2 (например, *FeO*). Применяют для деталей нагревательных печей, работающих в окислительной газовой среде при 500–550 ^{0}С.

- *жаропрочные* – способные сопротивляться пластической деформации и разрушению при высоких температурах. 15ХМФ, 12Х2Мб, 40Х9С2 (котельные, перлитного и ферритного классов) – применяют при 350–500 ^{0}С; 17Х18Н9, 12Х18Н12Т (аусте-

нитного класса) – применяют при температурах >500 ^{0}С для паровых котлов, лопаток турбин, сопел; ХН60Ю, ХН78Т – на основе никеля применяют при температурах 700–900 ^{0}С.

- *сплавы с особыми магнитными свойствами* (ферромагнетики) имеют определенные магнитные характеристики M_S, B_S, λ_S, K и θ, зависящие от химического состава, и характеристики μ, H_C, B_r, H – зависящие еще и от вида термической обработки. Материалы, которые намагничиваются в слабых магнитных полях ($H \leq 5 \cdot 10^4$ А/м вследствие большой магнитной проницаемости (μ) и малых потерь на перемагничивание, называют *магнитно-мягкими* (железо, нелегированные – 10895, 20895, 10864, 20848 и легированные –1411, 1511, 2011, 2311, 3411, электротехнические стали). Их применяют для изготовления сердечников катушек, электромагнитов, трансформаторов, динамомашин. *Магнитно-твердые* материалы (*Fe-Ni-Al*, ферриты бария и кобальта, хромко, викаллой, кунико, кунифе, платинакс, стали –ЕХ3, ЕХ5К5 и др.) используют для изготовления постоянных магнитов. Они намагничиваются в сильных полях, имеют большие потери при перемагничивании, остаточную индукцию (B_r) и коэрцитивную силу (H_C);

- по электрическим свойствам материалы подразделяются на *проводники* (чистовые *Cu, Al, Fe*, биметаллический провод, припои на основе *Sn, Pb, Zn, Ag*), *полупроводники* (бор, углерод-алмаз, кремний, германий, олово, фосфор) и *диэлектрики* (керамик, пластмассы). Различаются они по величине удельного электрического сопротивления, по характеру зависимости его от температуры и по типу проводимости. Проводники имеют значения удельного электросопротивления в пределах от 10^{-8}–10^{-5} ом·м, которое с ростом температуры увеличивается. Их используют для проводников постоянного и переменного тока, резисторов, нагревательных элементов, контактов и т. п.

Для приведения в систему существующих марок сталей можно строить собственные классификационные схемы с учетом структуры, свойств, режимов обработки материалов. Возможны варианты построения неполных схем, охватывающих

лишь отдельные группы материалов. При этом важно учитывать ряд сведений, как например:

- самый распространенный вид стали, применяемый в строительстве зданий и мостов, – это *конструкционная сталь*, содержащая 0,1–0,25 % углерода и легирующие элементы, такие, как марганец и кремний, в количествах менее 1 %. Предел текучести таких сталей свыше 250 МПа, предел прочности при растяжении свыше 450 МПа. Относительное удлинение, как правило, больше 20 %. Тонколистовые стали для автомобильных кузовов и бытовой техники содержат лишь около 0,05 % углерода. Они менее прочны, нежели конструкционные стали, но более пластичны, что позволяет обрабатывать их методами холодного штампования и высадки. В процессе формообразования их прочность повышается (деформационное упрочнение), чем компенсируется влияние пониженного содержания углерода. Содержание примесей контролируется, в частности, содержание серы и фосфора поддерживается на уровне ниже 0,02 %, при котором эти элементы не снижают вязкости и пластичности материала;

- *легированные стали* – это стали с добавкой элементов, улучшающих те или иные свойства: прочность, ударную вязкость, сопротивление ползучести или коррозионную стойкость. Закаленные и отпущенные стали применяются для аэрокосмических и автомобильных деталей, крупных турбин, скальпелей и ножей, режущего инструмента и других изделий, от которых требуется высокая прочность. Отдельную группу составляют нержавеющие стали. Такие стали содержат много хрома (обычно свыше 12 %) и могут содержать другие легирующие элементы, например никель и молибден. Они обладают повышенной коррозионной стойкостью. Типичная область их применения – химико-технологическая аппаратура, оборудование пищевой промышленности и всевозможные декоративные металлические изделия. Нержавеющие стали представляют собой сложные сплавы, и некоторые из них могут быть термообработаны для высокой прочности. Они применяются в виде отливок, а также

полуфабрикатов, получаемых формообразованием в холодном или нагретом состоянии – листового проката, толстых листов, труб, прутков и проволоки;

- *инструментальные стали* содержат много углерода (0,8–2,0 %) и достаточно много легирующих элементов для образования не только твердого мартенсита, но и твердых карбидов. Типичные легирующие элементы таких сталей – хром, молибден, вольфрам и ванадий. Инструментальные стали обычно термообрабатываются для высокой прочности. Некоторые из инструментальных сталей, т. н. быстрорежущие, способны сохранять свою твердость в режущих инструментах до температур, достигающих 600 °С. Содержание легирующих элементов в инструментальных сталях обычно выше, чем в любых других легированных сталях. Прочность на растяжение таких материалов составляет 1400–2800 МПа. Ударная вязкость инструментальных сталей, как правило, низка;

- *жаростойкие (окалиностойкие) сплавы*. Эта группа сталей отличается высоким содержанием хрома, молибдена или никеля и применяется в паровых котлах, газотурбинных установках, авиационных двигателях, печах и печных конвейерах – всюду, где температура может составлять 400–1400 °С. Самой важной характеристикой таких сталей является сопротивление ползучести при высоких температурах. Большое значение имеет также сопротивление окислению (окалиностойкость).

Чугуны

Чугун – наиболее распространенный материал для изготовления отливок благодаря хорошим технологическим свойствам и относительной дешевизне. Область его применения расширяется вследствие непрерывного повышения его прочностных и технологических свойств, а также разработки новых марок со специальными физическими и химическими свойствами. Обычно их делят *по структуре* на *белые* и *серые*.

Серый чугун, содержащий 3,5–4 % углерода, около 1 % кремния и столько же марганца, – самый распространенный в

мире литейный материал, применяемый для изготовления блоков и головок цилиндров, редукторных корпусов, тормозных барабанов, станин металлорежущих станков и многих других изделий. Серые чугуны *по химическому составу* разделяют на *обычные* и *легированные* (по аналогии со сталями). Классификация структур чугунных отливок перлитно-ферритного класса по перлиту, графиту и фосфидной эвтектике регламентирована ГОСТами. Существуют ГОСТы на примерный химический состав, свойства и назначение отливок из серого чугуна с пластинчатым графитом; из высокопрочного чугуна с шаровидным графитом; на состав, свойства и назначение жаропрочного, жаростойкого, коррозионностойких, антифрикционных чугунов.

Белый чугун представляет собой более твердую форму серого с содержанием 2,5 % углерода, менее 1 % кремния и менее 1 % марганца. Углерод входит в состав чугуна в виде карбидов (цементита). Белый чугун весьма тверд, но, как и серый, малопластичен. Он используется в основном в качестве износостойкого материала, например для шаров и броневых плит мельниц, размалывающих минералы. Белый чугун можно термообработкой превратить в т. н. ковкий чугун.

Ковкий чугун гораздо более пластичен, чем серый и белый, но менее прочен и не так тверд. Ковкие чугуны применяются в основном для сложных отливок, таких, как трубопроводная арматура, цепи, крепеж для строительных лесов.

Высокопрочные чугуны получают из серых путем модифицирования их кристаллической структуры для получения шаровидного графита. Чугун с шаровидным графитом широко применяется в автомобильной промышленности (коленчатые и распределительные валы, кронштейны, ступицы, суппорты тормозных систем, шестерни главной передачи и т. д.), в металлургии (изложницы), в тяжелом машиностроении (детали турбин, прокатные валки), в транспортном и сельскохозяйственном машиностроении.

Цветные металлы и их сплавы

Цветные металлы и их сплавы широко применяются в технике, они обладают, в большинстве случаев, большой пластичностью, малой твердостью, относительно низкой температурой плавления, для них характерно отсутствие полиморфизма. Цветные металлы подразделяют на:

- *легкие металлы* – бериллий, магний, алюминий, обладающие малой плотностью. Металлом с небольшой плотностью является титан;

- *благородные металлы* – серебро, золото, металлы платиновой группы (платина, палладий, иридий, родий, осмий, рутений). К ним можно отнести и «полублагородную» медь. Они обладают высокой устойчивостью против коррозии;

- *легкоплавкие металлы* – цинк, кадмий, ртуть, олово, свинец, висмут, таллий, сурьма и элементы с ослабленными металлическими свойствами – галлий, германий. На основе свинца, олово, цинка получают антифрикционные сплавы – баббиты.

Медь и ее сплавы

Поскольку медь довольно легко восстанавливается из руды, она явилась одним из первых металлов, которыми научился пользоваться человек. Это произошло, по-видимому, в 4000 г. до н. э. У меди высокая электропроводность, и она была первым материалом, примененным для передачи электричества. Она до сих пор широко применяется в бытовой электропроводке и электрооборудовании. Предел текучести чистой меди составляет около 170 МПа, а прочность на растяжение – около 280 МПа; относительное удлинение обычно превышает 35 %. Холодная прокатка и волочение повышают указанные характеристики меди. Жесткость меди примерно вдвое меньше, чем стали.

Медные сплавы могут быть *литейными* и *деформируемыми*, *термически упрочняемыми* и *неупрочняемыми*. *По химическому составу* их подразделяют на *латуни* и *бронзы*. В сплавах с цинком, называемых латунями, содержание цинка составляет от 2 до 45 %. Прочность латуней, как правило, повышается с

увеличением содержания цинка. Весьма распространена т. н. патронная латунь с 30 % цинка. В зависимости от структуры при комнатной температуре латуни разделяются на α-латуни (содержат меди не менее 61 %) и α+β-латуни (содержат 55–61 % *Cu*). Цинк повышает прочность и пластичность сплава. Максимальной пластичностью обладает сплав с 30 % *Zn*. Латунь легко поддается пластической деформации.

Среди сплавов меди с другими элементами (бронзы), выделяют *оловянистые*, *алюминиевые*, *кремнистые*, *бериллиевые*, *свинцовистые бронзы*. Оловянистая бронза превосходит другие малой величиной усадки. Содержание олова в бронзах – от 2 до 30 %. Высокопрочные медные сплавы содержат алюминий, кремний или бериллий. Алюминиевая – превосходит по механическим свойствам, химической стойкости, кремнистая – по жидкотекучести. Бериллиевая бронза отличается высокими твердостью и упругостью. Свинцовистая бронза, содержащая 30 % *Pb,* является высококачественным антифрикционным материалом. Широко применяемые сплавы меди – с никелем или с никелем и цинком. Такие сплавы типа нейзильбера отличаются высокой коррозионной стойкостью, а также прочностью и предпочитаются инженерами за их коррозионную стойкость в таком оборудовании, как теплообменники, перегонные аппараты, испарители, конденсаторы и трубопроводы. В бытовых системах для горячей воды часто используются медные трубки.

Алюминий и его сплавы

Чистый алюминий широко применяется там, где важное значение имеет высокая электропроводность, например, в проводах для линий электропередачи (ЛЭП). Алюминиевые сплавы пригодны также для опор ЛЭП, поскольку конструкции, выполненные из таких сплавов, стойки к атмосферной коррозии.

Технические алюминиевые сплавы подразделяют на две группы: *применяемые в деформированном виде* (прессованном, катаном, кованом) и *в литом*. Границу между сплавами этих групп определяет предел насыщения твердого раствора при эв-

тектической температуре. В соответствии с диаграммой состояния изменение технологических свойств показывает, что сплавы с содержанием компонента меньше предела растворимости при высокой температуре обладают наибольшей пластичностью и наименьшей прочностью при высокой температуре, следовательно, хорошо подвергаются горячей обработке. Наличие эвтектической структуры резко уменьшает пластичность. Металлы, кристаллизующиеся при постоянной температуре (чистые металлы, эвтектические сплавы) имеют наибольшую жидкотекучесть. От температурного интервала кристаллизации зависит общий объем литейных пор. Все литейные сплавы могут упрочняться с помощью термической обработки. Степень упрочнения будет зависеть от степени легирования, т. е. количества эвтектики.

Деформируемые сплавы подразделяют на упрочняемые (дюралюмин) и не упрочняемые (сплавы систем *Al-Mn, Al-Mg*) термической обработкой. Термическая обработка дюралюминовых сплавов заключается в закалке примерно с 550 ^{0}С в воде с последующим естественным старением, т. е. с выдержкой при комнатной температуре в течение 5–7 сут.

Сплавы, упрочнение которых термической обработкой не удается, обычно содержат кремний, магний и марганец. Сплавы же, упрочняемые термической обработкой, содержат медь, цинк и определенные сочетания магния с кремнием. Предел текучести сплавов, не упрочняемых термообработкой, составляет 50–280 МПа, а их прочность на растяжение лежит в пределах от 100 до 350 МПа. Предел текучести термообрабатываемых сплавов может превышать 500 МПа, а прочность на растяжение – 550 МПа. Термообрабатываемые сплавы (из которых наиболее известны дюралюмины и авиаль) чаще всего применяются в аэрокосмической промышленности, где требуется высокая прочность при малой массе. Но алюминиевые сплавы широко применяются и практически во всех транспортных средствах – легковых автомобилях, автобусах, железнодорожных вагонах и даже морских и речных судах.

Магний и его сплавы

Как и алюминий, магний широко применяется в промышленности благодаря своей низкой относительной плотности (около 1,7, меньше, чем у алюминия). Он часто применяется в виде отливок, и в этом случае его предел текучести составляет от 85 до 140 МПа, а прочность на растяжение – от 140 до 280 МПа. У магниевого проката (прутка, профилей, листа) предел текучести и прочность на растяжение несколько выше.

Магниевые сплавы менее пластичны, чем алюминиевые и медные (относительное удлинение составляет 4–15 %). Магниевые сплавы, как и алюминиевые, подразделяют на *деформируемые* и *литейные*. В качестве легирующих добавок используют алюминий, цинк и марганец.

В магниевых сплавах эффект старения невелик, поэтому ограничиваются закалкой, при которой за счет гомогенизации и растворения пограничных выделений повышаются пластические свойства при одновременном повышении прочностных.

Наиболее важная область их применения – аэрокосмическая промышленность, где большие преимущества дает их легкость. Аэрокосмические магниевые материалы – это по большей части термообрабатываемые специальные сплавы. В сплавах с магнием чаще всего используются алюминий, марганец и цинк (обычно в малых количествах, хотя содержание алюминия может достигать 10 %). После термообработки предел текучести таких сплавов может составлять до 310, а прочность на растяжение – до 390 МПа.

Бериллий и его сплавы

Бериллий применяют в атомной технике и как легкий металл для тех же целей, что алюминий, магний. Высокая стоимость бериллия, токсичность, а также малопластичность ограничивает его широкое применение. Бериллий и особенно его сплавы обладают при малой плотности высоким модулем упругости и прочностью, размерной стабильностью, хорошей коррозионной стойкостью в ряде сред. Перспективным является сплав

Be + 4–5 % *Cu*. Бериллий используют как легирующий элемент (например, бериллиевые бронзы).

Титан и его сплавы

Титановые сплавы начали применяться в качестве конструкционных материалов лишь после Второй мировой войны. Титановые сплавы классифицируют *по структуре*, которую они получают после охлаждения на воздухе и соответственно различают *α-сплавы*, *(α+β)-сплавы* и *β-сплавы*. Промышленные α-сплавы малопластичны, не охрупчиваются при термической обработке. К ним относят чистый титан и сплавы титана с алюминием. Сплавы (α+β) – более прочны, хорошо куются и штампуются, поддаются термической обработке, охрупчиваются лишь при некоторых условиях термообработки. Основной способ их упрочнения – легирование.

Производство титана затрудняется тем, что он очень активно взаимодействует с кислородом, водородом и азотом, а также (при высоких температурах) почти со всеми материалами плавильных тиглей. Тем не менее, в настоящее время выпускается и применяется целый ряд титановых сплавов. Благодаря своей легкости (плотность ок. 4,5 г/см^3) и высокой прочности, превышающей прочность алюминиевых и магниевых сплавов, титановые сплавы находят применение в ответственных деталях аэрокосмической техники. Но титан довольно дорог, что ограничивает его применение. Технический титан имеет предел текучести более 400 МПа, прочность на растяжение от 500 до 630 МПа, относительное удлинение ок. 20 %. Почти весь производимый титан используется в виде сплавов, улучшаемых термической обработкой. Обычные легирующие элементы титана – алюминий, ванадий, молибден и олово. Самый распространенный титановый сплав – с 6 % алюминия и 4 % ванадия – применяется в аэрокосмической промышленности. Его предел текучести составляет ок. 900 МПа, а прочность на растяжение – более 1000 МПа. Прочность этого сплава можно повысить путем сложной термообработки. Будучи стойкими к некоторым кисло-

там, титановые сплавы применяются в соответствующей аппаратуре. Кроме того, такие сплавы находят применение как материалы трубных коммуникаций и арматуры, деталей корпуса и обшивки высокоскоростных военных самолетов.

Подшипниковые сплавы (баббиты)

Сплавы системы *Pb-Sn, Sn-Sb, Pb-Sn-Sb*, а также сплавы на основе цинка применяют в качестве легкоплавких подшипниковых сплавов, называемых баббитами. Они обеспечивают меньший износ шейки вала, имеют минимальный коэффициент трения со сталью и хорошо удерживают смазку. Данный комплекс свойств обеспечивается мягкой основой твердого раствора, в которой распределены достаточно твердые частицы второй фазы.

Таким образом, существуют разные системы классификации материалов по определенным признакам, позволяющие группировать их в классы, подклассы материалов, что облегчает процесс выбора материалов. При этом весьма сложно характеризовать материалы лишь по одному, одинаковому для всех, признаку, т. к. их свойства и назначение различны. Поэтому так важно знать разные системы классификации.

Припои

Для соединения заготовок при пайке применяют металлы и сплавы, имеющие температуру плавления ниже, чем соединяемые металлы. Обычно это сплавы на основе олова, свинца, кадмия, меди, никеля и др., называемые припоями. При пайке места соединения и припой нагревают с целью создания механически прочного шва, или для получения электрического контакта с малым переходным сопротивлением. На границе соприкосновения расплавленного припоя и твердого металла происходят различные физико-химические процессы. Припой смачивает металл, растекаясь по нему и заполняя зазоры между соединениями. Выбирают припой с учётом физико-химических свойств соединяемых металлов, требуемой механической прочности спая, его коррозионной устойчивости и стоимости. При пайке токове-

дущих частей необходимо учитывать удельную проводимость припоя.

Типографские сплавы

Для отливки шрифтов ручного и машинного набора применяют сплавы на основе свинца, т. к. они имеют низкую температуру плавления, достаточную высокую твердость. Применяют сплавы на основе цинка, но у них выше температура плавления и больше угар при переплавках. В полиграфической промышленности получил применение цинк с небольшими добавками магния (0,05 %) и алюминия (0,1 %), и имеющий мелкозернистую структуру и повышенную по сравнению с другими сплавами твердость (55–70 НВ). Этот сплав называется микроцинком.

Перечень материалов, применяемых в технике можно расширять, тем более что постоянно появляются новые. Для выбора необходимого материала важно знать системы классификации и базовые теоретические знания по материаловедению.

2.5. Классификация неметаллических материалов

Полимерные материалы

В основе неметаллических материалов лежат полимеры. Химический состав полимеров служит основой для классификации пластмасс

Полимеры – это сложные высокомолекулярные соединения, которые состоят из большого числа небольших молекул, которые называются мономерами. Так, например, бутадиен – мономер. Бутадиен + … + бутадиен (4000 раз) → полибутадиен (искусственный каучук) $[–CH_2–CH=CH–(–n)CH^2–]$, n – степень полимеризации.

Полимеры получают либо полимеризацией, либо поликонденсацией. Процесс, при котором полимер получается вследствие соединения мономеров друг с другом, называется полиме-

ризацией. Поликонденсация – это процесс образования полимера в результате химической реакции исходных веществ с получением нового вещества, структура которого отличается от исходной.

В целом, полимеры можно разделить на три основные группы:

1. *Эластомеры* (резины) – это полимеры, у которых молекулярная структура допускает значительные и обратимые растяжения, т. е. они являются легкосшиваемыми полимерами. Цепные макромолекулы под действием нагрузки распрямляются, а при снятии нагрузки сворачиваются, т. е. между поперечными связями молекулярных цепочек есть небольшая свобода движения. Если эти поперечные связи вытянуты, то полимерные цепочки стремятся выровняться и стать центрированными, из-за чего происходит уменьшение кристалличности полимера. Наиболее распространённым эластомером является каучук C_5H_8. На основе каучука получают резины. Молекулы чистого каучука слабо связаны друг с другом, поэтому легко отделяются одна от другой. В результате этого каучук прилипает к предметам, с которыми он взаимодействует. Для устранения этого дефекта применяют вулканизацию.

Эластомеры можно сгруппировать в соответствии с формой их полимерных цепочек:

- в основе полимерной цепочки находится только углерод. В эту группу входят натуральный каучук, бутадиен-стирол, бутадиен-акрилонитрил, бутил-каучуки, полихлоропрен и этилен-пропилен;

- полимерные цепочки с кислородом в основе. Например, окись полипропилена;

- полимерные цепочки с кремнием в основе. Например, фторкремний;

- полимерные цепочки, имеющие в основе серу. Например, полисульфид;

- термопластичные эластомеры. Это блок сополимеров с альтернативной твердостью и гибкими блоками. Например, по-

лиуретаны, этиленвинилацетат и стирол-дивинил-стирол. Такие эластомеры могут быть изготовлены термопластическими методами прессования, а также литья под давлением и выдувным формованием. Они подобно термопластикам, могут быть неоднократно размягчены при нагреве и не похожи на обычные эластомеры.

2. *Термореактивные пластмассы* (реактопласты) – жесткие материалы, которые не становятся мягкими при нагревании. У таких полимеров молекулярные структуры имеют расширенные поперечные связи. Из-за чего, при разрушении связей во время нагрева, изменения необратимо при охлаждении.

Термореактивные пластмассы получают на основе эпоксидных, полиэфирных, полиуретановых, фенолформальдегидных и кремнийорганических полимеров. Их применяют в отвержденном виде; они при нагреве не плавятся, устойчивы против старения и не взаимодействуют с топливом и смазочными материалами.

3. *Термопластичные пластмассы* (термопласты) – материалы, которые могут быть размягченными под воздействием не слишком высокой температуре, как в случае расщепления. Такие полимеры имеют линейные или разветвленные молекулярные цепи структур с малым числом связей, и если их несколько, то между цепями. Линейные и некоторые разветвленные полимерные цепи могут быть в таком состоянии, когда имеет место уменьшение кристалличности структуры. Термопластики состоят из двух групп материалов – неполярных и полярных полимеров (рис. 2.3).

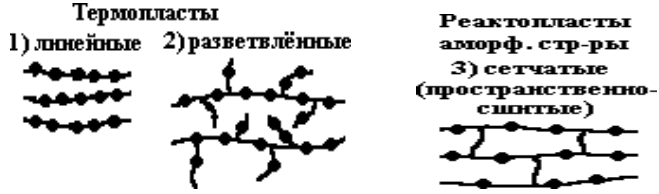


Рис. 2.3. Структура макромолекул полимеров

Семейство неполярных термопластов основано на этилене, который, в свою очередь, может быть подразделен на следующие группы: полиолефины, основанные на полиэтилене и полипропилене, винилы с основой на винилхлориде, винилацетат и различные другие соединения винилов. Все неполярные полимеры строятся на базе только атомов углерода.

К семейству полярных термопластов относятся фторопласт-3, оргстекло, полиамиды, полиуретаны, полиацетаты, поликарбонаты, полиарилаты, целлюлозы и др. Введение атомов хлора нарушает в фторопласте-3 симметрию звеньев молекул, материал становится полярным. К такому же эффекту приводит амидная группа в полиамидах и т. д.

Значительная часть термопластичных полимеров перерабатывается в пленку, волокна и изделия из волокна.

В состав полимеров входят различные *добавки*: наполнители, стабилизаторы, пластификаторы и др.

Наполнители добавляют в количестве 40–70 % для повышения механических свойств, снижения стоимости и изменения других параметров. К наполнителям относят древесную муку, порошки сажи, слюду, SiO_2, тальк, TiO_2, графит; хлопчатобумажные, стеклянные, асбестовые, полимерные волокна; листы бумаги, ткани из различных волокон, древесный шпон.

Стабилизаторы (органические вещества) водят в количестве нескольких процентов для сохранения структуры молекул и стабилизации свойств.

Пластификаторы добавляют в количестве 10–12 % для уменьшения хрупкости и улучшения формуемости.

Специальные добавки – это смазочные материалы, красители, добавки для уменьшения статических зарядов и горючести, защиты от плесени, ускорители и замедлители отверждения. Они служат для изменения или усиления какого-либо свойства. Отвердители добавляют для отверждения.

У полимеров нет определённой температуры плавления. Полимеры обладают очень высокой вязкостью, высокой молекуляр-

ной массой. В табл. 2 Приложения П приведены примеры изделий, которые можно получить из полимерных материалов.

Композиционные материалы

Композиционными материалами (КМ) называют материалы, в состав которых входят конструктивные элементы, разделенные выраженной границей, свойства которых резко отличаются от свойств матрицы.

Композиционные материалы представляют собой гетерогенную систему, состоящую из матрицы, в качестве которой используют полимеры, керамику или металл, запоненных высокопрочными и высокомодульными волокнами или частицами

КМ можно разделить на три основные группы:

1. *Волокнистые композиционные материалы.* Примерами могут служить шины транспортных средств (резина, армированная кордными тканями), армированный бетон, армированные стеклянными волокнами пластики, углеродные волокна в эпоксидных смолах или алюминии, древесина (естественный композит с трубками целлюлозы в матрице лигнина).

Свойства волокнистых КМ зависят от свойств и размеров волокон, их объемной доли и расположения, взаимодействий на границе между волокнами и матрицей. У армированных волокном КМ основные функции волокон состоят в том, чтобы перенести большую часть прикладываемой нагрузки на КМ и таким образом обеспечить прочность. По этой причине волокнистые КМ имеют высокие предел прочности и модуль упругости при растяжении. Предъявляемые к матричному материалу (матрице) требования заключаются в высоком сцеплении его с поверхностью волокон, благодаря чему прикладываемая к КМ сила передается на волокна. Они первыми воспринимают напряжение КМ, который, в свою очередь, предохраняет поверхность волокон от повреждения и разделяет их друг от друга, препятст-

вуя тем самым распространению разрушения. Волокна могут быть сплошными, отрезками в полную длину композита или короткой длины. Они могут быть вытянуты в одном направлении, задавая направленность свойствам КМ, или ориентированы случайным образом.

Для сплошных волокон: прочность КМ определяется по формуле $\sigma_B = \sigma_f f_f + \sigma_m f_m$, а модуль КМ – $E = E_f f_f + E_m f_m$, где σ_f – напряжение на волокне, σ_m – напряжение на матрице, f_m – доля матрицы, E_f – модуль прочности на растяжение волокна, E_m – модуль прочности на растяжение матрицы.

Для прерывистых волокон прочность композита определяется той же формулой, где σ_f заменено на усредненное напряжение $\sigma_{уср.} = \sigma_{fu}\left(1 - \frac{L_C}{2L}\right)$. Здесь: σ_{fu} – максимальная прочность волокон, т. е. предел прочности волокон; L – длина волокон; L_C – критическая длина волокон. Критическая длина волокон определяется как: $L_C = \frac{\sigma_{fu} D}{2r_m}$. Здесь: D – диаметр волокон; r_m – прочность матрицы на срез. Необходимая длина волокон равна или больше критической длины волокон, в которой напряжение достигает максимального значения, возможного в волокне.

2. *Армированные частицами материалы.* Примерами могут служить полимерные материалы, связанные такими наполнителями, как стеклянные шарики или утонченные градуированные порошки, придающие полимерам жесткость, в которые включены тонкие резиновые частицы, а также керметы с керамическими частицами в металлической матрице.

Керметы – это композиты, у которых в матрицу металла включены керамические частицы.

Частицы, которыми армируют материалы, рассеяны по всей матрицы и имеют диаметр 1 мкм или более. Их часто вводят до

четверти, половины или даже более по отношению к общему объему КМ.

Полимерные материалы содержат наполнители. Эффект от частиц наполнителя в материале матрицы состоит, в основном, в увеличении модуля упругости при растяжении, предела прочности при растяжении, стойкости к удару и уменьшении ползучести и теплового расширения. Общая стоимость материала ниже, поскольку стоимость полимера больше, чем стоимость наполнителя.

Добавка сферических углеродных частиц в резину применяется для улучшения модуля растяжения. Модуль растяжения композитной резины по отношению к модулю резины без наполнителя E будет выражать как $E_{КМ} = E(1 + 2{,}5f + 14{,}1f^2)$, где f – доля объема КМ, занятая углеродом.

Жесткость некоторых полимеров может быть увеличена при введении в полимерную матрицу тонких резиновых частиц. Например, полистирол становится жестче при добавке в него полибутадиена: получается продукт, называемый полистиролом (HIPS), устойчивый к ударам.

3. *Дисперсно-упрочненные КМ*. Примерами могут служить алюминиевые сплавы, обработанные на твердый раствор и преципитатно-упрочненные, мартенситостареющие стали, а также спеченные металлы. Эти материалы отличаются от обычных сплавов большими значениями временного сопротивления и предела выносливости (на 50–100 %), модуля упругости, коэффициента жесткости (E/ρ) и пониженной склонностью к трещинообразованию и высокой жаропрочностью.

Эффект упрочнения КМ, в структуре которых присутствуют высокодисперсные частицы тугоплавких оксидов, нитридов или карбидов, не взаимодействующих химически с материалом матрицы, пропорционален объемной доле частиц, дисперсности, т. е. прочность металла можно увеличить с помощью маленьких частиц, рассеянных по его объему. Один из путей сделать это состоит в обработке на твердый раствор, что следует из преци-

питатного упрочнения. Такая обработка применяется, например, с мартенсито-стареющими сталями и сплавами алюминия.

Другой путь, рассеивающий маленькие частицы по всему объему металла, состоит в спекании материала. Этот процесс включает в себя уплотнение измельченного металлического порошка в пресс-форму, и затем нагрев его до температуры выше той, которая достаточна для скрепления частиц в порошке. Если это сделать с алюминием, то в результате получится тонкодисперсная окись алюминия около 10 %, повсюду в матрице алюминия. В результате ввиду малого расстояния между частицами увеличиваются прочность, твердость, жаропрочность КМ, но уменьшается его пластичность.

Применение композиционных материалов с металлической матрицей повышает жесткость конструкции при одновременном снижении ее металлоемкости.

В дополнении к названным группам КМ имеется целая группа *слоистых материалов.* В качестве примеров можно назвать фанеру, плакированные металлы, пористые металлические структуры, рифленый картон.

Таким образом, КМ отличаются самой высокой, по сравнению с другими материалами, удельной прочностью, что позволяет резко снизить массу и соответственно материалоемкость конструкций. Это качество важно для различных летательных аппаратов, автостроения и других транспортных средств, в гражданском строительстве.

Керамические материалы

К керамическим материалам относят широкий круг материалов, например, кирпич, камень, стекло и огнеупорные материалы.

Это твердые и хрупкие материалы, которые являются хорошими электрическими и тепловыми изоляторами и обладают высоким сопротивлением химическому воздействию. У них низкое сопротивление термическому удару, поскольку они имеют низкие теплопроводность и термическое расширение.

Керамика формуется из комбинации одного и более металлов с неметаллическим элементом, таким как кислород, азот или углерод.

Обычно керамика характеризуется кристаллической структурой, хотя возможны аморфные состояния. Например, если кварц в расплавленном состоянии охладить очень медленно, то он кристаллизуется в точке застывания. Однако если охлаждать намного быстрее, то его атомы не успевают расположиться в упорядоченном состоянии, подобно кристаллу, поэтому характеризуются неупорядоченностью и неоднородностью внутреннего строения, т. н. кварцевое стекло.

Стекла. Главной составной частью большинства стекол является песок, т. е. *керамический силикат*. Обыкновенное оконное стекло сделано из смеси песка, известняка (углекислый кальций) и кальцинированной соды (углекислый натрий). При сплавлении различных комбинаций оксидов, которые подразделяются на стеклообразующие и модифицирующие, получают стекла. Химический состав стекол изменяют в относительно широком интервале, что позволяет обеспечивать необходимое сочетание свойств стекол. В состав стекол входят:

1. Стеклообразователи – основа: а) SiO_2 – силикатное стекло, если $SiO_2 > 99$ %, то это кварцевое стекло; б) $Al_2O_3+SiO_2$ – алюмосиликатное стекло; в) $B_2O_3+SiO_2$ – боросиликатное стекло; г) $Al_2O_3+B_2O_3+SiO_2$– алюмоборосиликатное стекло;

2. Модификаторы, вводятся для придания стеклу определённых свойств. Ввод оксидов щелочноземельных металлов (I, II группа: Na, K) уменьшает температуру размягчения. Оксиды хрома, железа, ванадия придают стеклу определённые цвета. Оксиды свинца увеличивают коэффициент преломления. По количеству модификаторов стёкла бывают трёх типов: щёлочные – стёкла, в которых содержится модификаторов до 20–30 %, бесщелочные – до 5 % модификаторов, кварцевое стекло – модификаторов нет;

3. Компенсаторы, подавляют негативное воздействие модификаторов. Стёкла в автомобилях, в стеклопластиках, оптика,

теплопроводимость низкая, не растворимы в кислотах (кроме плавиковой HF) и щёлочах.

Теплостойкие стекла, такие как *пирекс*, получены при замещении кальцинированной соды окисью бора. Предел прочности при растяжении определяют эффективно по микроскопическим дефектам и трещинам на поверхности. Стекла имеют низкую пластичность, обладают хрупкостью, имеют низкое тепловое расширение и низкую теплопроводность, и вследствие этого и плохое сопротивление термическому удару. Закалка повышает прочность и термостойкость стекла. Стекла хорошие электрические изоляторы и стойки ко многим кислотам, растворителям и другим химикатам.

Техническая керамика. В качестве конструкционного материала, а также для изготовления или футеровки емкостей химических веществ широко применяют техническую керамику – глинозем (окись алюминия), нитрид кремния, карбиды бора, кремния, тантала, вольфрама и циркония. Из-за повышенной твердости, хорошей износо- и теплостойкости их успешно применяют для изготовления металлорежущих резцов, фильер. Они соединены с такими связующими металлами как никель, кобальт, хром, или молибден, в форме композитного материала. Большинство обычных форм – это вольфрамовый карбид, связанный с кобальтом, а большинство комплексных форм включает целый ряд карбидов с кобальтом.

Традиционный и широко распространенный керамический материал – *фарфор.* Стеклокристаллические материалы, получаемые путем направленной кристаллизации стекла, называются *ситаллами*. Их классифицируют по применению и содержанию основной кристаллической фазы.

В машиностроении и металлообработке наиболее перспективен класс износоустойчивых и химически устойчивых ситаллов, которые содержат в качестве основной кристаллической фазы *кордиерит* и *пироксен*.

Огнеупоры. Это специальные материалы, применяемые в конструкциях, способных выдерживать высокие температуры.

Основные широко используемые огнеупорные материалы состоят из кремнезема и глинозема. Способность огнеупоров выдерживать высокие температуры возрастает с увеличением окиси алюминия выше точки эвтектики.

Изделия с содержанием глинозема 30…40 % употребляются в качестве огнеупорного шамотного кирпича. Для более жестких условий применения увеличивается количество глинозема: керамика с глиноземом более 71,8 % может работать до 1800 ^{0}C. С содержанием глинозема 90 % производится прочная, тонко гранулированная керамика для заданных механических условий. С содержанием же 96 % выпускается керамика, которая обладает отличными свойствами для специального назначения в электронике, а с содержанием 99,9 % – твердая, прочная керамика для жестких механических условий и агрессивной среды.

В табл. 3 и 4 Приложения Р приведены типичные инструментальные применения для связанных карбидов, а также даны основные характеристики и область применения обычно используемых стекол.

Резиновые материалы

Резина является искусственным материалом, получаемым специальной обработкой (*вулканизацией*) смеси каучуков с различными добавками (сера). При максимально возможном насыщении каучука серой образуется твердый и жесткий материал, называемый *эбонитом*. Эбонит обладает высокой химической стойкостью, хорошими диэлектрическими свойствами, легко обрабатывается, но имеет низкую теплостойкость.

Резина отличается от других материалов высокими эластическими свойствами, которые сохраняются в широком диапазоне температур.

Резиновые материалы классифицируют по виду сырья (натуральный каучук, синтетический каучук, бутадиент-стирольный каучук, синтетический каучук изопреновый и т. д.), наполнителя (порошкообразные и тканевые), степени упорядо-

чения макромолекул и пористости (мягкие, жесткие эбонитовые, пористые, пастообразные), по технологическим способам переработки (выдавливания, прессования, литья), по типам теплового старения (семь типов Т07, …, Т25), по изменению объема после пребывания в нефтяной жидкости (семь классов К1, …, К7), по назначению резины (общего и специального назначения).

Резиновые изделия, применяемые в машиностроении, делят на: уплотнительные, вибро- и звукоизоляционные, противоударные, силовые, опоры скольжения, гибкие компенсационные прокладки, противовоздушные, фрикционные и защитные. Основные потребители резины – шинная промышленность (свыше 50 %) и промышленность резинотехнических изделий (более 22 %).

Древесные материалы

Древесина – древнейший естественный строительный материал, находящий широкое применение и в наше время. Древесина представляет собой ткань дерева, служащую для проведения воды и растворов минеральных солей от корней к листьям. Микроструктура древесины волокнистая, пористая, состоит из вытянутых клеток-ячеек, стенки которых состоят из целлюлозы. Эти пустотелые клетки-ячейки образуют волокна.

Различают более твердую древесину лиственных пород (дуб, клен, орех) и менее твердую – хвойных пород (сосна, ель, кипарис, секвойя). Первая используется в основном для столярных работ и отделки интерьеров, а вторая – в виде строительных лесоматериалов.

Древесина является волокнистым материалом, поэтому для повышения прочности изделий комбинируют продольные слои с поперечными. Как для внутренних, так и для наружных конструкций широко применяются клееные слоистые древесные материалы. Элементы конструкции изготавливаются склеиванием листов шпона. Толщина слоев может составлять от нескольких сантиметров до 3 мм (в микроламинированных конструкциях). Листовой материал, получаемый склейкой листов древесного

шпона, называют фанерой. В табл. 30 приведены примерные механические свойства обычной древесины.

Клееные слоистые древесные материалы хорошо известны в современной архитектуре и применяются для изготовления элементов разной формы: прямых, искривленных, с плавными переходами. Для таких элементов подбирают древесину, наиболее подходящую по внешнему виду и механическим свойствам. Их несущая способность и размерная стабильность выше, чем у пиломатериалов. Прессованием нагретых в пресс-формах древесных заготовок получают прессованную древесину.

Таблица 30

Механические свойства древесины

Древесина	Плотность, 10^3кг·м$^{-3}$	Модуль упругости		Предел прочности при растяжении, МПа	Прочность при сжатии	
		∥	⊥		∥	
Ясень	0,58	16	0,9	100	51	1
Бук	0,70	14	1,1	100	-	
Кедр (красный)	0,47	6	-	60	42	
Вяз	0,50	9	-	80	38	
Красное дерево	0,50	12	0,6	100	-	
Дуб	0,65	11	-	100	49	
Сосна	0,36	9	-	60	34	
Ель	0,40	11	0,6	70	40	
Тиковое дерево	0,60	13	-	100	-	

Здесь: ∥ – параллельно направлению волокон; ⊥ – перпендикулярно направлению волокон

Важной характеристикой древесины является ее плотность. Обрабатываемость древесины зависит от ее твердости. На проч-

ности лесоматериалов очень существенно сказывается их слоистость. Прочность на сжатие и растяжение максимальна вдоль слоистости, а прочность на сдвиг – поперек слоев. Так, для дуба предел прочности на раздавливание параллельно слоистости равен 52 МПа, предел пропорциональности при сжатии перпендикулярно слоистости – 9 МПа, а предел прочности на сдвиг параллельно слоистости – 14 МПа. Чтобы получить допускаемое напряжение, эти значения нужно еще умножить на уменьшающий коэффициент, учитывающий содержание влаги, размер, дефектность, длительность нагружения, принятый запас прочности и наклон слоистости. В случае деревянных балок важное значение может иметь прочность на продольный сдвиг, т. к. сопротивление сдвигу вдоль слоистости невелико. Прочность на растяжение примерно втрое выше, чем на сжатие. Однако местные растягивающие напряжения в деревянной конструкции зависят в основном от способов связи сопрягаемых элементов. Зубцы металлических соединительных деталей (плоских, кольцевых, дисковых), входящие в оба соединяемых элемента, действуют на передачу нагрузки. Благодаря разработке таких зубчатых соединителей в виде бандажей, накладок, шайб и шпонок стало возможно применение лесоматериалов для конструкций с большими пролетами. Дерево весьма упруго и хорошо сопротивляется удару.

Следует отметить, что доля неметаллических материалов, применяемых в технике, неуклонно растет. Знание основных классов неметаллических материалов, их преимуществ и конкретных областей применения позволяет расширить ассортимент и качество выбора.

2.6. Новые материалы

Роль новых материалов с каждым годом возрастает. По оценке американских экспертов в ближайшие 20 лет 90 % современных материалов будут заменены принципиально новыми,

что приведет к технической революции практически во всех отраслях техники. За последние годы в США стали использоваться тысячи марок новых и новейших материалов.

Существуют конструкционные и функциональные новые материалы, к последним относят:

- *аморфные материалы*, для получения которых необходимо охлаждать металлы со скоростью более миллиона градусов в секунду, после чего они приобретают структуру стекла и удивительное сочетание физико-механических и химических свойств;

- «*интеллектуальные*» или «умные» материалы, характерной особенностью которых является способность запоминать, отслеживать и возвращать деформацию и форму конструкции;

- *интерметаллические* материалы;

- *композиционные материалы* на металлической, полимерной или углеродной матрице;

- *ультрадисперсные* и *нанофазные* материалы, элементарный размер фрагментов структуры в которых составляет менее сотых и тысячных долей микрона;

- алмазноподобные *сверхтвердые пленки*;

- *функционально-градиентные покрытия* и др.

Особенность новых и новейших материалов, в отличие от традиционных, состоит в их более тесной взаимосвязи с технологией переработки в изделие. В ряде случаев процесс изготовления материалов и изделия из него составляет единое целое.

Большое число технологических методов обработки и технологических процессов (например, реактивная и инжекционная формовка, экструзия, сверхпластичная формовка, высокоскоростное охлаждение, порошковая металлургия, лазерные технологии, высокоэнергетическое ионноплазменное напыление и др.) интенсивно развивались в последние годы и в начале XXI в. будут определять рынок высокотехнологичного оборудования.

О тенденциях развития мирового рынка новых материалов с 1980 по 2000 г. свидетельствуют данные табл. 31–32, которы-

ми подтверждаются преобладающие темпы роста новейших материалов по сравнению с традиционными.

Вклад новейших конструкционных и функциональных материалов в стоимость перспективных видов вооружений и глубоководной техники составляют от 40 до 85 %. Они являются опорной базой модернизации электроники, подводных лодок и новых типов кораблей и судов, ракетно-космической техники и авиации.

Таблица 31

Прогноз развития мирового рынка новых материалов

Новые материалы	Средние ежегодные темпы роста получения материалов (с 1980 до 2000 г.) %
Новые чугуны и стали	2,3
Цветные сплавы и новые металлы	3,8
Композиционные материалы	8,7
Конструкционная керамика	13,9
Функциональные материалы	12,0

Таким образом, не вызывает сомнения тесная связь между использованием новых материалов и конкурентной способностью промышленной продукции. Уровень разработки новых материалов в различных странах мира, составленный по данным экспертов США и стран Западной Европы, приведен в табл. 32.

Таблица 32

Относительный уровень разработки новых материалов

Наименование материалов	Страны НАТО	Япония	Россия и страны СНГ	Прочие страны
Конструкционные материалы	++++	++++	++++	++
Высокотемпературные материалы	++++	+++	++++	++

продолжение таблицы 32

Наименование материалов	**Страны НАТО**	**Япония**	**Россия и страны СНГ**	**Прочие страны**
Материалы для защиты от электро-магнитных излучений и бронематериалы	++++	+++	+++++	++
Электронные, магнитные и оптические материалы	++++	++++	++	++
Материалы со специальными свойствами и биомолекулярные материалы	++++	++++	+	++

Особый класс новых материалов – наноструктурные материалы, на которых остановимся подробнее, т. к. их интенсивные разработки ведут и в Казахстане.

Наноструктурные материалы создаются с использованием нанотехнологий и обладает рядом уникальных свойств К этому классу относят материалы с размером структурных элементов менее 100 нм

По геометрическим признакам структурные элементы наноматериалов можно разделить на:

- нольмерные атомные кластеры и частицы;
- одно- и двухмерные мультислои, покрытия и ламинарные структуры (квантовые проводники, нанотрубки, тонкие пленки);
- трехмерные объемные нанокристаллические и нанофазные материалы (многослойные структуры с наноразмерными дислокациями, сверхрешетки, нанокластеры).

В настоящее время широко используются следующие типы наноматериалов: нановолокна и нанотрубки, нанопленки и нанопокрытия, нанодисперсии и начинают получать все большее

применение объемные наноматериалы – нанокристаллические и нанозернистые (с размером зерен менее 100 нм).

Свойства наноматериалов, как правило, отличаются от аналогичных материалов в массивном состоянии. Первые исследования наноматериалов показали, что в них изменяются, по сравнению с обычными материалами, такие фундаментальные характеристики, как удельная теплоемкость, модуль упругости, коэффициент диффузии. У наноматериалов можно наблюдать изменение магнитных и электропроводных свойств. Для особо мелких материалов можно заметить изменение температуры плавления в сторону ее уменьшения.

По мере того как размер зерен или частиц становится все меньше и меньше, все большая доля атомов оказывается на границах или свободных поверхностях. Так, при размере структурных единиц 6 нм и толщине поверхностного слоя в один атом, почти половина атомов будет находиться на поверхности. Так как доля поверхностных атомов в наноматериалах составляет десятки процентов, ярко проявляются все особенности поверхностных состояний. Развитая поверхность оказывает влияние как на решеточную, так и на электронную подсистемы. Поведение наноматериалов определяется процессами на границе частиц или зерен. Появляются аномалии поведения электронов, квазичастиц (фононов, плазмонов, магнонов) и других элементарных возбуждений, которые влекут за собой изменения физических свойств, по сравнению с массивными материалами. Если считать, что зерна имеют сферическую форму, и полагать, что толщина слоя 1нм (это соответствует 2–3 атомным слоям для большинства металлов), то получаются следующие соотношения между диаметром зерна и объемной долей поверхностного слоя:

Диаметр зерна (частицы), нм……	***100***	***50***	***25***	***20***	***10***	***6***	***4***
Объемная доля поверхностного слоя, %.....	***6***	***12***	***24***	***30***	***60***	***100***	***150***

Обладая развитой поверхностью, материалы очень активны и охотно взаимодействуют с окружающей средой, прежде всего это касается металлических наноматериалов.

Уменьшение размера зерна металла с 10 микрон до 10 нанометров дает повышение прочности примерно в 30 раз. Добавление нанопорошков к обычным порошкам при прессовании последних приводит к уменьшению температуры прессования, повышению прочности изделий. При диффузионной сварке использование между свариваемыми деталями тонкой прослойки нанопорошков соответствующего состава позволяет сваривать разнородные материалы, в том числе некоторые трудносвариваемые сплавы металла с керамикой, а также снижать температуру диффузионной сварки.

Нанопорошки: получение и свойства

Формирование нано- или ультрадисперсных структур происходит в условиях, сопровождающихся процессами кристаллизации, рекристаллизации, фазовых превращений, интенсивной пластической деформации, полной или частичной кристаллизации аморфных структур.

Выбор метода получения наноматериалов определяется областью их применения, нужным набором свойств конечного продукта. Характеристики получаемого продукта – гранулометрический состав и форма частиц, содержание примесей, величина удельной поверхности – могут колебаться в зависимости от способа получения в весьма широких пределах. Так, в зависимости от условий получения, нанопорошки могут иметь сферическую, гексагональную, хлопьевидную, игольчатую формы, аморфную или мелкокристаллическую структуру. Методы получения ультрадисперсных материалов разделяют на химические, физические, механические и биологические.

Химические методы синтеза включают различные реакции и процессы, в т. ч. процессы осаждения, термического разложения или пиролиза, газофазных химических реакций, восстановления, гидролиза, электроосаждения. Регулирование скоростей образования и роста зародышей новой фазы осуществляется за счет из-

менения соотношения количества реагентов, степени пересыщения, а также температуры процесса.

Способ осаждения заключается в осаждении различных соединений металлов из растворов их солей с помощью осадителей. Продуктом осаждения являются гидроксиды металлов. В качестве осадителя используют растворы щелочей натрия, калия и другие. Регулируя pH и температуру раствора, создают условия, при которых получаются высокие скорости кристаллизации и образуется высокодисперсный гидроксид. Этим методом можно получать порошки сферической, игольчатой, чешуйчатой или неправильной формы с размером частиц до 100 нм.

Нанопорошки сложного состава получают методом соосаждения. В этом случае в реактор подают одновременно два или более растворов солей металлов и щелочи при заданной температуре и перемешивании. В результате получают гидроксидные соединения нужного состава.

Способ гетерофазного взаимодействия осуществляют путем ступенчатого нагрева смесей твердых солей металлов с раствором щелочи с образованием оксидной суспензии и последующим восстановлением металла. Таким способом получают металлические порошки с размером частиц в пределах 10...100 нм.

Гель-метод заключается в осаждении из водных растворов нерастворимых металлических соединений в виде гелей. Следующая стадия – восстановление металла. Этот способ применяется для получения порошков железа и других металлов.

Способ восстановления и термического разложения – обычно это следующая операция после получения в растворе ультрадисперсных оксидов или гидроксидов с последующим осаждением и сушкой. В качестве восстановителей, в зависимости от вида требуемого продукта, используют газообразные восстановители – как правило, водород, оксид углерода или твердые восстановители.

Нанопорошки Fe, W, Ni, Co, Cu и ряд других металлов получают восстановлением их оксидов водородом. В качестве твердых восстановителей используют углерод, металлы или

гидриды металлов. Таким способом получают нанопорошки металлов: Mo, Cr, Pt, Ni и др. Как правило, размер частиц находится в пределах 10...30 нм. Более сильными восстановителями являются гидриды металлов – обычно гидрид кальция. Так получают нанопорошки Zr, Hf, Ta, Nb.

В ряде случаев нанопорошки получают путем разложения формиатов, карбонатов, карбонилов, оксалатов, ацетатов металлов в результате процессов термической диссоциации или пиролиза. Так, за счет реакции диссоциации карбонилов металлов получают порошки Ni, Mo, Fe, W, Cr. Путем термического разложения смеси карбонилов на нагретой подложке получают полиметаллические пленки.

Ультрадисперсные порошки металлов, оксидов, а также смесей металлов и оксидов получают путем пиролиза формиатов металлов. Таким способом получают порошки металлов, в т. ч. Mn, Fe, Ca, Zr, Ni, Co, их оксидов и металлооксидных смесей.

Физические методы. Способы испарения (конденсации), или газофазный синтез получения нанопорошков металлов, основаны на испарении металлов, сплавов или оксидов с последующей их конденсацией в реакторе с контролируемой температурой и атмосферой. Фазовые переходы пар – жидкость – твердое тело или пар – твердое тело происходят в объеме реактора или на поверхности охлаждаемой подложки или стенок. Сущность способа состоит в том, что исходное вещество испаряется путем интенсивного нагрева, с помощью газоносителя подается в реакционное пространство, где резко охлаждается. Нагрев испаряемого вещества осуществляется с помощью плазмы, лазера, электрической дуги, печей сопротивления, индукционным способом, пропусканием электрического тока через проволоку.

Возможно также бестигельное испарение. В зависимости от вида исходных материалов и получаемого продукта, испарение и конденсацию проводят в вакууме, в инертном газе, в потоке газа или плазмы. Размер и форма частиц зависят от температуры процесса, состава атмосферы и давления в реакционном про-

странстве. В атмосфере гелия частицы будут иметь меньший размер, чем в атмосфере аргона – более плотного газа. Таким методом получают порошки Ni, Mo, Fe, Ti, Al. Размер частиц при этом – десятки нанометров.

Способ получения наноматериалов путем электрического взрыва проволок (проводников). В этом случае в реакторе между электродами помещают проволоки металла, из которого намечается получение нанопорошка, диаметром 0,1...1,0 мм. На электроды подают импульс тока большой силы (104... 106 А/мм^2). При этом происходит мгновенный разогрев и испарение проволок. Пары металла разлетаются, охлаждаются и конденсируются. Процесс идет в атмосфере гелия или аргона. Наночастицы оседают в реакторе. Таким способом получают металлические (Ti, Co, W, Fe, Mo) и оксидные (TiO_2, Al_2O_3, ZrO_2) нанопорошки с крупностью частиц до 100 нм.

Механические методы. Способы измельчения материалов механическим путем в мельницах различного типа – шаровых, планетарных, центробежных, вибрационных, гироскопических устройствах, аттриторах и симолойерах (высокоэнергетических измельчительных аппаратах с неподвижным корпусом – барабаном с мешалками, передающими движение шарам в барабане). Измельчение размалываемого материала размалывающими шарами в отличие от других типов измельчающих устройств происходит главным образом не за счет удара, а по механизму истирания. Емкость барабанов в установках этих двух типов достигает 400...600 л. Механическим путем измельчают металлы, керамику, полимеры, оксиды, хрупкие материалы. Степень измельчения зависит от вида материала. Так, для оксидов вольфрама и молибдена получают крупность частиц порядка 5 нм, для железа – порядка 10...20 нм.

Разновидностью механического измельчения является механосинтез, или механическое легирование, когда в процессе измельчения происходит взаимодействие измельчаемых материалов с получением измельченного материала нового состава. Так получают нанопорошки легированных сплавов, интерме-

таллидов, силицидов и дисперсноупрочненных композитов с размером частиц 5...15 нм. Достоинством способа является то, что за счет взаимодиффузии в твердом состоянии здесь возможно получение «сплавов» таких элементов, взаимная растворимость которых при использовании жидкофазных методов пренебрежимо мала. Положительной стороной механических способов измельчения является сравнительная простота установок и технологии, возможность измельчать различные материалы и получать порошки сплавов, а также возможность получать материал в большом количестве. К недостаткам метода относятся возможность загрязнения измельчаемого порошка истирающими материалами, а также трудности получения порошков с узким распределением частиц по размерам, сложности регулирования состава продукта в процессе измельчения.

При получении наночастиц любым методом проявляется еще одна их особенность – склонность к образованию объединений частиц. Такие объединения называют агрегатами и агломератами. В результате, при определении размеров наночастиц, необходимо различать размеры отдельных частиц (кристаллитов) и размеры объединений частиц. В агрегатах кристаллиты более прочно связаны и имеют меньшую межкристаллитную пористость, чем в агломератах. Агрегирование и агломерирование наночастиц осложняет получение компактных материалов. Требуются большие механические усилия или повышение температуры (при спекании), чтобы преодолеть силы агломерирования. При компактировании агрегированного порошка путем спекания, для достижения определенной плотности материала требуются температуры тем выше, чем более крупные объединения наночастиц имеются в порошке. Для исключения или уменьшения степени образования объединений наночастиц, в методах получения нанопорошков путем конденсации из паровой фазы оказалось целесообразным точное регулирование температуры образования наночастиц. В химических методах оказывается эффективным исключение воды из некоторых стадий синтеза для уменьшения степени агломерирования. Использу-

ются также методы уменьшения контакта между частицами путем их покрытия (капсулирования), которое затем, перед компактированием, удаляется.

Области применения наноматериалов

Применение наноматериалов пока не очень широко развито, поскольку подробное их изучение только началось и сейчас идет накопление знаний об этих материалах. Но некоторые наноматериалы уже доступны на рынке.

Одним из первых применений наноматериалов можно считать использование коллоидов. Давно применяются вещества, содержащие ультрадисперсные частицы, как аэрозоли, красящие пигменты, окрашивающие стеклоколлоидные частицы металлов.

В генной инженерии наноматериалы используются для доставки биологически активных веществ в клетки.

Часто основанием применения наноматериала становится какое-либо одно свойство. Так, керамические материалы, содержащие нанокристаллические частицы металла используют для поглощения электромагнитного излучения в радиодиапазоне длин волн. Суспензии частиц железа с размерами от 30 нм до 1–2 мкм в смазочном масле восстанавливают изношенные детали (не прерывая работы) двигателя.

В настоящее время они широко используются в микроэлектронике, способствуя дальнейшей миниатюризации электронных приборов, в защитных системах поглощения ВЧ- и рентгеновского излучений, в качестве катализаторов (чему способствует огромная, порядка $5 \cdot 10^7$ м$^{-1}$ удельная поверхность нанопорошков).

В атомной энергетике таблетки ТВЭЛов изготавливаются из ультрадисперсного порошка UO_2, в термоядерной технике из ультрадисперсного порошка бериллия изготавливают мишени для лазерно-термоядерного синтеза.

Металлические нанопорошки добавляют к моторным маслам для восстановления трущихся поверхностей.

Наноматериалы используют в качестве сверхпрочных конструкционных материалов и износостойких покрытий.

Пленочные наноматериалы плоской и сложной формы из магнито-мягких сплавов используются для видеоголовок видеомагнитофонов, существенно превосходя по служебным свойствам традиционные материалы.

Полученные плазмохимическим способом ультрадисперсные порошки металлов с включениями карбидов используются в качестве шлифующего и полирующего материала полупроводников и диэлектриков.

В медицине ультрадисперсные порошки применяют для защиты персонала от рентгеновского излучения (перчатки, фартуки и т. п. из резины с ультрадисперсным порошковым свинцовым наполнителем в четыре раза легче обычных), а также для лекарств быстрого усвоения и действия, используемых в экстремальных условиях (ранения в катастрофах, боевых действиях и т. п.).

В военном деле ультрадисперсные порошки применяются в качестве радиопоглощающего покрытия самолетов-невидимок «Стеле», в новых видах взрывного оружия.

В «графитовой бомбе» используются углеродные нановолокна, выводящие из строя энергосистемы противника.

Трубчатые углеродные нановолокна и фуллерены перспективны для армирования композиционной «суперброни» для танков и бронежилетов.

На коммерческий рынок давно уже вышли не только металлические, но и неметаллические наноматериалы, такие, как оксиды кремния и железа, оксиды алюминия, титана, сурьмы и др. Уже стали доступны некоторые карбиды с размером частиц 20...200 нм.

Таким образом, наноматериалы, имея наноразмерные структурные составляющие (зерна, частицы), характеризуются уникальными характеристиками (удельная теплоемкость, модуль упругости, коэффициент диффузии, магнитные свойства и др.). Особая роль в поведении наноматериалов принадлежит процессам, происходящим на поверхностях и границах.

В зависимости от области применения и требуемых свойств выбирают метод получения наноматериалов (химический, физический, механический и биологический).

Поскольку материалы являются стимулом для созданий новых технологий, а новая технология порождает новый материал или удешевляет известный, то существующая взаимосвязь материала и технологий их получения, обязательно учитывается при выборе наноматериала. Более того, развитие нанотехнологий определяет выбор наноматериалов конкретного назначения.

2.7. Управление качеством материала и системы кодирования материалов

Управление качеством материалов, применяемых в технике, имеет большое значение с точки зрения роста производительности труда, экономии и эффективности. Накоплен огромный мировой опыт по созданию систем управления и планирования качества продукции, по выработке принципов и критериев оценки качества многих видов изделий. Широкая информация о накопленном опыте сосредоточена в отраслевых документах и нормативах, а также в национальных и международных стандартах.

Стандартизация в настоящее время является необходимым элементом управления экономикой, важным средством ускорения научно-технического прогресса, повышения эффективности производства, экономии и рационального использования всех видов ресурсов. Устанавливаемые стандарты определяют качество материалов и изделий, что позволяет создавать и применять надежные и долговечные конструкции и детали.

Сведения по количественной и качественной оценке структуры и химического состава материалов, отраженные в нормативных документах и государственных стандартах, используются в различных отраслях промышленности, на всех стадиях их изготовления – от входного контроля сырья до анализа готовой продукции.

Сведения по стандартизации являются отправными при решении задач по выбору материалов и их обработки

Существующие стандарты предусматривают прогрессивные решения конструкций, способствующие экономии материала, энергии и других ресурсов. Чтобы постоянно улучшать качество продукции и не сдерживать творческие поиски по созданию более совершенных изделий, отвечающих последним достижениям науки и техники, стандарты периодически пересматривают.

Таким образом, достижение цели в поисковых задачах неразрывно связано с развитием стандартизации, регламентирующей критерии качества материала и их нормы в нормативно-технических документах и государственных стандартах. При этом вопросы стандартизации рассматриваются комплексно – от исходных и сырьевых материалов до изделий из черных и цветных металлов и сплавов, а также особых материалов, применяемых в различных отраслях экономики.

К основным вопросам, рассматриваемых при оценке качества технических материалов, относятся:

- общие проблемы качества технических материалов: систематизация и анализ требований, предъявляемых к материалам в отраслях металлургического и машиностроительного производств; понятие качества, его критерии применительно к техническим материалам; направления работ по управлению качеством: стандартизация, создание эталонных образцов, регламентация, единые системы документации, рекомендации для международной стандартизации;

- черные металлы и сплавы: исходное сырье и сырьевые материалы (чугун, ферросплавы, шихтовые материалы, огнеупоры); стали и сплавы (классификация, ГОСТы по химическому составу); основной сортамент проката и изделий из черных металлов и сплавов; ГОСТы на качество металлопроката, труб, железнодорожные рельсы, колеса и др.;

- цветные металлы и сплавы: стандартизация цветных металлов; стандартизация сплавов на основе цветных металлов

(алюминия, свинца, цинка, меди, никеля, магния, золото, серебра, платины); стандартизация полуфабрикатов из цветных металлов и сплавов;

- специальные материалы: стандартизация металлических порошков; твердые металлокерамические сплавы;

- методы определения качества: аналитические методы контроля (методы определения химического состава); определение механических свойств; определение металографических свойств; определение технологических свойств; определение физических, физико-химических свойств и скрытых дефектов; неразрушающие методы контроля (радиографические, ультразвуковые, метод вихревых токов и др.); автоматизированный контроль технологий производства; статистические методы управления качеством.

Объектами стандартизации в материаловедении являются образцы веществ и материалов, марки металлов, методики исследований, виды испытаний, технологические процессы и др.

Для регистрации стандартных образцов, состава и свойств веществ и материалов, типы которых признаны в качестве межгосударственных стандартных образцов (МСО) стран СНГ предназначается реестр МСО, созданный в рамках научно-технического сотрудничества государств – участников Соглашения о сотрудничестве по созданию и применению стандартных образцов состава и свойств веществ и материалов. Данный документ использует ссылки на следующие документы: ГОСТ 8.315–97 Государственная система обеспечения единства измерений. Стандартные образцы состава и свойств веществ и материалов. Основные положения ПМГ 16–96 Положение о межгосударственном стандартном образце. Реестр МСО является источником официальной информации о результатах создания и признания типов МСО.

В мире 20 тысяч стандартных образцов веществ и материалов. Компьютерный банк данных «Кодекс образцовых веществ» (COMAR) содержит информацию о 12 тысячах стандартных образцов веществ и материалов (CRM), произведенных в мире около 220 производителями в 25 странах. В базе данных включены: название и общее описание вещества, название и адрес изготовителя, форма вещества, аттестованные свойства, их значения и области применения. Центры кодирования COMAR действуют в 14 странах. Необходимую информацию можно получить на Web-сайте и в центральном секретариате COMAR.

Нормативно-техническое и метрологическое обеспечение качества также решаются государственной системой стандартизации по основным системам стандартов ГСС, СПК, ГСК, и др.

При выборе материалов конкретного назначения важным, если не определяющим, критерием является цена материала. В этой связи необходимо пользоваться сведениями о ценах на те или иные материалы, устанавливаемыми на торговых биржах и иметь представление о колебаниях их стоимости на мировом рынке.

Основной причиной устойчивой тенденции роста цен явился взлет стоимости нефти на мировом рынке. Существенное влияние на повышение цен пластмасс оказало также определенное расширение потребления в индустриальных государствах, вслед за подъемом деловой активности в основных потребляющих отраслях, так же как и сохранение высоких темпов роста спроса в развивающихся регионах.

Системы кодирования материалов по зарубежным стандартам

Наряду с применяемыми системами кодирования и маркировки материалов, принятых в бывшем СССР, используют широко распространенные системы американских, британских, немецких, японских стандартов.

Таблица 33

Europe (EN)	Germany (DIN)	USA (AISI)	Japan (JIS)	SNG (GOST)
1.4000	X6Cr13	410S	SUS 410S	08X13
1.4006	X12CrN13	410	SUS 410	12X13
1.4021	X20Cr13	(420)	SUS 420 J1	20X13
1.4028	X30Cr13	(420)	SUS 420 J2	30X13
1.4031	X39Cr13		SUS 420 J2	40X13
1.4034	X46Cr13	(420)	□カラットlog□좋□琰莒□□Ü	40X13
1.4016	X6Cr17	430	SUS 430	12X17
1.4510	X3CrTi17	439	SUS 430 LX	08X17T
1.4301	X5CrNI18-10	304	SUS 304	08X18H10
1.4303	X4CrNi18-12	(305)	SUS 305	12X18H2
1.4306	X2CrNi19-11	304 L	SUS 304 L	08X18H10
1.4541	X6CrNiTi18-10	321	SUS 321	08X18H10T
1.4571	X6CrNiMoTi17-12-2	316 Ti	SUS 316 Ti	10X17H13M2T

В табл. 33 приведены коды (маркировки) некоторых марок сталей, принятых в странах СНГ, Северной Европы, Германии, США, Японии.

Вхождение в мировой рынок влечет за собой необходимость владения системами стандартизации экономически развитых стран, которые, как показано ниже, существенно отличаются от традиционно используемых странами СНГ стандартов. Выберем для более подробного рассмотрения британские и американские стандарты.

Американская система кодирования сталей

В системе кодов Американского института черной металлургии – Общества инженеров автомобильного транспорта (*AISI–SAE*) применяется кодирование четырьмя цифрами. Первые две цифры обозначают тип стали: с помощью первой цифры указывается основной элемент, а вторая в некоторой степени служит указанием на приблизительное процентное содержание этого элемента. Третья и четвертая цифры показывают содержание углерода, умноженное на коэффициент 100. В Приложении Л в общих чертах дана система кодов *AISI–SAE*.

Пример: сталь 1040 – здесь первая цифра 1 указывает на серию – это углеродистая сталь. Номер 100 означает, что это нелегированная углеродистая сталь с содержанием марганца максимум 1,00 %. Последние цифры – 40 – указывают, что сталь содержит 0,40 % углерода.

Существуют некоторые спецификации особых сталей, которые имеют модифицированные номера Общества инженеров автомобильного транспорта (*SAE*), включающие буквы между первой и второй парой цифр (табл. 34).

Таблица 34

Кодирование основных сталей буквами, добавленными в код *SAE*

Код	Значение букв
XXBXX	B – усиленные бором стали
XXLXX	L – свинцовые стали

В добавление к четырем цифрам Общество инженеров автомобильного транспорта дает дополнительную информацию о сталях и их сплавах при помощи буквенных приставок и окончаний (табл. 35).

Таблица 35

Кодирование сталей и их сплавов буквенными приставками и окончаниями в кодах *SAE*

Приставка/окончание	Значение приставок/окончаний
A	Сплав стали, изготовленной в кислой печи
B	Углеродистая сталь, изготовленная в печи Бессемера
C	Углеродистая сталь, изготовленная в основной мартеновской печи
D	Углеродистая сталь, изготовленная в кислой мартеновской печи
E	Изготовленная в электропечи
X	Отклонения состава от нормальных пределов
H (окончание)	Сталь будет оказывать влияние на условия прокаливаемости

Американское общество по испытанию материалов (ASTM) и Американское общество инженеров-механиков (ASME) издают также стандарты сталей с нанесенным покрытием. Многие эти марки базируются на марках AISI–SAE (Приложение Л).

Британская система кодирования сталей

В Великобритании стандартные коды для спецификации сталей заданы Британским институтом стандартов. Ниже следуют коды для рафинированных сталей.

Первые три цифры кода обозначают тип стали:

От 000 до 199	Углеродистые и неуглеродистые типы; номер обозначает содержание марганца в процентах, умноженное на коэффициент 100
От 200 до 240	Автоматные стали; вторая и третья цифры обозначают приблизительное содержание серы в процентах, умноженное на коэффициент 100
250	Кремнемарганцевые пружинные стали
От 300 до 499	Нержавеющие и окалиностойкие клапанные стали

От 500 до 999	Легированные стали

Четвертым символом является буква, которая означает следующее:

A	Сталь, поставляемая по ее химическому составу, определенному химическим анализом
H	Сталь, поставляемая по стандартам, исходя из ее закаливаемости
M	Сталь, поставляемая по стандартам, исходя из ее механических свойств
S	Сталь нержавеющая

Пятая и шестая цифры обозначают среднее содержание углерода в стали в процентах, умноженных на 100.

Например: сталь с кодом 070M20. Первые три цифры 070 находятся между 000 и 199, т. е. сталь углеродистая или углеродистомарганцевого типа. Код 070 означает, что сталь содержит 0,70 % марганца. Четвертый символ M показывает, что сталь поставляется по техническим условиям исходя из ее механических свойств. Пятая и шестая цифры 20, т. е. сталь содержит 0,20 % углерода. Первые три знака обозначают принадлежность к легированным сталям, которые кодируют в соответствии с основными легирующими элементами (Приложение М). Элементы, записанные через тире, например Mo-Cr, являются основными легирующими элементами. Элементы или группы элементов, разделенной точкой с запятой, например, Mo-Cr; Mo-V; Mo-X*, имеют каждый в отдельности номер в спецификационном диапазоне знаков. Символ X* – это некий средний элемент, иной, чем уже указанный в паспорте. Например: 805M20 – это сплав Ni-Cr-Mo. Здесь первые три знака попадают в диапазон 800…839.

Таблица 36

Код состояния	Диапазон предела прочности на растяжение (МПа или МН·м$^{-2}$)
P	550…700
Q	629…770
R	700…850
S	770…930
T	850…1000
U	930…1080
V	1000…1150
W	1080…1240
X	1150…1300
Y	12400…1400
Z	1540 минимум

Стали, как правило, имеют механические свойства, соответствующие техническим условиям. Это обычно предел прочности на растяжение в упрочненном и отпущенном состояниях. Для определения предела прочности на растяжение может использоваться код, обозначающий диапазон предела прочности на растяжение, который соответствовал бы нагруженному состоянию стали. Буква указывает это состояние (табл. 36).

Системы кодирования нержавеющих сталей

Британская система стандартов кодирования этих сталей связана с системой кодирования Американского института черной металлургии (*AISI*). В основном первые три цифры британской системы совпадают с тремя цифрами, используемыми американской системой. В британской системе, кроме того, за этими тремя цифрами следует буква *S*, а также два числа в интервале от 11 до 99. Это обозначения вариантов стали, специфицированные по первым трем числам, которые находятся в интервале 300 … 499.

Система кодирования инструментальных сталей

Британское кодирование инструментальных сталей базируется на той же основе, что и кодирование Американского института черной металлургии (AISI). Различие состоит в том, что британские коды получаются при добавлении к американским буквы В (Приложение Н).

Системы кодирования литейных чугунов

Коды, принятые для литейных чугунов, относятся к их механическим свойствам. Так, серые литейные чугуны, согласно британским стандартам (*BS*), имеют 7 марок: 150, 180, 220, 260, 300, 350 и 400. Это значения минимальных пределов прочности на растяжение в МПа, или МН·м$^{-2}$, или Н·мм$^{-2}$ для контрольных образцов диаметром в 30 мм. Американское общество по испытанию материалов (ASTM) использует значения минимальных напряжений в k.s.i. (klb·in^{-2}) [кфунт·дюйм$^{-2}$].

Согласно британским стандартам ковкие литейные чугуны определяются буквами *B, P* или *A,* что означает черносердечный, перлитовый или белосердечный; следующее за буквой число указывает минимальный требуемый предел прочности на растяжение в МПа, или МН·м$^{-2}$ для размеров профилей проката меньше 15 мм, далее после косой черты число, обозначающее относительное удлинение в процентах. Так, для примера В340/12 – черносердечный литейный чугун с минимальным пределом прочности на растяжение в 340 МПа и относительным удлинением в 12 %. В американских стандартах технические условия на ковкие литейные чугуны даны двумя числами: первое – для обозначения предела текучести в 10^2p.s.i. [фунт силы·дюйм$^{-2}$] и второе – относительного удлинения, выраженного в процентах.

Пластические (тягучие) чугуны, согласно британским стандартам, обозначаются двумя числами: первое указывает минимальный предел прочности на растяжение в МПа, или МН·м$^{-2}$, или Н·мм$^{-2}$, а второе – относительное удлинение в процентах, например 420/12. В американских стандартах пластические чу-

гуны определяются тремя числами: первое представляет минимальный предел прочности на растяжение в k.s.i. [кфунт·дюйм$^{-2}$], второе – предел текучести в k.s.i. и третье – относительное удлинение в процентах, например 60-40-18.

Сплавы литейных чугунов, согласно британским стандартам, для безграфитных белых чугунов имеют номера 1, 2 или 3 для указания типа чугуна или сплава (1 – низколегированный, 2 – хромоникелевый, 3 – высокохромированный), следующая за цифрой буква показывает характеристику сплава. Для содержащих графит чугунов, аустенитных чугунов, буквой *L* обозначается чугун с чешуйками графита, а *S* – чугун с частицами сфероидального графита. Далее следуют номера и буквы, обозначающие в процентах состав основных элементов сплавов. Высококремниевый феррит и содержащие графит сплавы определяется по основным сплавляемым элементам и их содержанию в процентах, например *S*i10.

Системы кодирования алюминиевых сплавов

Литейные алюминиевые сплавы. Для этих сплавов Алюминиевая ассоциация (АА) США применяет систему в виде четырех цифр с последней цифрой, отделенной от других трех десятичной точкой. Первая цифра указывает основной сплавляемый элемент (Приложение П, табл. 1). Вторая и третья цифры идентифицируют специфику сплава внутри группы. Четвертая цифра определяет произведенную форму изделия: 0 – литейный сплав, 1 – слиток. Модификация исходного состава указывается буквой перед числовым кодом.

В соответствии с британским стандартом BS1490 код составов литейных сплавов включает буквы LM перед числом. Число указывает спецификацию сплава. В Приложении П, табл. 2 приведены соотношения между литейными сплавами по британскому стандарту (BS) и теми же обычно применяемыми сплавами Алюминиевой ассоциации (АА).

Ковкие алюминиевые сплавы. Для этих сплавов система кодирования является той же, что и для литейных сплавов. Она

использует четыре цифры. Первая указывает основной сплавляемый элемент (Приложение П, табл. 3). Вторая характеризует модификации пределов примеси. Последние две цифры для сплавов 1XXX дают содержание алюминия выше 99,00 % в сотых долях процента. Для сплавов в других сериях цифр последние две цифры просто идентифицируют их.

Полная спецификация сплава, литейного или ковкого, содержит характеристики его твердости как степени холодной или горячей обработки, связанной со спецификацией состава. В табл. 4–6 Приложения П даны основные обозначения, применяемые по 1060-H14.

Системы кодирования медных сплавов

Обычно используемая американская система, разработанная Ассоциацией содействия развитию промышленности медных сплавов (CDA) приведена в Приложении Р (см. табл. 1). В коде применяется буква С, расположенная перед тремя цифрами. Первая указывает группу сплавов, а две другие сплавы внутри группы. Обозначения от C1XX до C7XX употребляют для ковких сплавов, а C8XX и C9XX – для литейных сплавов. Часто в ссылки букву С не включают, используя только три цифры.

Американское общество металлистов имеет свыше сотни обозначений степени твердости для медных сплавов. Лишь немногие из них совпадают с обозначениями британских стандартов.

В табл. 2–5 Приложения Р даны коды и наиболее часто применяемые составы по британскому стандарту (BS), а в табл. 6 и 7 – литейные и ковкие сплавы по классификации Ассоциации содействия развитию промышленности медных сплавов (CDA).

В системе британских стандартов (BS) ковкая медь и медные сплавы специфицированы двумя буквами (в виде исключения одной), стоящими перед тремя цифрами. Буквы указывают группу сплава, а цифры – сплав внутри этой группы. В табл. 2 Приложения Р приведены буквы этой системы кодов. Для определения литейных сплавов употребляются буквы, находящиеся при цифре (табл. 3 Приложения Р). В Британских стандартах литейные спла-

вы сгруппированы в три категории: группа А: сплавы для обычного применения и предпочтительно для основных назначений; группа В: особого назначения сплавы, от которых требуются определенные свойства; группа С: сплавы ограниченного производства. Эти категории указаны в таблице британских стандартов для литейных сплавов (табл. 4 и 5, Приложения Р).

Системы кодирования магниевых сплавов

Для кодирования составов магниевых сплавов широко используется система, разработанная Американским обществом по испытанию материалов (ASTM). Для обозначения сплава применяются буквы и цифры. Первые две буквы указывают на основные сплавляемые элементы (см. табл. 1, Приложение С). Следующие за ними два числа указывают номинальное процентное содержание этих двух сплавляемых элементов. Третья часть обозначения – это буквы от А до Z, но исключая I и O, для указания разных сплавов с тем же самым номинальным составом, специфицированным при предшествующих буквах и числах. Последняя часть кода – спецификация закалки, которая аналогична принятой для алюминия. Для детального ознакомления обычно применяемых закалок существуют Коды для закалок сплавов.

В качестве примера кодирования рассмотрим магниевый сплав AZ81A-T4. Основные сплавляемые элементы – алюминий (А) и цинк (Z). В сплаве номинальное содержание алюминия 8 % и цинка 1 %. Характерным сплавом в этом типе является сплав А. Он имеет закалку Т4, т. е. находится в состоянии горячей обработки раствора.

Система кодирования, применяемая в британском стандарте, использует различные коды для литейных и ковких магниевых сплавов. Для литейных сплавов обозначение состоит из букв MAG со следующим числом, которое применяют в британском стандарте для системы алюминия (Система кодирования степени твердости). Для ковких сплавов обозначение состоит из букв MAG и через черточку следует буква, указывающая форму по-

ставки изделия (S – плита, тонколистовая полоса, E – пруток, профильный прокат и трубы, включая прессованные прокованные заготовки и др.). Далее опять черточка, за которой идет номер выше 100 для указания характеристики сплава. Наконец, имеется еще буква для определения степени твердости; подобные буквы присутствуют и в системе британских стандартов для алюминия.

В качестве примера системы британских стандартов рассмотрим магниевый сплав MAG-S-101M. MAG – сплав на основе магния. Буква S указывает, что он в форме тонколистовой плиты или полосы. Число 101 говорит о специфике сплава. Наконец, буква M определяет, что степень твердости его соответствует моменту изготовления. Например, литейный сплав MAG3TB: цифра 3 раскрывает характеристику сплава, а TB – степень твердости, т. е. то что он был обработан на твердый раствор.

Кодирующая система, применяемая для степени твердости, является той же самой, которая используется для алюминия. Система британских стандартов имеет незначительное отклонение от широко распространенной американской системы Ассоциации содействия развитию промышленности медных сплавов (CDA). В табл. 2 Приложения С приведены степени твердости в основном применяемые для магния.

В табл. 3 Приложения М приведены составы магниевых литейных сплавов по системе Американского общества по испытанию материалов и в соответствии с британским стандартом. В табл. 4 Приложения С приведены составы обычно применяемых ковких магниевых сплавов.

Системы кодирования никелевых сплавов

В основном большинство никелевых сплавов указывают по их торговым маркам. Британские стандарты имеют системы, характеризующая эти сплавы буквами NA, стоящими перед номером для индикации самой специфики сплава. Сверхпрочным сплавам дают, кроме того, маркировку буквами HR. Американское общество по испытанию материалов (ASTM) и Американское общество

инженеров-механиков (ASME) выпускают спецификации для кодов никелевых сплавов, используя буквы, находящиеся перед тремя цифрами. В табл. 1 Приложения Т показана связь сплавов, обозначенных по этим методам, с их торговыми марками.

Системы кодирования титановых сплавов

Титановые сплавы называют по их структуре, т. е. α-сплав, близкий к α, (α+β) и β. Характерные сплавы с такими группами часто называют в терминах их номинального состава, например, Ti-5Al-2,5Sn для титанового сплава с 5 % алюминия и 2,5 % олова. Для характеристики сплавов также используется номинальный состав титановых сплавов.

Одна из основных систем, которая применяется в Великобритании, имеет спецификацию титановых сплавов по названию компании «IMI Ltd» (табл. 37).

В США имеются спецификации Американского общества по испытанию материалов (ASTM) и спецификации (технические условия) на авиационные материалы (AMS). Кроме того, поскольку титановые сплавы в значительной степени применяются для военных целей (например, обшивка надводных кораблей и подводных лодок и т. д.), имеется спецификация военных систем.

Таблица 37

Коды IMI для титановых сплавов

Тип сплава	Номинальный состав	Код IMI
α-фазы	Коммерческий чистый	110, 115, 125, 130, 155, 160
	Ti-Pd	260, 262
α-фазы + соединение	Ti-2,5Cu	230
Вблизи α-фазы	Ti-11Sn-5Zr-2,25Al-1Mo-0,2Si	679
	Ti-6Al-5Zr-0,5Mo-0,25Si	685
	Ti-5,5Al-3,5Sn-3Zr-1Nb-0,25Mo-0,3Si	829

продолжение таблицы 37

(α+ β) - фазы	Ti-6Al-4V	318
	Ti-4Al-4Mo-2Sn-0,5Si	550
	Ti-4Al-4Mo-4Sn-0,5Si	551
β-фазы	Ti-11,5Mo-6Zr-4,5Sn	β-III

Системы кодирования полимеров

В таблице Приложения У приведены обычные аббревиатуры и названия, применяемые для полимеров. Полное название для полимеров дается с целью описания как можно лучше структуры основной полимерной цепи. Так, для гомополимера, образованного из мономера Х название полимера будет полиХ. Если мономер ХУ, тогда полимер будет полиХУ. Для сополимеров из мономеров Х и У название полимера будет Х-У сополимер или поли(Х-со-У). Не все полимеры имеют названия, основанные на исходном материале. У некоторых из них они основаны на повторении единицы размерности в полимерной цепи. Так, если название повторяет единицу размерности Х, полимер называется полиХ. Другие названия базируются на характеристике размерности химической единицы, обычной для группы полимеров, например, эпокси.

Большинство технических полимерных материалов включают добавки так же, как и собственно полимер, и некоторые составлены более чем из одного полимера. Поставщики сырых материалов в состоянии предложить большой диапазон полимеров с различными добавками, подбор комбинации зависит от цели, т. е. от требуемых свойств материала. Некоторые образцы меняют цвет в результате различных пигментов, применяемых в качестве добавок. У других различное процентное содержание по весу стеклянных волокон, и вследствие этого они имеют различные механические свойства. В некоторые полимеры введены тонкозернистые замедлители. Какие-то типы предназначены для того, чтобы в результате изменения структуры полимера варьировались ударные свойства.

Системы кодирования связанных карбидов

Американская кодирующая система для связанных карбидов, применяемых в качестве инструментов при механической обработке, складывается из буквы С стоящей перед номером, который служит для индикации вида обработки. Код такой как, например, С-5 раскрывает не число карбидов, но указывает на способность механически обрабатывать углеродистые и легированные стали. В Приложении Ф (см. табл.1) приведены основные составляющие этой системы.

Международная организация стандартов (ISO) имеет подобную систему. Из нее, например, ясно, что инструмент из карбида лучше, чем из его соединения. Она применяет буквы Р, М или К, которые ставят перед двумя цифрами. Эта система приведена в табл. 2 Приложения Ф.

Международная организация стандартов приравнивает группу К приблизительно к американским кодам от С-1 до С-4, группу Р – от С-5 до С-8, а М – к промежуточной группе.

Таким образом, управление качеством материала обеспечивается через стандартизацию, регламентирующую критерии качества материала, их нормы в нормативно-технических документах и государственных стандартах. При этом вопросы стандартизации рассматриваются комплексно – от исходных и сырьевых материалов до изделий из черных и цветных металлов и сплавов, а также особых материалов, применяемых в различных отраслях экономики. Наряду с применяемыми системами кодирования и маркировки материалов, принятых в бывшем СССР, используют широко распространенные системы американских, британских, немецких, японских стандартов.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ПО РАЗДЕЛУ 2

1. Какое прикладное значение имеет изучение теоретических основ материаловедения?

2. Из каких блоков состоит теоретический курс материаловедения, и какие вопросы включает в свой состав?

3. В чем заключаются основные связи в материаловедении, и каковы основные положения структурной теории материалов?

4. Какие методы исследования применяют для изучения макроструктуры, микроструктуры и субмикроструктуры материалов, и какие сведения они позволяют получить?

5. Какие системы классификации материалов существуют, и какие основные признаки положены в их основу?

6. По каким признакам классифицируют железные сплавы, и какие марки сталей и чугунов объединены в те или иные группы?

7. Какие цветные металлы и сплавы наиболее широко применяют в технике и почему?

8. По каким признакам классифицируют неметаллические материалы (полимерные, керамические, резиновые, древесные) и какими преимуществами в конкретных областях применения они характеризуются?

9. Какие материалы относятся к новым, и какими особенностями строения, получения и применения они характеризуются?

10. Для чего нужны стандартизация, системы кодирования материалов?

3. ПРАКТИКА ВЫБОРА МАТЕРИАЛОВ КОНКРЕТНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

3.1. Общие подходы к решению практических задач по выбору материалов

Научно обоснованный выбор материала для конкретного применения – сложная задача, решение которой требует обширных знаний в области материаловедения (в соединении с методологическими представлениями об организации исследовательских действий). При этом важно не количество, а качество знаний. Под этим качеством понимается умение ориентироваться в физической сущности и практической значимости технической задачи, для того чтобы, используя справочную литературу и теоретические знания, найти верные пути для её решения.

Решение задачи может быть успешным лишь в случае, если наряду с теоретико-методологическими знаниями используются практические сведения, т. е. теоретические знания необходимо преломлять через призму конкретных практических задач.

Этой цели служат *практические задачи*, рассматриваемые ниже.

Решение практических задач по выбору определенных марок сталей, сплавов цветных металлов, неметаллических материалов связано с определением их химических составов, структуры и свойств рассматриваемых материалов, технологий их обработки на основе анализа возможных вариантов применения. Все необходимые сведения для обеспечения выбора материала разыскивают, активно используя справочную литературу [8, 9, 25, 26, 28, 34, 35 и др.].

Следует обратить внимание на эту особенность, отличающую приведенные задачи от привычных задач из физики, математики и других наук, когда все исходные данные довольно четко задаются условием задачи, а их решение выполняется по четкому алгоритму. В случае решения задач по выбору материала, сама постановка задачи предполагает всесторонний анализ

различных ситуаций и допускает, в конечном счете, несколько возможных решений. Это весьма характерно для практики решения проблем материаловедческого характера.

В настоящем разделе представлены некоторые типичные задачи по выбору материалов разных классов, используемых в технике. Из анализа решений этих задач можно понять, как осуществляется на практике научно обоснованный выбор материала, отвечающего требуемым условиям работы или заданным характеристикам.

Приступая к выполнению конкретной задачи по выбору материалов, важно, в первую очередь, понять практическую сущность задания, чтобы теоретически обосновать применение того или иного варианта решения. Правильней будет сказать, что задачи по выбору материалов не решают, а осуществляют поиск научно обоснованных возможных решений. В процессе поисковых исследований происходит осмысление собранного материала и отбор необходимых сведений с использованием методологических знаний по организации научного исследования, включающих основные принципы выбора материалов, а также методики и правила, которые описаны в разделе 1. Методологически обоснованной является такая форма решения задачи, которая в каждом конкретном случае содержит пояснения выполняемых действий, мотивированных самой постановкой задачи.

Конечный вывод, полученный при решении задачи, должен содержать как понятия, определённые заданием, так и те понятия, которые необходимо отыскать в справочной литературе. Следует отдельно выделить каждое из этих понятий и желательно дать ему определение.

При решении практических задач по выбору материала необходима опора на практические рекомендации, выведенных с учетом специфического поведения материала в условиях эксплуатации и реальных технологических режимов обработки, обеспечивающих требуемые свойства. В этой связи ниже приведем некоторые рекомендации по выбору конструкционных

материалов и технологических режимов их обработки, взятые из книги Лахтина Ю.Н. и Леонтьевой В.А. [18], а также ряд особенностей применения выбираемых материалов. Конечно, при выборе материала для каждого конкретного случая применения могут потребоваться намного больше сведений из практики, которые следует находить в специальной литературе. Список рекомендуемых источников для решения задач по выбору материалов приведен в конце учебника.

Рекомендации из практики выбора материалов и режимов обработки

Решение практических задач исходит из четкой формулировки *требований к материалу* конкретного применения, основные из которых – требования по свойствам (эксплуатационные, технологические); по изготавливаемому изделию и обработке материала; по классу материалов, пригодных для конкретного применения; по экономической целесообразности (см. параграфы 1.5 и 1.6, раздел 1).

Требования к материалу часто бывают противоречивы. Так, например, более прочные материалы менее технологичны, труднее обрабатываются резанием, давлением, плохо свариваются и т. д. Поэтому *решение при выборе материала обычно компромиссно*.

В массовом машиностроении предпочитают упрощение технологии и снижение трудоёмкости в процессе изготовления детали при некоторой потере свойств материала за счет увеличения массы детали. В специальных отраслях машиностроения, где проблема прочности играет решающую роль, выбор материала и последующая технология термической обработки должны рассматриваться из условия достижения только максимальных эксплуатационных свойств. Однако не следует стремиться к более высокой долговечности деталей по отношению к долговечности самой машины.

Так, *при выборе стали* для получения требуемых механических свойств и других характеристик важно установить опти-

мальный вид упрочняющей термической или химико-термической обработки.

При *выборе технологий* упрочняющей обработки материалов изделий, особенно в условиях массового производства, предпочтение следует отдавать наиболее экономичным и производительным технологическим процессам, например, поверхностной закалке при индукционном нагреве, газовой цементации, нитроцементации и т. д. Для проведения упрочняющей обработки на каждую деталь составляется технологическая карта с указанием материала, режима термической обработки, применяемого оборудования, приспособления, контроля качества и т. д.

Обычно рассматривается *возможность применения нескольких марок материалов и способов упрочнения*. Это позволяет выбрать наиболее рациональный вариант, обеспечивающий наряду с высокими эксплуатационными свойствами детали, хорошую технологичность при выполнении механической и термической обработки.

Первыми параметрами, определяющими выбор материала, являются стандартные механические свойства и распределение их по сечению, удовлетворяющие эксплуатационные требования. Для стали оптимальное сочетание прочности и пластичности после улучшения достигается, если сечение изделия соответствует критическому диаметру (95 % мартенсита).

Для стали *механические свойства,* определяющие выбор, зависят от содержания углерода, который влияет на закаливаемость стали. Прокаливаемость же стали определяется в основном легирующими элементами. В условиях полной прокаливаемости механические свойства мало зависят от природы и степени легированности. Однако не следует стремиться к применению сталей с излишне высокой прокаливаемостью, поскольку необходимое для этого высокое содержание хрома, марганца и других элементов способствует росту склонности к хрупкому разрушению. Исключение составляет никель, повышающий вязкость разрушения. Глубокопрокаливающиеся стали

применяют для крупных деталей с большой толщиной стенки или большим диаметром.

Для изделий, работающих на изгиб (кручение), напряжения по сечению распределяются неравномерно и для них не требуется сквозная прокаливаемость (закаленный слой должен располагаться на глубине ½ радиуса от поверхности).

Для деталей, работающих на растяжение (шатуны, торсионные валы, ответственные болты и др.), а также для рессор и пружин нужно обеспечить полную прокаливаемость по всему сечению.

Детали сложной конфигурации с целью уменьшения их деформации в процессе закалки также следует изготавливать из легированных сталей, закаливаемых в масле или даже на воздухе. Необходимо учитывать, что легирующие элементы повышают устойчивость аустенита против отпуска, поэтому для получения требуемой прочности и твёрдости легированные стали подвергают отпуску при более высокой температуре.

Для изделий, требующих высоких значений ударной вязкости и низкого порога хладноломкости, например, работающих при низких температурах с высокими скоростями приложения нагрузки и при наличии концентраторов напряжений, следует применять мелкозернистые спокойные стали, предпочтительно легированные никелем или молибденом.

Детали, которые должны сопротивляться изнашиванию при различных давлениях, обладать высокой прочностью при изгибе и кручении, высокими значениями усталостной прочности, противостоять высоким контактным напряжениям, сопротивляться схватыванию и задирам в различных условиях изнашивания, подвергают поверхностному упрочнению. Работоспособность таких деталей в эксплуатации зависит от свойств поверхности и сердцевины. В зависимости от условий работы деталей, их упрочнение достигается закалкой и отпуском, поверхностной закалкой или химико-термической обработкой, чаще цементацией и нитроцементацией с последующей закалкой и низким отпуском, реже азотированием.

При выборе технологического процесса необходимо учитывать как требования, предъявляемые к свойствам поверхности, так и к свойствам сердцевины детали. Зачастую, необходимый уровень свойств может быть получен несколькими видами термического или химико-термического упрочнения. В этом случае следует отдавать предпочтение процессам с наименьшей себестоимостью (трудоемкостью и энергоемкостью).

Поскольку поверхностный слой обладает меньшей пластичностью, чем сердцевина, при больших статических нагрузках пластическая деформация обычно возникает под упрочнённым слоем, что, в свою очередь, приводит к увеличению деформации в слое. При повышении предела текучести сердцевины и ограниченном запасе пластичности слоя в нём образуются трещины. Следовательно, работоспособность деталей при статических нагрузках зависит от предела текучести сердцевины и запаса пластичности в упрочнённом слое.

При циклических нагрузках сопротивление поверхностно упрочняемых деталей разрушению зависит от прочности сердцевины. Повышение прочности сердцевины способствует увеличению и контактной прочности. Поэтому в таких условиях одно из важнейших значений при выборе стали приобретает прокаливаемость. Однако сближение прочностных свойств слоя и сердцевины приводит к снижению предела выносливости деталей.

Выбор марки литейного сплава зависит от метода литья и характеристик конечного изделия. Так, различные виды термообработки и старения позволяют улучшить механические свойства *алюминиевых* сплавов.

Термическая обработка позволяет управлять свойствами материала. Даже если выбор материала не обеспечивает в полной мере необходимый комплекс требуемых свойств, можно разработать такую технологию термической обработки, которая позволит довести свойства до нужного уровня.

Это обусловлено тем, что в основе большинства режимов термической обработки сплавов лежит очень важный эффект.

Он связан с тем, что растворимость в твердом состоянии компонентов сплава зависит от температуры.

В отличие от чистого металла, в котором все атомы одинаковы, в двухкомпонентном, например твердом, растворе имеются атомы двух разных сортов, случайно распределенные по узлам кристаллической решетки. Если увеличивать количество атомов второго сорта, то можно достичь состояния, когда они не смогут просто замещать атомы первого сорта. Если количество второго компонента превышает этот предел растворимости в твердом состоянии, в равновесной структуре сплава появляются включения второй фазы, отличающиеся по составу и структуре от исходных зерен и обычно разбросанные между ними в виде отдельных частиц. Такие частицы второй фазы могут оказывать сильное влияние на физические свойства материала, что зависит от их размера, формы и распределения. Эти параметры можно изменять термической обработкой.

Растворимость в твердом состоянии обычно увеличивается с повышением температуры, как показано на рис. 3.1.

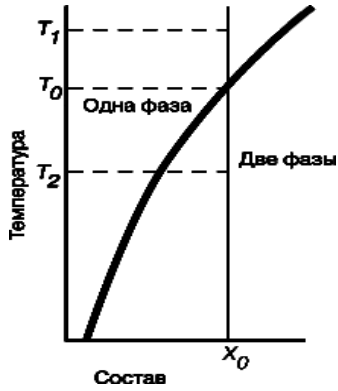


Рис. 3.1. Участок диаграммы двухкомпонентного сплава

Сплав, температура и состав которого соответствуют точкам, лежащим слева от кривой, – однофазный, т. е. представляет

собой твердый раствор. Видно, что при равновесных условиях материал, который по своему составу и температуре лежит слева от кривой, существует в виде одной фазы – твердого раствора. Справа же от кривой состав и температура соответствуют структуре, содержащей вторую фазу, каким-то образом диспергированную в первой. Если состав сплава определяется абсциссой X_0 , то его равновесная структура может быть либо однофазной, либо двухфазной в зависимости от температуры.

Следует иметь в виду, что рис. 3.1 иллюстрирует структуры, которые могут существовать лишь в равновесных условиях, а при низких температурах для достижения равновесия требуется много времени. Если сплав состава X_0 поддерживать при температуре T_1, то, в конце концов, он станет однофазным твердым раствором. Вторая фаза, присутствовавшая в нем первоначально, исчезнет вследствие диффузии ее атомов, которые станут частью твердого раствора. Эта обработка называется *термической обработкой на твердый раствор.* Если после этого медленно охлаждать материал, то при температуре T_0 начнут возникать частицы второй фазы, которые будут расти при дальнейшем понижении температуры. Это приведет к тому, что образуется небольшое количество довольно крупных частиц, наличие которых будет сказываться, например, на механических свойствах. Однако процесс выделения второй фазы можно проводить иначе.

Если твердый раствор, соответствующий температуре T_1, достаточно быстро охладить до комнатной температуры, то сохранится однофазный твердый раствор. Хотя его равновесная структура должна быть двухфазной, скорость диффузии при комнатной температуре столь мала, что структуру твердого раствора можно считать практически стабильной. Если же теперь материал нагреть до температуры, не выходящей за пределы двухфазной области, но обеспечивающей быструю диффузию, то можно вызвать выделение второй фазы в высокодисперсной форме. Эта обработка называется *старением раствора*.

Выбирая нужную длительность и температуру старения, можно контролировать размеры зерна, что позволяет добиться дисперсности частиц, существенно повышающей прочность материала.

Термической обработкой на старение раствора, можно упрочнять многие практически полезные сплавы, например, *серебряный припой «стерлинг»*, содержащий несколько процентов меди или алюминиевые сплавы, содержащие несколько процентов меди и составляющие основу дюралюмина. Упрочняющим старением таких сплавов достигается очень высокое отношение предела прочности к весу. Особенно интересно то, что их упрочняющее старение в какой-то мере может происходить за счет диффузии при комнатной температуре. После термической обработки на твердый раствор и закалки до комнатной температуры прочность таких сплавов постепенно увеличивается в 2 раза на протяжении нескольких дней вследствие выделения второй фазы, происходящего при комнатной температуре. Чтобы сохранить состояние твердого раствора, материал приходится хранить при пониженной температуре. Так, дюралюминовая заклепка, выдерживаемая в сухом льду после термической обработки на твердый раствор, остается мягкой до установки на место, а затем за несколько дней сама по себе упрочняется при комнатной температуре.

Сплавы «алнико» (на железной основе, содержащие алюминий, никель и кобальт) для постоянных магнитов. Чтобы такой сплав приобрел магнитные свойства, оптимальные для постоянных магнитов, его после термической обработки на твердый раствор подвергают закалке и старению при условиях, обеспечивающих определенные размеры, форму и распределение частиц вторичных фаз. Для повышения эффективности старения проводят в магнитном поле.

Таким образом, при эксплуатации материала на практике могут возникать различные проблемы, которые не позволяют осуществить окончательный выбор материала без применения альтернативных технологий обработки. То есть процесс выбо-

ра материала сильно и процесс выбора технологии обработки – неразделимы, что подтверждается ниже приведенными примерами выбора материалов и технологических режимов обработки для некоторых типовых деталей машин.

Материалы и режимы упрочняющей обработки, рекомендуемые для типовых деталей машин

Валы. Эксплуатационная стойкость валов определяется усталостной прочностью в условиях кручения и изгиба, контактной прочностью и износостойкостью.

Малонагруженные валы, медленно вращающиеся валы изготовляют из недорогих сталей Ст3, 4 и 5, 35, 40, 45. Такие валы не подвергаются термической обработке.

Валы небольших размеров, например в станкостроении, которые должны обладать высокой прочностью на изгиб и кручение, а также усталостной прочностью, изготавливают из сталей 40Х (диаметр вала d=20–25 мм), 50Х (d=35–40 мм), 40ХГР (d=50–55 мм) и подвергают закалке и низкому отпуску на HRC45–50, реже закалке и среднему отпуску на HRC35–42.

Средненагруженные валы диаметром до 80–100 мм в том случае, когда работоспособность определяется прочностью на изгиб и кручение, а не контактной выносливостью и износостойкостью, изготовляют из сталей 45, 40Х, 50Х и подвергают улучшению (σв=800–1000 МПа).

Высоконагруженные валы большого диаметра (100–130 мм и выше) изготавливают из хромоникелевых, хромоникельмолибденовых глубоко прокаливающихся сталей 50ХН, 40ХНМА, 34ХНМ3МА и подвергают улучшению ($\sigma_в$ >1000 МПа).

Для очень ответственных валов большого сечения (в турбо- и компрессоростроении), от которых требуется значительная прочность в больших сечениях, применяют стали 30ХН2ВФА, 36ХНМФА, 38ХН3МФА, 30Х2НВФА и др. Упрочняют их улучшением.

Валы (гладкие, ступенчатые и шлицевые), работоспособность которых определяется контактной выносливостью и износостойкостью, должны иметь высокую поверхностную твёрдость HRC48–50. Такие валы небольших размеров изготавливают из сталей 45 и 50 и упрочняют поверхностной закалкой при индукционном нагреве. Если они работают еще на изгиб и кручение, перед поверхностной закалкой проводят улучшение. В этом случае более крупные валы изготовляют из легированных сталей 40Х, 40ХГТ и др., обеспечивающих повышенную прокаливаемость.

Когда требуется более высокая износостойкость и, соответственно, более высокая поверхностная твёрдость, например, для быстроходных валов станков диаметром 25–30, 60–80, 80–100 мм, их изготавливают из сталей 20Х, 18ХГТ, 12ХН3А, которые подвергают цементации, закалке и низко-температурному отпуску. Можно также использовать стали 25ХГМ, 25ХГТ с упрочнением нитроцементацией.

В автостроении для изготовления ведущего и ведомого валов коробки передач автомобилей разных конструкций и грузоподъемности применяют стали 25ХГМ, 15ХГНТА, 35Х и 40Х. Валы из стали 25ХГТ упрочняют нитроцементацией (HRC60–65), из стали 15ХГНТ – цементацией (HRC58–64) 35Х – цианированием (HRC48–53). Эти детали после указанных режимов химико-термической обработки обладают высоким сопротивлением изнашиванию и высокой прочностью на изгиб.

Для изготовления цементируемых валов большого диаметра (100 мм), когда требуется высокая прочность сердцевины, применяют сложнолегированные стали, например, 35Х2ГНТА, обеспечивающие высокую прокаливаемость. В случаях, когда нужно особое высокое сопротивление изнашиванию, валы изготовляют из стали 38Х2МЮА с последующим азотированием (табл. 38–39).

Таблица 38

Марки сталей и типовые режимы окончательной термической обработки, рекомендуемые для изготовления валов

Наименование вала	Марка стали	Термическая обработка
Валы ступенчатые, гладкие диаметром не менее 140–150 мм	45 (50)	Высокий отпуск 550 °С, поверхностная закалка при индукционном нагреве, отпуск 170–180 °С
Валы ступенчатые, гладкие, шлицевые ответств. назначения	20Х, 18ХГТ, 12ХН3А	Цементация 930 °С, нормализация 880 °С (при необходимости), отпуск 170–200 °С
Коленчатые валы	40, 45, 40Х, 50Г, 40ХН, 40ХФА	Нормализация/закалка с высоким отпуском, поверхностная закалка при индукционном нагреве шеек, самоотпуск при 150–170 °С
	45Х	Закалка 840 °С, отпуск при 580–600 °С, жидкое азотирование при 570 °С
	18Х2Н4ВА, 38Х2МЮА	Закалка, отпуск при 550 °С, азотирование при 550 °С, 40 ч

Таблица 39

Свойства сталей после типовой термической обработки валов

Марка стали	Твердость сердцевины	Твердость поверхности	Толщина упрочнённого слоя, мм
45(50)	Не регламентируется	HRC50-56 (54-60)	1,3–2,0
20Х	НВ1860	HRC56-62	0,7–1,0
18ХГТ	НВ2070-3020	HRC56-62	1,3–1,6
12ХН3А	НВ2170-3020	HRC56-62	1,3–1,6

продолжение таблицы 39

40, 45, 40Х, 50Г, 40ХН 40ХФА	НВ1630-2690	HRC56-62	4–5
45Х	HV2500-3500	HV5500-7000	0,3–0,4
18Х2Н4В2, 38ХМЮА	HV2500-3000	HV 7000-6000	0,3–0,4

Зубчатые колёса. Выход из строя зубчатых колёс связан с контактным усталостным разрушением, заеданием, а также с поломкой зуба из-за усталости или кратковременных перегрузок. Сталь и вид окончательной термической или химико-термической обработки для зубчатых колес устанавливаются в зависимости от их конструкции и условий службы.

Силовые зубчатые колёса должны обладать высокой износостойкостью рабочих поверхностей и достаточной статической усталостной прочностью на изгиб и при контактном нагружении. Сталь и упрочняющая обработка шестерен должны обеспечить высокий предел прочности, усталостную прочность, в т. ч. и при контактном нагружении, а также удовлетворительную вязкость. Наиболее полно этим требованиям отвечают легированные цементуемые стали или нитроцементуемые стали.

Средненагруженные зубчатые колёса можно изготавливать из сталей 45, 50, 40Х, 50Х, 50ХН с упрочнением поверхностной закалкой при индукционном нагреве и низкотемпературным отпуском.

Для малонагруженных зубчатых колёс используют стали, прошедшие улучшение (НВ2000–3200). После изготовления термообработка не проводится. Такие зубчатые колёса хорошо прирабатываются.

Для изготовления зубчатых колес в условиях единичного и мелкосерийного производства применяют улучшаемые стали 40, 45, 50Г, 40Х, 30ХГС и др. В этом случае чистовое нарезание зубьев производится после улучшения (НВ2800–3200 – для не-

больших колес и НВ2000–2400 – для крупных колес), что обеспечивает высокую точность их размеров.

Колеса больших диаметров изготовляют из сталей 35Л – 50Л, 40ХЛ, 30ХГСЛ и др. Литые колеса подвергают нормализации, с последующим высоким отпуском для легированных сталей.

Таблица 40

Марки сталей и типовые режимы термической и химико-термической обработки, рекомендуемые для изготовления зубчатых колёс

Марка стали	Термическая обработка
40Х	Нитроцементация при 830 °С, закалка (масло), отпуск при 200 °С
25ХГТ	Нитроцементация при 850 °С, ступенчатая закалка (горячее масло 180 °С), отпуск при 180 °С
20ХНМ, 30ХГТ	Газовая цементация при 930 °С, закалка в масле после подстуживания до 850 °С, отпуск 200 °С
12ХН3А	Цементация 900 °С, закалка 800 °С (масло), отпуск при 170 °С
18Х2Н4ВА	Цементация 900 °С, отпуск 650 °С (двукратный), закалка с 830 °С (воздух), отпуск при 180 °С
20ХНМ	Газовая цементация 930 °С, отпуск при 620 °С, закалка 830 °С, отпуск при 190 °С
25Х2ХГНТА	Газовая цементация 930 °С, отпуск при 660 °С, закалка с 810 °С, отпуск при 180 °С
18ХГТ	Газовая цементация 930°С, закалка в масле после подстуживания до 830 °С, отпуск 190 °С
40ХФА	Закалка 890 ^{0}С, отпуск при 650 ^{0}С, основная механическая обработка, отпуск при 570 ^{0}С, азотирование при 510 ^{0}С

Таблица 41

Свойства сталей после типовой термической обработки зубчатых колёс

Марка стали	Твердость сердцевины	Твердость поверхности	Толщина упрочнённого слоя, мм
40Х	НВ1870-2410	HRC48-53	0,15-0,2*m**
25ХГТ	HRC35-45	HRC52-62	0,5-0,7
20ХГНМ, 30ХГТ	HRC26-40	HRC58-64	1,0-1,5
12ХН3А	HRC30-40	HRC56-60	0,8-1,1
18Х2Н4ВА	HRC35-43	HRC56-59	0,6-0,9
20ХНМ	HRC30-40	HRC56-60	0,25 *m*
25Х2ХГНТА	HRC30-40	HRC56-60	0,2-0,26 *m*
18ХГТ	HRC30	HRC56-60	0,2-0,25 *m*
40ХФА	НВ2480-2770	HV6100-7000	0,12 *m*

Примечание: * - *m* – модуль колеса

В табл. 40 и 41 приведены наиболее типичные марки сталей, их режимы упрочняющей обработки и получаемые свойства.

Нормали. Для изготовления нормалей (болтов, гаек, шпилек и др.) чаще всего применяют углеродистые и легированные стали. Разрушение этих деталей при эксплуатации происходит в случае: а) ослабления соединения и вязкого разрушения из-за недостаточного запаса прочности; б) хрупкого разрушения из-за высокой твердости, наличия поверхностного наклепа после холодной высадки, не снятого рекристаллизационным отжигом; в) присутствия в структуре цементита.

Установление причин разрушения позволило определить, что лучшие эксплуатационные свойства для деталей крепежа получаются при твёрдости HRC30–35. Болты, шпильки и другие детали крепежа, не испытывающие в работе высоких напряжений, можно изготовлять из сталей 40, 40Х, 30ХГС и подвергать нормализации на твёрдость HRC25–30.

Если детали испытывают высокие и сложные напряжения, их надо изготавливать из сталей 40Х, 40ХН или 4,ХНМА и проводить нормализацию на твердость HRC30–35.

Если детали получают холодной штамповкой (высадкой), необходимо проводить нормализацию при 880–890 ^{0}С с целью снятия наклёпа и растворения цементита для снижения хрупкости.

Шпиндели. Основное требование к материалу шпинделей для опор качения и скольжения – обеспечение повышенной твердости с целью получения высокого сопротивления изнашиванию, схватыванию, образованию забоин, вмятин и т. д. Сталь для шпинделей выбирают с учетом прокаливаемости в зависимости от сечения изделия. Чем больше толщина стенки, тем выше должна быть легированность стали для обеспечения требуемой прокаливаемости.

Шпиндели для станков нормальной и повышенной точности упрочняют поверхностной закалкой при нагреве ТВЧ или объемной закалкой с отпуском на твердость HRC40–50. Шпиндели станков особо высокой точности упрочняют цементацией или азотированием на твердость не менее HRC56. В качестве материала для изготовления цементуемых шпинделей применяют стали 20Х, 18ХГТ, 12ХН3А. Применение легированных сталей при производстве закалки в масле (расплавленные соли), что снижает деформацию шпинделя. Шпиндели этого же типа подвергаемые азотированию, изготавливают из сталей 18ХГТ.

Шпиндели для опор скольжения станков высокой точности чаще изготовляют из стали 38Х2МЮА и подвергают азотированию. Для станков нормальной точности шпиндели можно изготовлять из стали 50 или У8 и упрочнять поверхностной закалкой при индукционном нагреве (HRC58-62).

Трубчатые детали (гильзы, втулки и др.). Эти детали должны обладать высокой износостойкостью, стабильностью конфигурации и размеров во времени.

Чаще их изготавливают из сталей 40ХФА, 30Х3ВА, 38Х2МЮА и подвергают азотированию. Азотирование обеспечивает высокую износостойкость и малые деформации. Может

быть применена для упрочнения и цементация. При толщине стенки 14–18 мм применяют сталь 20Х, при 40–45 мм – 18ХГТ и при 70–75 мм – 12ХН3А.

Детали этой группы могут деформироваться в процессе механической и термической обработки. Чтобы уменьшить деформацию после механической обработки, обычно производится стабилизирующий отпуск.

Особенности применения некоторых материалов

Поскольку конечная цель задачи по выбору материала связана с его конкретным применением, необходимо четко представлять сферы применения разных материалов. Поэтому в книге отводится особое внимание именно этому аспекту.

В Приложениях М, У, Ф, Ц, Ч, Ш и ниже приведены в обобщенном виде некоторые типичные области применения важнейших технических материалов: легированных сталей, углеродистых сталей, литейных чугунов, нержавеющих сталей, инструментальных сталей.

В практике использования конкретных материалов всегда имеются свои особенности применения. Так, листовая сталь с низким содержанием углерода (0,06…0,12 %) широко применяется для конструкций корпусов автомобилей и изделий из белой жести. Она формуется, легко сваривается и относительно дешевая, имеет достаточную прочность для областей, где не требуется высокая прочность. Такие стали обрабатываются без нагрева, и конечной их обработкой является холодная прокатка листового материала с обжатием на 3…5 %. По твердости углеродистые стали можно разделить на три группы: с низким содержанием углерода (0,10…0,25 %), средним (0,25…0,55 %) и высоким содержанием (0,55…1,00 %). Стали с низким содержанием углерода обычно не закалены и отпущены, но они могут быть науглерожены до состояния твердости. Такие стали применяются для лопастей двигателей, шкивов маховиков и других легко нагружаемых деталей. Среднеуглеродистые стали обладают после

закалки и отпуска целым диапазоном свойств. Они имеют широкую сферу применения, например, как валы или детали в автомобильных трансмиссиях, подвесках и штурвалах. Использование высокоуглеродистых сталей более ограничено, т. к. они имеют низкую формуемость и свариваемость, а также являются более дорогими. Они применяются в отожженном и отпущенном состояниях, например, для зажимных кулачков.

Серые чугуны имеют очень хорошую обрабатываемость на станках и стабильность, хорошее сопротивление износу, но низкий предел прочности на растяжение, а также низкую пластичность. Они обладают хорошей прочностью на сжатие, но низкими ударными свойствами. Белый чугун показывает великолепное сопротивление абразивному износу и высокую твердость, Он, однако, почти не поддается обработке на станках и из-за этого может быть получен в конечной форме только литьем. Ковкие чугуны хорошо обрабатываются на станках и стабильны, имеют более высокий предел на растяжение с приемлемой пластичностью. Их обрабатываемость на станках и характеристики износа приемлемые, но не такие хорошие, как у серых чугунов.

Нержавеющие стали, в основном, это аустенитные стали, широко использующиеся и при нормальной, и при высокой температурах благодаря их высокой стойкости против коррозии и формуемости. Ферритные стали большей частью применяются как основные конструкционные материалы, где могут играть роль их хорошие коррозионные и тепловые свойства. Они, однако, применяются меньше, чем аустенитные стали, т. к. имеют плохую свариваемость, недостаточную пластичность и чувствительность к надрезу. Мартенситные стали менее коррозионностойкие, чем аустенитные или ферритные. Их параметры на растяжение контролируются при тепловой обработке, которой они подвергаются.

Из цветных сплавов очень широко применяют сплавы алюминий-кремний с некоторым количеством меди и/или магния. Они имеют преимущество перед сплавами алюминий-медь бла-

годаря их лучшей текучести в жидком состоянии и сопротивлению коррозии.

Из неметаллических материалов широко используют огнеупорные материалы, состоящие из глинозема и кремнезема. Огнеупорность возрастает с увеличением содержания глинозема. Изделия с содержанием глинозема 20–40 % употребляются в качестве огнеупорного шамотного кирпича. Для жестких условий применения количество глинозема увеличивается: керамика с глиноземом более 71,8 % может работать до 1800 ^{0}С. С содержанием глинозема 90 % производится прочная, тонко гранулированная керамика для заданных механических условий. С содержанием 96 % выпускается керамика, которая обладает превосходными свойствами для специального назначения в электронике, а с содержанием 99,9 % – твердая, прочная керамика для тяжелых механических нагрузок и агрессивной среды.

3.2. Примеры решения практических задач по выбору материалов конкретного применения

Рассмотренные в данном параграфе примеры решения задач по выбору материалов взяты из разнообразных источников и позволяют наглядно продемонстрировать, как осуществляют научный поиск и находят оптимальные решения в практике. Это примеры по конструкционным материалам общего назначения, инструментальным сталям, цветным сплавам, особым и неметаллическим материалам, их изучение важно для развития навыков научно обоснованного выбора материалов.

Решение задач по выбору материалов из класса конструкционных и инструментальных сталей, цветных сплавов приведено на примере задач, описанных в книге Геллер Ю.А. и Рахштадт А.Г. Решение задачи дается в описательной форме как результат анализа группового ряда материалов.

Так, в параграфе 3.2.1, пример 1 демонстрируют задачу, в которой ставится проблема выбора трех марок сталей для изго-

товления вала, работающего в определенных условиях. Решение строится на анализе свойств материала в разных состояниях с обоснованием возможной термической обработки, дающей необходимую структуру и свойства. Подобного типа задача приведена в примере 2 по подбору материала и упрочняющей обработки для изготовления конкретной детали. Пример 3 посвящен выбору инструментальной стали повышенной теплостойкости, предназначенной для изготовления сверл и фрез. Анализируя целый класс функциональных материалов, необходимо прийти к научно обоснованному решению по выбору марки стали с требуемыми характеристиками. На примере 4 показано решение задачи по выбору материалов из класса цветных сплавов на основе меди, где требуется объяснить сущность явления, ответственного за поведение материала (латуни) в определенных условиях. Пример 5 из области практических задач, посвященных выбору оптимальных составов антикоррозионных сталей, отвечающих за коррозионную стойкость и, в конечном счете, механические свойства.

В параграфе 3.2.2 рассматриваются примеры решения задач по выбору особых и неметаллических материалов. Так, на примере 1 сравниваются определенные марки электротехнических сталей по их магнитным характеристикам и по их оценкам осуществляют оптимальный выбор. Задача такого типа отличается более четкой структурированностью с использованием расчетов по соответствующим формулам. В другой задаче (примере 2) обосновывается выбор устойчивого против коррозии неметаллического материала, способного заменить металлический материал в фильтрах буровых скважин. Примеры 3 и 4 посвящены выбору неметаллических материалов из класса пластмасс и древесины для конкретного назначения. Пластмассы, часто по своим физико-механическим и технологическим свойствам являются наиболее прогрессивными и незаменимыми материалами для машиностроения, например, для изготовления подшипников. В качестве конструкционного материала широко используется древесина (пример 4). Выбор древесного материала строится на

знании ее строения, свойств и особенностей поведения при обработке.

3.2.1. Примеры решения задач по выбору материалов общего назначения

Пример 1.

Постановка задачи

Заводу нужно изготовить вал диаметром 70 мм для работы с большими нагрузками. Сталь должна иметь предел текучести не ниже 750 МПа, предел выносливости не ниже 400 МПа и ударную вязкость не ниже 900 кДж/м^2. Завод имеет сталь трех марок: Ст40, 45 и 20ХН3А. Какую из этих сталей следует применить для изготовления вала? Нужна ли термическая обработка выбранной стали и если нужна, то какая? Дать характеристику микроструктуры и указать механические свойства после окончательной термической обработки.

Решение задачи.

Химический состав сталей марок Ст40, 45 и 20ХН3А следующий:

Марка стали	Содержание химических элементов, %						
	C	Mn	Si	Cr	Ni	S	P
Ст40 (ГОСТ 380-71)	0,18–0,27	0,4–0,7	0,12–0,30	≤0,30	≤0,30	≤0,05	≤0,04
45(ГОСТ 1050-74)	0,42–0,50	0,50–0,80	0,17–0,37	≤0,25	≤0,25	≤0,045	≤0,04
20ХН3А (ГОСТ 4343-71)	0,17–0,23	0,30–0,60	0,17–0,37	0,60–0,40	2,75–3,15	0,025	0,025

Сталь марки Ст40, согласно ГОСТ, имеет следующие свойства в состоянии поставки (после прокатки или ковки):

$$\sigma_B = 420 \div 540 \text{ МПа}, \sigma_{0,2} \geq 240 \div 260 \text{ МПа}, \delta \geq 21 \%.$$

Сталь 45, согласно ГОСТ, в состоянии поставки (после прокатки и отжига) имеет твердость не более 207 НВ. При твердости 190–200 НВ сталь имеет σ_B не выше 600–620 МПа, а при твердости ниже 180 НВ σ_B не превышает 550–600 МПа. Для отожженной углеродистой стали отношение $\sigma_{0,2}/\sigma_B$ составляет примерно 0,5. Следовательно, предел текучести стали 45 в этом состоянии не превышает 270–320 МПа.

Сталь 20ХН3А, согласно ГОСТ, в состоянии поставки (после прокатки и отжига) имеет твердость не более 250 НВ. Следовательно, временное сопротивление при твердости 230–250 НВ не превышает 670–750 МПа и может быть ниже 600 МПа для плавок с более низкой твердостью. Тогда предел текучести составляет 350–400 МПа, т. к. $\sigma_{0,2}/\sigma_B$ для отожженной легированной стали равно 0,5–0,6.

Таким образом, для получения заданной величины предела текучести вал необходимо подвергнуть термической обработке.

Для низкоуглеродистой стали Ст40 улучшающее влияние термической обработки незначительно. Кроме того, Ст40 как сталь обыкновенного качеств содержит повышенное количество серы и фосфора, которые понижают механические свойства и особенно сопротивлению разрушению. Для такого ответственного изделия, как вал двигателя, поломка которого нарушает работу машины, применение более дешевой по составу стали обыкновенного качества нерационально.

Сталь 45 относится к классу качественной углеродистой, а сталь 20ХН3А – к классу высококачественной легированной стали. Они содержат соответственно 0,42–0,50 и 0,17–0,23 % *С* и принимают закалку. Для повышения прочности можно применять нормализацию или закалку с высоким отпуском. Последний вариант обработки сложнее, но позволяет получить не толь-

ко более высокие характеристики прочности, но и более высокую вязкость. В стали 45 минимальные значения ударной вязкости (KCU) после нормализации составляют 200–300 кДж/м^2, а после закалки и отпуска с нагревом до 500 ^{0}С достигают 600–700 кДж/м^2.

Так как вал двигателя воспринимает в работе динамические и к тому же циклические нагрузки, более целесообразно применить закалку и отпуск. После закалки в воде углеродистая сталь 45 получает структуру мартенсита. Однако вследствие небольшой прокаливаемости углеродистой стали, эта структура в изделиях диаметром более 20–23 мм образуется только в сравнительно тонком поверхностном слое толщиной до 2–4 мм.

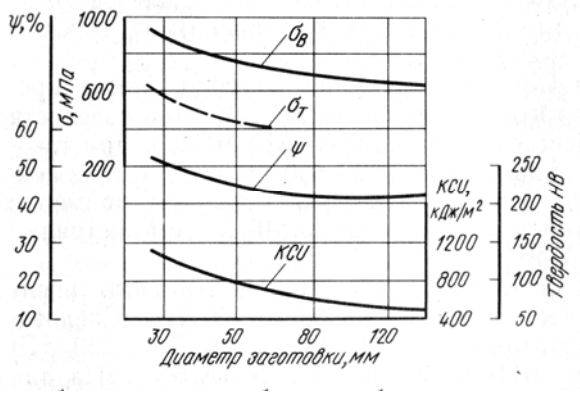


Рис. 3.2. Механические свойства углеродистой стали с 0,45 % *С* после закалки и отпуска в зависимости от диаметра заготовки

Последующий отпуск вызывает превращение мартенсита в сорбит только в тонком поверхностном слое, но мало влияет на структуру и свойства внутренних слоев изделия. Сталь со структурой сорбита отпуска обладает более высокими механическими свойствами, чем троостита или сорбита закалки и тем более феррита и перлита. Наибольшие напряжения от изгиба, кручения и повторно-переменных нагрузок воспринимают наружные

слои, которые и должны обладать повышенными механическими свойствами. Однако в сопротивлении динамическим нагрузкам, которые воспринимает вал, участвуют не только поверхностные, но и нижележащие слои металла.

Таким образом, углеродистая сталь не будет иметь требуемых свойств по сечению вала диаметром 70 мм (рис. 3.2).

Сталь 20ХН3А легирована никелем и хромом для повышения прокаливаемости и закаливаемости. Она получает после закалки и отпуска достаточно однородные структуру и механические свойства в сечении диаметром до 75 мм. Для стали 20ХН3А рекомендуется термическая обработка:

1. Закалка с 820–835 ^{0}С в масле.

При закалке с охлаждением в масле (а не в воде, как это требуется для углеродистой стали) возникают меньшие напряжения, а, следовательно, и меньшая деформация. После закалки сталь имеет структуру мартенсита твердостью не ниже $HRC_Э50$.

2. Отпуск при 520–530 ^{0}С. Для предупреждения отпускной хрупкости, к которой чувствительны стали с хромом (или с марганцем), в т. ч. совместно с никелем, вал после указанного нагрева следует охлаждать в масле. Механические свойства стали 20ХН3А в изделии диаметром до 75 мм после термической обработки следующие:

Временное сопротивление растяжению, σ_B, МПа . 900–1000
Предел текучести, $\sigma_{0,2}$, МПа…….750–800
Предел выносливости, σ_{-1}, МПа……400–430
Относительное удлинение, δ, %.....8–10
Относительное сужение, φ, % ……45–50
Ударная вязкость, KCU, кДж/м^2……..900

Таким образом, эти свойства обеспечивают требования, сформулированные в задаче для вала диаметром 70 мм.

Пример 2.
Постановка задачи.

Подобрать материал и упрочняющую обработку для изготовления вала экскаватора диаметром 100 мм, предусмотренного для работы в открытых карьерах в условиях Сибири. Требуемые значения $\sigma_т \geq 700$ МПа, твердость шейки вала ≥55 HRC. Изготовление деталей серийное.

Решение задачи.

Анализ условий работы детали. Вал работает в условиях изгиба, т. е. при не особо высокой жесткости нагружения (коэффициент жесткости $0{,}5<\alpha<0{,}8$). В условиях Сибири, где зимой низкие температуры, от детали требуется особенно высокая надежность (сопротивление хрупкому разрушению). Это обеспечивается при использовании стали со сквозной прокаливаемостью, что необходимо учесть помимо удовлетворения требуемого значения $\sigma_т$ и твердости шеек вала.

Выбор материала и упрочняющей обработки валов. При изучении механических свойств углеродистых сталей с содержанием углерода до 0,5 % выявляется, что требуемое значение $\sigma_т$ после термической обработки можно обеспечить в сечениях до 20 мм. Поэтому из этих сталей изготовление детали не представляется возможным. Требуемые свойства можно обеспечить только использованием легированных сталей. В таблице 41 приводятся механические свойства легированных сталей, термическая обработка, а также значения критических диаметров.

Анализ рассматриваемых материалов. Сталь 18ХГТ после закалки и низкого отпуска обеспечивает требуемое значение $\sigma_т$. Закалка и низкий отпуск после цементации обеспечат требуемую твердость шеек валов, но прокаливаемость низкая (значит, следует ожидать, что в крупном сечении эта сталь не обеспечит требуемую конструкционную прочность).

Сталь 20ХГР выбрана потому, что легирование бором повышает прокаливаемость. Однако и эта сталь имеет D_{95}=60 мм. Поэтому, несмотря на высокую статическую прочность в малых сечениях, в надежности деталей диаметром 100 мм уверенности нет. Против стали 20ХГР говорит и наличие в составе стали марганца, который при длительном процессе цементации может вызвать рост зерна и охрупчивание материала по этой причине.

Как видно, основная трудность при выборе материала заключается в достижении требуемой прокаливаемости. Так как никель сильно увеличивает прокаливаемость, то рассмотрим сталь 30ХН3А. После проведения необходимой (табл. 42) термообработки сталь приобретает требуемое значение $\sigma_т$ и нужную прокаливаемость.

Таблица 42

Марка стали	Термообработка	$\sigma_т$	$\sigma_в$	δ, %	ψ, %	KCU, Дж/см^2	$D_к$, мм	
		МПА					50	95
18ХГТ	Ц+З,810°С+О,200°С	800	1000	9	50	80	40	30
20ХГР	Ц+З,880°С+О,200°С	1240	1520	11,5	55	81	90	60
30ХН3А	З,820°С+О,530°С	800	1000	10	50	80		100
40ХНМА	З,850°С+О,620°С +З, ТВЧ+О,180°С	1000	1100	12	50	80	120	90

Однако высокий отпуск не обеспечивает требуемой твердости шеек вала. По полосе прокаливаемости видно, что максимальную твердость после закалки эта сталь может дать лишь ≈52 HRC, т. е. ниже требуемой. Поэтому требуемые свойства эта сталь может обеспечить только после цементации, закалки и низкого отпуска.

Однако эта технология дорогая. Кроме того, дорога и дефицитна сама сталь из-за повышенного содержания никеля.

Сталь 40ХНМА имеет больше углерода, чем сталь 30ХНЗА, и меньше никеля. По полосе прокаливаемости видно, что после закалки эта сталь может обеспечить требуемую твердость. Поэтому в табл. 40 приводятся данные об этом материале. Улучшение обеспечивает требуемое значение $\sigma_т$ при почти полной прокаливаемости. Положительно наличие молибдена в стали, т. к. нет опасности отпускной хрупкости второго рода после высокотемпературного отпуска. Для обеспечения требуемой твердости шеек вала после улучшения следует провести поверхностную закалку с нагревом ТВЧ и низкий самоотпуск. Поверхностная закалка шеек вала создает в поверхностных слоях шейки напряжения сжатия, что повышает сопротивление усталости. Так как в месте перехода шейки вала в утолщенную часть при закалке ТВЧ возникает участок, где действуют растягивающие напряжения, то во избежание этого галтель в месте перехода необходимо подвергнуть обжатию обкаткой роликами.

Оптимальное решение задачи – выбор стали 40ХНМА. Эта сталь содержит минимальное количество никеля, поэтому дешевле стали 30ХНЗА. Технология изготовления валов проще и дешевле.

Пример 3.

Постановка задачи

Стойкость сверл и фрез, изготовленных из быстрорежущей стали умеренной теплостойкости марки Р6М5, пригодных для обработки конструкционных сталей твердостью 18–200 НВ, была удовлетворительной. Однако стойкость этих сверл резко снизилась при обработке жаропрочной аустенитной стали. Рекомендовать быстрорежущую сталь повышенной теплостойкости, пригодную для высокопроизводительного резания жаропрочных сталей, указать ее марку и химический состав, термическую обработку и микроструктуру в готовом инструменте. Сопоставить теплостойкость стали Р6М5 и выбранной стали.

Решение задачи.

Режущие инструменты для производительного резания изготовляют из быстрорежущих сталей, т. к. эти стали сохраняют мартенситную структуру и высокую твердость при повышенном нагреве (500–650 ^{0}C), возникающем в режущей кромке. Однако *стойкость инструментов* из быстрорежущих сталей, подвергнутых оптимальной термической обработке, определяется не только их химическим составом, структурой и режимом резания. Она сильно зависит от свойств обрабатываемого материала.

Стойкостью инструмента называется его способность без переточки длительное время обрабатывать заготовки.

При резании сталей и сплавов с аустенитной структурой (нержавеющих, жаропрочных и др.), все более широко применяемых в промышленности, стойкость инструментов и предельная скорость резания могут сильно снижаться по сравнению с получаемыми при резании обычных конструкционных сталей и чугунов с относительно невысокой твердостью (до 220–250 НВ). Это связано, главным образом, с тем, что теплопроводность аустенитных сплавов пониженная. Вследствие этого тепло, выделяющееся при резании, лишь в небольшой степени поглощается сходящей стружкой и деталью и в основном воспринимается режущей кромкой. Кроме того, эти сплавы сильно упрочняются под режущей кромкой в процессе резания, из-за чего заметно возрастают усилия резания.

Для резания подобных материалов, называемых труднообрабатываемыми, мало пригодны быстрорежущие стали умеренной теплостойкости, сохраняющие высокую твердость ($HRC_Э59$) и мартенситную структуру после нагрева не выше 615–620 ^{0}C. Для обработки аустенитных сплавов необходимо выбирать быстрорежущие стали повышенной теплостойкости, а именно кобальтовые.

Кобальт способствует выделению при отпуске наряду с карбидами также частиц интерметаллидов, более стойких против коагуляции, и затрудняет процессы диффузии при температурах нагрева режущей кромки.

Кобальтовые стали сохраняют твердость $HRC_Э59$ после более высокого нагрева: до 640–645 ^{0}С. Кроме того, кобальт заметно (на 30–40 %) повышает теплопроводность быстрорежущей стали, а, следовательно, снижает температуру режущей кромки из-за лучшего отвода тепла в тело инструмента. Стали с кобальтом имеют более высокую твердость (до $HRC_Э658$ у стали Р9М4К8). Для сверл и фрез, применяемых для резания аустенитных сплавов, рекомендуются кобальтовые стали марок Р12Ф4К5 или Р9М4К8.

Термическая обработка кобальтовых сталей принципиально не отличается от обработки других быстрорежущих сталей. Инструменты закаливают с высоких температур (1240–1250 ^{0}С для стали Р12Ф4К5 и 1230 ^{0}С для стали Р9М4К8), что необходимо для растворения большого количества карбидов и насыщения аустенита (мартенсита) легирующими элементами: вольфрамом, молибденом, ванадием и хромом. Еще более высокий нагрев, дополнительно усиливающий перевод карбидов в твердый раствор, недопустим: он вызывает рост зерен, что снижает прочность и вязкость. Структура стали после закалки: мартенсит, остаточный аустенит (15–30 %) и избыточные карбиды, не растворяющиеся при нагреве и задерживающие рост зерна. Твердость $HRC_Э60$-63. Затем инструменты отпускают при 550–560 ^{0}С (3 раза по 60 мин). Отпуск вызывает выделение дисперсных карбидов и интерметаллидов из мартенсита (дисперсионное твердение), что повышает твердость до $HRC_Э66$-69, превращает мягкую составляющую – остаточный аустенит в мартенсит, снимает напряжения, вызываемые мартенситным превращением.

После отпуска инструменты шлифуют и подвергают *карбонитрации* в жидкой ванне состава: 80 %KCNO и 20 %K_2CO_3 при 550–560 ^{0}С с выдержкой 5–30 мин в зависимости от вида и размера инструмента.

Карбонитрация – насыщение поверхности деталей при температуре около 570 ^{0}С углеродом и азотом на глубину до 0,2 мм.

Твердость слоя после карбонитрации на глубину 0,02–0,05 мм достигает (в пересчете) $HRC_Э69$-70, заметно (на ~50 ^{0}С)

возрастает теплостойкость. При нагреве для карбонитрации снимаются также напряжения, вызываемые шлифованием, карбонитрация повышает стойкость инструментов в 2–4 раза. После карбонитрации целесообразно проведение *оксидирования* при 140 ^{0}С в щелочном растворе или при 300 ^{0}С в расплаве щелочей.

Оксидирование – создание оксидной пленки на поверхности изделия или заготовки в результате окислительно-восстановительной реакции.

Оксидирование придает инструментам черный цвет и несколько лучшую стойкость после воздушной коррозии.

В последние годы для повышения стойкости режущих инструментов применяют *ионное азотирование* (процесс диффузионного насыщения поверхностного слоя сталей и сплавов при температурах 500–600 ^{0}С в азотсодержащей среде) или на их рабочую поверхность с помощью различных установок наносят очень тонкий и весьма твердый слой *нитрида титана.* Нитрид титана – соединение титана и азота, применяемый как жаропрочный материал. Встречается в виде крупных неметаллических включений в сталях легированных титаном.

В этом случае стойкость инструментов возрастает в несколько раз.

Пример 4.

Постановка задачи

Многие изделия изготавливаются из латуни вытяжкой из листа в холодном состоянии. Иногда в изделиях обнаруживаются трещины, возникающие без приложения внешних нагрузок (так называемое «сезонное растрескивание»). На рис. 3.3 показана деталь после глубокой вытяжки и после растрескивания при вылеживании. Объяснить сущность этого явления, указать способы его предупреждения. Подобрать марку латуни, не подверженной сезонному растрескиванию. Описать структуру, механические и технологические свойства α- и (α + β`)-латуней.

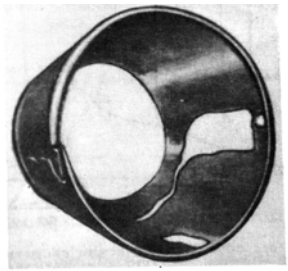


Рис. 3.3. Растрескивание латуней детали после глубокой вытяжки и вылеживания

Решение задачи.

Латуни в зависимости от содержания цинка и структуры можно разделить на три класса: 1. α-латуни с содержанием Zn до 39,5 %; 2. (α + β`) -латуни с содержанием Zn 39,5–45,7 %; 3. β`-латуни с содержанием Zn 45,7–51 %. Увеличения содержания цинка изменяет структуру и свойства латуни (рис. 3.4).

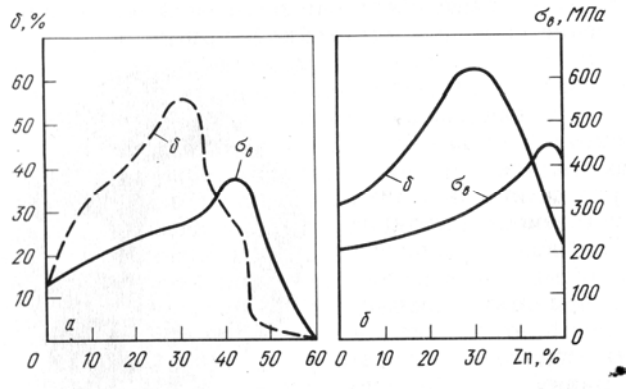


Рис. 3.4. Механические свойства латуни в зависимости от содержания цинка: а) литая латунь; б) катаная и отожженная латунь

Увеличение содержания цинка до определенного предела повышает пластичность и прочность. Пластичность достигает максимальных значений при 30–32 % Zn, а прочность – при 40

%. При дальнейшем увеличении содержания цинка прочность и пластичность снижаются.

Это изменение свойств определяется свойствами соответствующих фаз, образующихся при введении цинка:

α-фаза – твердый раствор типа замещения, пластичность и прочность которой возрастает по мере увеличения содержания цинка;

β`-фаза – твердый раствор на базе электронного соединения с объемно-центрированной кубической решеткой и упорядоченным расположением атомов; β`-фаза отличается повышенной хрупкостью и твердостью, поэтому образование β`-фазы снижает вязкость и повышает твердость. При нагреве выше 450 $^0$C β`-фаза превращается в неупорядоченный твердый раствор β, отличающийся большей пластичностью, чем β`-фаза.

Из диаграммы состояния видно, что (α + β`) –латуни приобретают при таком нагреве однородную структуру β-твердого раствора, а, следовательно, и большую пластичность (рис. 3.5).

Эти свойства фаз определяют технологический процесс изготовления изделий из различных сортов латуни, а также их назначение. Изделия из α-латуни изготавливают главным образом холодной или горячей деформацией; обработка резанием не дает достаточно чистой поверхности. Изделия из (α + β`)-латуни изготавливают горячей (прессование, штамповка) или холодной деформацией (но без вытяжки) или обработкой резанием.

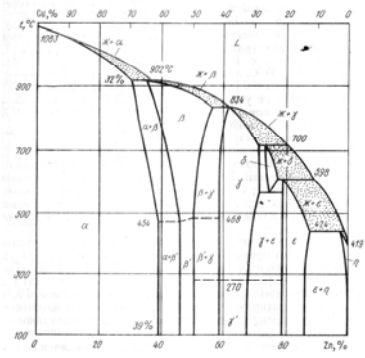
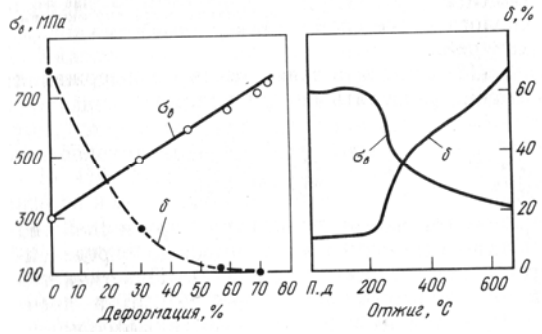


Рис. 3.5. Диаграмма состояния сплавов системы Cu–Zn

Изделия из α- и (α + β`)-латуней применяют в отожженном или в наклепанном состоянии, поскольку термическая обработка (закалка и отпуск) не дает заметного эффекта. В наклепанном состоянии (т. е. после холодной деформации) латунь обладает большей прочностью при пониженной пластичности (рис. 3.6, *а*). В результате последующего отжига прочность сплава понижается, но пластичность возрастает (рис. 3.6, *б*).



а) *б*)

Рис. 3.6. Механические свойства латуни Л70 в зависимости от степени холодной деформации (*а*) и температуры отжига (*б*)

Холодная деформация латуни создает в изделии остаточные напряжения. Они возникают и в результате местной холодной деформации (при изгибе деталей, чеканке, развальцовке и т. п.). При вылеживании или эксплуатации в латунных изделиях иногда возникают трещины, т. н. «*сезонное растрескивание*», которое наблюдается главным образом в латунях с содержанием более 20 % Zn и отчетливо обнаруживается, например, в полых изделиях, прутках и т. д. Сезонное растрескивание усиливается в химически активных средах, особенно в парах аммиака, ртутных солей, ртути, мыльной воде и т. п. Образование трещин является результатом совместного действия остаточных напряжений, созданных холодной деформацией (наиболее опасны растягивающие напряжения) и химически активных сред.

Для предохранения от сезонного растрескивания нужен отпуск с нагревом до 200–300 ^{0}C; это снимает большую часть остаточных напряжений и незначительно снижает прочность. Но в условиях изготовления и монтажа конструкций с применением развальцовки, гибки и т. д. не всегда можно избежать возникновения местных, даже незначительных деформаций, а, следовательно, и сезонного растрескивания. В таких случаях применяют более дорогие (и имеющие меньшую прочность), но не склонные к сезонному растрескиванию латуни Л96 и Л90.

Механические свойства и состав этих латуней (после прокатки и отжига), а также широко применяемой латуни Л68 и типичной (α + β`) –латуни ЛС59-1 приведены в табл. 43.

Таблица 43

Состав и механические свойства латуней

Структурный класс сплава	Марка	Cu,% (остальное Zn)	Примеси (Fe, Si и др.), %	Механические свойства (не менее)	
				σ_B, МПа	δ, %
α-латунь	Л96	95-97	≤0,30	230	35
	Л90	89-90	≤0,30	270	38
	Л80	79-81	≤0,30	280	45
	Л68	97-70	≤0,30	300	55
(α + β`)-латуней	ЛС59-1	58-61 Pb0,8-1,9	0,75	350 400*	30 15*
*Для отожженных лент и листов, а также для прессованных прутков					

Латуни Л96 и Л90 обладают высокой теплопроводностью. Латуни можно заменить алюминиевой бронзой, не склонной к сезонному растрескиванию и обладающей аналогичными значениями прочности и пластичности.

Пример 5.
Постановка задачи

Для работы в условиях атмосферной коррозии выбрать оптимальный состав коррозионностойкой стали

Решение задачи

Коррозионная стойкость стали зависит от ее химического состава. Большое влияние на служебные свойства сталей и сплавов оказывают также термическая обработка, сварка, горячая пластическая деформация, качество поверхности металла и другие факторы.

Повышение устойчивости стали против коррозии достигается введением в нее элементов, образующих на поверхности защитные пленки, прочно связанные с основным металлом, а также повышающих электрохимический потенциал стали в агрессивных средах.

Атмосферной коррозии подвергаются 80 % металлических конструкций: машины и разное металлическое оборудование промышленных предприятий, сельскохозяйственные машины, стальные мосты, каркасы и металлические кровли зданий, различные виды транспорта. Для защиты от атмосферной коррозии стали легируют легко пассивирующими металлами (Cr, Al, Ti, Ni) и тормозящими анодный электродный процесс коррозии или катодными добавками (Cu), облегчающими *пассивирование* стали.

Пассивирование стали связано с образованием тонких поверхностных слоев соединений, препятствующих коррозии.

В металлостроительстве широко применяется низколегированная сталь, не требующая дополнительных методов защиты. Низколегированные конструкционные стали содержат в основном небольшие количества меди, хрома, кремния, никеля, алюминия и др. Хотя эти стали по коррозионной стойкости превосходят обычные железоуглеродистые стали, но все же они имеют ограниченное применение, т. к. обладают некоторым преимуществом только в слабо агрессивных средах.

Из низколегированных сталей особый интерес представляют медистые стали. Эти стали содержат медь в количестве 0,3–0,5 %. Накапливающиеся на поверхности медистой стали катодных включений меди, смещают потенциал металла в положительную сторону и способствуют его пассивации. С другой стороны, при определенных условиях (повышенная концентрация окислителя у поверхности металла и отсутствие депассивирующих ионов) на медистых сталях слои продуктов коррозии плотнее и защитные свойства выше. На рис. 3.7 показано влияние содержания меди на атмосферную коррозию стали.

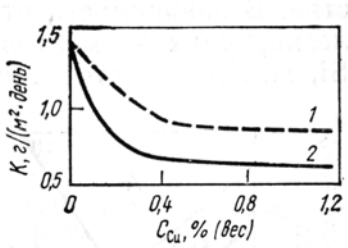


Рис. 3.7. Влияние легирования железа (низкоуглеродистая сталь) медью на скорость его коррозии в незагрязненной атмосфере после испытания в течение: 1 – 5 месяцев; 2 – 4 года

Из рисунка видно, что с увеличением времени испытания положительный эффект присадок меди значительнее. После 4-х лет эксплуатации скорость атмосферной коррозии железа с присадкой 0,5Cu примерно вдвое ниже, чем стали, не содержащей меди.

Лучше всего коррозии в атмосферных условиях противостоит сталь, содержащая медь. Небольшая добавка в сталь меди, а также фосфора и хрома еще больше повышает ее коррозионную стойкость в атмосферных условиях. Повышение коррозионной стойкости таких марок стали в атмосферных условиях связано с природой пленок продуктов коррозии, образующихся в первый период на поверхности металла. Такая сталь может

применяться в атмосферных условиях без специальных защитных покрытий.

Таким образом, в качестве оптимального состава низколегированной стали для работы в условиях атмосферной коррозии следует выбирать медистую сталь (марки 10ХСНД, 15ХСНД), имеющих следующий химический состав:

Содержание элементов, %					
C	Cu	Ni	Mo	P	S
0,1	1,44	0,75	0,07	0,04	0,04

Сталь с более высоким содержанием углерода дает более высокое сопротивление разрыву и небольшое понижение пластичности.

Никель является немного более электроотрицательным металлом, чем медь и обладает заметной склонностью к переходу в пассивное состояние. Однако если в атмосфере присутствует в значительном количестве SO_2, то наблюдается более заметная атмосферная коррозия никеля.

Молибден сообщает сплаву стойкость к неокислительным кислотам.

Сера, фосфор, никель не влияют на окисление железа.

3.2.2. Примеры решения задач по выбору особых и неметаллических материалов

Пример 1.

Постановка задачи

Выбрать материал с меньшими магнитными потерями на основе оценки электротехнических сталей с нормированными магнитными свойствами в переменных полях, в частности, стали 1511 и 1521 при частоте 50 Гц и напряженности внешнего магнитного поля 2500 А/м.

Определение величин, используемых в задаче. Магнитные потери являются нормированной характеристикой электротехнической стали и даются в справочниках. Поскольку справочные данные приводятся для определённых условий (например, при определённой напряжённости магнитного поля или определённой индукции в материале), то можно предположить, что заданная в задаче напряжённость поля (и соответствующая ей индукция) не соответствуют нормированным условиям. Для оценки потерь необходимо привести условия задания к нормируемым. Для этого можно воспользоваться выражениями для потерь на перемагничивание: $P_{гист}= \alpha B^{(1,6...2)}f$, и на вихревые токи: $P_{вихр}= \beta B^2 f^2$.

В этих выражениях B и f, соответственно индукция и частота, соответствующие нормируемым условиям определения потерь. Если их найти в справочных данных, то можно определить коэффициенты α и β, а по ним – привести потери к условиям, заданным в задании. Возможно, потребуется пересчёт заданной напряжённости поля в индукцию по выражению: $\mu = \frac{B}{\mu_0 H}$, где μ – магнитная проницаемость рассматриваемых сталей при заданной напряжённости магнитного поля H; $\mu_0=4\pi\cdot10^{-7}$ Гн/м.

Описание материалов. Электротехнические стали с нормированными свойствами в переменных полях относятся к *магнитомягким металлическим материалам.*

Магнитомягкие материалы – ферромагнитные материалы с большой магнитной проницаемостью μ и малой величиной коэрцетивной силы < 10 А/м. Они легко намагничиваются и размагничиваются. Обладают малыми потерями на гистерезис.

Электротехнические стали обычно легируются кремнием. Легирование кремнием вызывает: уменьшение коэрцитивной силы, увеличение удельного сопротивления и снижения потерь на вихревые токи, некоторое снижение индукции насыщения,

большую магнитную проницаемость в слабых и средних полях вследствие магнитной мягкости материала.

В обозначении марок цифры означают:

Первая – класс по структурному состоянию и виду прокатки: 1 – горячекатаная, изотропная; 2 – холоднокатаная изотропная; 3 – холоднокатаная анизотропная с ребровой текстурой; 5 – холоднокатаная анизотропная с плоской кубической текстурой.

Вторая – содержание кремния: 0 – до 0,4 % (нелегированная); 1 – (0,4…0,8) %; 2 – (0,8…1,8) %; 3 – (1,8…2,8) %; 4 – (2,8…3,8) %; удельные потери нормируются при магнитной индукции B=1,5 Тл и частоте f = 50 Гц; 5 – (3,8…4,8) %.

Третья – группу по основной нормируемой характеристике: 0 – удельные потери при магнитной индукции B=1,7 Тл и частоте f=50 Гц; 1 – удельные потери при магнитной индукции B=1,5 Тл и частоте f=50 Гц; 2 – удельные потери при магнитной индукции B=1,0 Тл и частоте f=400 Гц; 4 – удельные потери при магнитной индукции B=0,5 Тл и частоте f=3000 Гц; 6 – магнитная индукция в слабых полях при напряженности поля H=0,4 А/м; 7 – магнитная индукция в средних полях при напряженности поля H=10 А/м.

Четвёртая – порядковый номер типа стали.

Таким образом, заданные электротехнические стали характеризуются следующим образом:

1511 – горячекатаная изотропная сталь, с содержанием кремния – (3,8…4,8) %, удельные потери нормируются при магнитной индукции B=1,5 Тл и частоте f= 50 Гц, тип стали – 1.

1521 – эта сталь отличается от предыдущей только тем, что удельные потери нормируются при магнитной индукции B=1,0 Тл и частоте f=400 Гц,

Эти стали поставляются в виде листов толщиной 0,1…1,0 мм шириной 500…1000 мм и длиной 600…2000 мм.

Физические и механические свойства указанных марок сталей представлены в табл. 44.

Таблица 44

Физические и механические свойства сталей марок 1511 и 1521

№	Свойства	Значение	Определение
1.	Плотность	7,55 Мг/м^3	Масса единицы объёма
2.	Удельное сопротивление при 20 ^{0}C	0,6·10^{-6} Ом·м	Сопротивление 1 м^3 материала, измеренное в плоскопараллельном поле.
3.	Температурный коэффициент сопротивления	0,7·10^{-3} К$^{-1}$	Относительное изменение удельного сопротивления при увеличении температуры на 1К.
4.	Коэффициент теплопроводности	16 Вт/м·К	Удельный тепловой поток, направленный перпендикулярно поверхности при градиенте температуры 1 К/м
5.	Условный предел текучести вдоль/поперёк	420/490 МПа	Нормальное напряжение, при разгрузке которого в образце впервые обнаруживается остаточная пластическая деформация, составляющая 0,2 %
6.	Предел прочности (при растяжении) вдоль/поперёк	490/600 МПа	Предельное нормальное напряжение, после которого относительное удлинение образца проходит при снижении нормального напряжения; предельное напряжение, выдерживаемое образцом

продолжение таблицы 44

7.	Относительное удлинение вдоль/поперёк	1,5/2 %	Отношение абсолютного остаточного удлинения образца после разрыва к начальной расчётной длине
8.	Модуль упругости вдоль/поперёк	158/197 ГПа	Коэффициент пропорциональности между нормальным напряжением и относительным удлинением. Определяется в упругой области (закон Гука)

Электротехнические кремнистые стали применяются для изготовления двигателей и генераторов, дросселей и трансформаторов, электромагнитных механизмов и реле, работающих как на постоянном, так и на переменном токе различной частоты.

Нормированные характеристики сталей рассматриваемых марок приведены в табл. 45.

Таблица 45

Нормированные характеристики сталей марок 1511 и 1521 (выбраны стали с одинаковой толщиной листа – 0,35 мм)

Марка	Удельные потери Вт/кг при индукции, Тл, равной			Магнитная индукция, Тл при напряжённости магнитного поля, А/м, равной					
	0,75	1	1,5	500	1000	2500	5000	10000	30000
1511		1,35	3,0		1,30	1,46	1,57	1,70	1,90
1521	10,75	19,5		1,21	1,30	1,44			

Решение. В соответствии с маркой стали магнитные потери для стали 1521 нормируются при магнитной индукции B=1,0 Тл и частоте f=400 Гц и составляют 19,5 Вт/кг. При напряжённости

внешнего магнитного поля 2500 А/м индукция в стали 1521 составляет 1,44 Тл (табл. 44). Следовательно, нормированные потери необходимо привести к условиям задания. Поскольку сталь магнитомягкая, то приближённо можно считать, что основная доля потерь – это потери на вихревые токи. Поэтому воспользуемся формулой потери на вихревые токи.

$P_{норм}=\beta B_{норм}^{\ 2} \times f_{норм}^{\ 2}$. искомые потери: $P_x=\beta B_{1,44}^{\ 2} \times f_{50}^{\ 2}$.

Для стали 1521:

$$P_x = P_{норм} \frac{B_{1,44}^2 \times f_{50}^2}{B_{норм}^2 \times f_{норм}^2} = 19{,}5 \frac{1{,}44^2 \times 50^2}{1^2 \times 400^2} = 0{,}632 Вт/кг$$

Для стали 1511 потери нормируются при индукции 1,5 Тл. Поскольку у этой стали при напряжённости поля 2500 А индукция составляет 1,44 Тл, то нормируемые потери увеличатся в $1{,}5^2/1{,}44^2=1{,}085$ раза, т. е. составят 3 Вт/кг×1,085=3,255 Вт/кг.

Таким образом, если сталь 1521, предназначенную для работы при частоте 400 Гц применять в условиях аналогичных применению стали 1511, т. е. при частоте 50 Гц, то магнитные потери в стали 1521 будут меньше, чем в стали 1511.

Пример 2

Постановка задачи

Выбрать устойчивый против коррозии неметаллический материал, способный заменить металлический в фильтрах буровых скважин

Решение задачи

В ряде конструкций целесообразен переход от металлических материалов к химически стойким неметаллическим материалам: пластические высокополимерные материалы, стекло, керамика и др.

Производительность скважин, их устойчивая работа во многом зависят от устройства водоприемной части, которую

оборудуют фильтрами. Фильтры должны отвечать следующим требованиям: обеспечивать свободный доступ воды в скважину, но при этом надежно защищать ее от пескования и обрушений водовмещающих пород; материал фильтров должен быть устойчив против коррозии, допускать обработку скважин кислотами, а в скважинах питьевого водоснабжения не ухудшать качества воды, быть достаточно прочным, чтобы воспринимать горное давление, давление фильтрационного потока и противостоять абразивному истиранию части породы; конструкция фильтра должна быть технологична в изготовлении при наименьшем расходе дефицитных материалов и применима в возможно широком диапазоне гидрогеологических условий; иметь хорошие технико-экономические показатели.

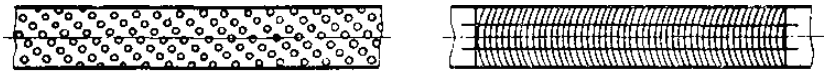


Рис. 3.8. Фильтры из полиэтилена: *а) каркас, перфорированный отверстиями; в) проволочный фильтр*

Коррозия фильтров, вызываемая сложными электрохимическими, физическими и микробиологическими процессами, сопровождается разрушением конструкции, а также отложением на поверхности и внутри фильтров продуктов коррозии. При обычных для подземных вод значениях pH 6–9 протекает кислородная коррозия, электрохимическая природа которой связана с кислородной деполяризацией катодных участков гальванических коррозионных пар на поверхности металлических фильтров. Коррозионные пары образуются вследствие неоднородной поверхности металла, при разнородных металлах. Интенсивная коррозия металла наблюдается на участках с большим притоком кислорода. В щелочной среде (pH 10–14) коррозия протекает медленнее, т. к. на металле образуется прочная защитная пленка окислов. Воды с высокой карбонатной жесткостью склонны к образованию сплошного накипного осадка карбоната кальция и

магния. Осадок может уменьшить среднюю скорость коррозии, но при этом возрастает опасность закупорки водоприемных отверстий. Неравномерность обрастаний и наличие свободных участков образуют на фильтре зоны с различными потенциалами, в результате появляются глубокие местные разрушения.

Применение пластмасс для борьбы с коррозией и зарастанием фильтров. При этом уменьшается *кольматация* фильтров гидрохимическими отложениями вследствие гидрофобности пластмасс.

Кольматация – это естественное или искусственное отложение на поверхности и в порах почвы принесенных водой насосов.

Фильтры из пластмасс имеют более гладкую наружную и внутреннюю поверхность. Пропускная способность их при одинаковых условиях работы выше, чем металлических. Пластмассы обладают стойкостью при абразивном истирании, антисептичны и инертны к микроорганизмам, допускают обработку скважин кислотами для борьбы с кольматацией.

При необходимости замены или в аварийных случаях пластмассовые фильтры разбуривают и дробят в скважине и извлекают частями. Пластмассы технологичны в изготовлении, а на организацию промышленного выпуска изделий из них требуется меньше капиталовложений, чем на аналогичную продукцию из металла.

Пример 3

Постановка задачи

Выбрать материал для изготовления пластмассовых подшипников электродвигателей и электрических устройств

Решение задачи

Из-за малого сходства с металлами и из-за больших упругих деформаций, пластмассы в узлах трения менее чувствительны к схватыванию и задиранию, что резко уменьшает износ де-

талей в паре трения. Этому способствует и поглощение пластмассой твердых частиц – продуктов износа. Практика показывает, что износ большинства видов пластмассовых подшипников в узлах трения меньше износа металлических подшипников.

При изготовлении пластмассовых изделий необходимо придерживаться следующих правил:

- детали из пластмасс следует проектировать так, чтобы силовые нагрузки приходились на наиболее прочные сечения, т. е. с учетом направления волокон наполнителя или ориентации макромолекул;

- не рекомендуется изготовлять из пластмасс детали, которые в процессе эксплуатации длительно подвергаются постоянным нагрузкам (хотя и допускаемым). Пластмассовые детали работают лучше в условиях действия кратковременных нагрузок;

- при изготовлении деталей из пластмасс следует учесть их ограниченную жесткость, для повышения которой следует предусмотреть ребра жесткости или арматуру;

- изготавливать из пластмассы можно только такие детали, которые будут работать в оптимальном для данной пластмассы температурном режиме с учетом возможного влияния нагружения на термические характеристики материала;

- пластмассы не могут быть использованы для изготовления деталей, которые работают под значительной нагрузкой и от которых требуется повышенная точность.

Положительными свойствами пластмасс являются также способность их к гашению вибраций, стойкость к ударным нагрузкам, высокие антикоррозионные свойства, небольшая масса, малая трудоемкость в изготовлении. Для пластмассовых подшипников не требуется ни масла, ни смазки, что является огромной экономией материалов и экологически выгодной заменой металла.

На рис. 3.9 приведен вид подшипника для электродвигателей и электрических устройств.



Рис. 3.9. Пластиковые ролики со встроенными шариковыми подшипниками

Для изготовления подшипников для электродвигателей и электрических устройств можно выбрать фторопласты. Данный вид пластмассы обладает низким коэффициентом трения, отличными электроизоляционными и диэлектрическими свойствами. Область рабочих температур от –200 до +260 °С. Фторопласты под нагрузкой подвержены ползучести и могут выдавливаться. Они также имеют низкую теплопроводность, что еще больше содействует их ползучести от повышения температуры в узле трения. Поэтому при использовании фторопласта прибегают к изготовлению комбинированных подшипников. На стальную подложку наносится слой порошковой бронзы, которая припекается к подложке. В поры бронзового слоя впрессовывается фторопласт. Полоса разрезается на мерные куски, из которых изготовляются подшипник в виде втулок.

Пример 4.

Постановка задачи

Для изоляции станины встряхивающей формовочной машины от ударных нагрузок стола машины и для уменьшения шума в работе применяются деревянные амортизаторы. Какую древесину можно для этого использовать?

Решение задачи

Достоинствами древесины как конструкционного материала являются малая объемная масса, достаточно высокая удельная прочность, *хорошая сопротивляемость ударным и вибрационным нагрузкам*, малая теплопроводность, малый коэффициент температурного расширения (в 2…3 раза меньше, чем у стали), высокая стойкость к ряду кислот, солей, масел. Древесина обладает хорошими технологическими свойствами: легко обрабатывается, допускает возможность соединения деталей деревянных конструкций клеем, гвоздями, шурупами.

Знание особенностей строения древесины позволяет существенно снизить природные недостатки ее как конструкционного материала. Строение колец, содержание летней древесины в них обусловливают механическую прочность как хвойных, так и лиственных пород.

Исходя из условий работы детали, целесообразно будет использование тяжелых пород древесины (граб, дуб), т. к. чем больше объемная масса, тем плотнее древесина и тем лучше она сопротивляется нагрузкам.

В указанных породах имеются крупные сосуды, сосредоточенные в весенней зоне годичного кольца, и мелкие сосуды, расположенные в летней зоне кольца. Такие породы называются кольцесосудистыми. Их строение обуславливает демпфирующий эффект материала. Особенно это проявляется в более вязких породах (дуб).

Таблица 46

Порода древесины	Объемная масса, г/см^3	Удельная работа при ударном изгибе кгс/см^2	Предел прочности, МПа, при			Твердость, МПа		
			сжатии вдоль волокон	растяжении вдоль волокон	изгибе	радиальная	Тангенциальная	торцевая
Граб	0,81	0,48	53	134	120	70,1	71,7	82,5
Дуб	0,76	0,46	52	-	90	53,6	56,8	65,3

При ударных нагрузках сопротивление ударному изгибу дуба достаточно высокое. При вибрационных нагрузках, которых имеют место во встряхивающих формовочных машинах, необходимо учитывать усталость (или выносливость) древесины. Значение предела выносливости всегда меньше статического предела прочности и составляет $\sigma_{в}/\sigma_{ст.}$=0,24–0,38.

3.3. Возможные проблемы после выбора материала и оценка самого выбора

После того как выбор материала практически осуществлен, нередко возникают новые, часто уникальные проблемы, появляющиеся, в основном, при эксплуатации изделий.

Так, например, при работе с лакокрасочными материалами (ЛКМ) иногда *возникают дефекты*, не всегда являющиеся следствием плохого качества самого ЛКМ, а часто незнанием свойств материалов, их неправильного применения, условий нанесения и техники нанесения.

Дефектом материала называют несоответствие требованиям, установленным к его свойствам и структуре. Дефекты материалов в деталях и конструкциях могут подразделяться по расположению на *локальные* (трещины, риски и т. д.), дефекты *во всем объеме или по всей поверхности* детали (зоны неполной закалки, коррозионного поражения, местный наклеп и т. д.). По возможности устранения дефекты бывают *устраняемые и неустраняемые*. По причинам возникновения дефекты подразделяют на *конструктивные, производственные и эксплуатационные*.

Причины конструктивных дефектов – ошибочный выбор материала изделия, неверное определение размеров деталей, режимов термической обработки.

Производственные дефекты возникают в результате нарушения технологического процесса при изготовлении и обработке деталей.

Эксплуатационные дефекты возникают в результате изнашивания, усталости, коррозии деталей, а также неправильной эксплуатации.

Дефекты, возникающие у отдельных поверхностей, – несоответствие размеров, формы, взаимного расположения, физико-механических свойств, нарушение целостности.

Изменение размеров и формы (нецилиндричность, неплоскостность и т. д.) поверхностей деталей происходит в результате их изнашивания, а взаимного расположения поверхностей (неперпендикулярность, несоосность и т. д.) – из-за неравномерного износа поверхностей, внутренних напряжений или остаточных деформаций.

Физико-механические свойства материала поверхностей деталей изменяются вследствие нагрева их в процессе работы или износа упрочненного поверхностного слоя, и выражается в снижении твердости.

Нарушение целостности поверхностей деталей вызывается коррозионными, эрозионными или кавитационными поражениями. Коррозионные повреждения (сплошные окисные пленки, пятна, раковины и т. д.) возникают в результате химического или электрохимического взаимодействия металла детали с коррозионной средой. Эрозионные и кавитационные поражения поверхностей возникают при действии на металл потока жидкости, движущейся с большой скоростью.

В реальных условиях наблюдаются *сочетания дефектов*. Очень важно уметь анализировать любые дефекты, устанавливать причины их возникновения и что, важнее всего, предотвратить их.

Существуют объективные причины возникновения проблем с материалом, связанные с *недостаточным качеством материала* (т. е. неправильным выбором), которые обуславливает реальную необходимость выявления других возможных вариантов решения задачи. Альтернатива оптимального выбора материала связана с правильным выбором определенной технологии обработки.

Проблемами, связанными с неправильным выбором материала и технологии его обработки, *могут стать*:

- например, в марках припоя, плохое качество соединения проводников, излишний расход припоя и электроэнергии. Для того чтобы рационально выбрать и применить соответствующие материалы, нужно знать технологию пайки, сварки, клеевых соединений;

- преждевременный износ и разрушение детали, брак изделий и поломку инструментов. При соответствующем выборе материала и способе его обработки растет качество и надежность изделий;

- значительные разрушения, например, промышленных конструкций, из-за контактной коррозии.

Основными *причинами* проблем, возникающих после выбора материала являются: изнашивание; коррозия; перераспределение остаточных напряжений, приводящих к потере геометрической точности детали; усталостные явления в материале, и как следствие поломка детали.

Приведем пример из практики. Существует определенная сложность правильного выбора марки материала для алюминиевых панелей (в т. ч. и композитных), которые имеют огромный разброс в потребительских характеристиках и цене. Даже узкие специалисты порой испытывают затруднения с выбором из всего количества марок, представленных на рынке материалов, и выявлением недостатков и преимуществ каждой из них. Здесь каждому конкретному потребителю приходится решать задачу по определению критериев выбора оптимального материала конкретного назначения с оценкой его достоинств на основе обширных знаний об этом материале. При этом даже самый качественный материал от надежного производителя, может стать проблемным, если нет достаточных знаний правильной его обработки, какие требуются для этого инструменты и оборудование и какие особенности требуется учитывать при обработке.

Несмотря на целый ряд преимуществ алюминиевых сплавов, такие изделия из них как панели, *подвергаются поверхностному трещинообразованию* при определенных условиях эксплуатации. Для того чтобы избежать опасностей, связанных с

появлением дефектов в материале, необходимо предвидеть возможные нарушения на основе знаний особенностей его обработки.

Если отдать предпочтение марке панелей, которая среди аналогов имеет максимальную жесткость (сопротивление изгибу), определяемую модулем упругости на изгиб, то не исключены проблемы из-за растрескивания алюминия при гибке бортов, т. к. чем выше жесткость, тем меньше пластичность алюминиевого покровного листа на панели. С другой стороны, чем выше пластичность, тем большее количество раз можно согнуть и разогнуть борт. Некоторые марки алюминиевых композитов для изготовления панелей характеризуются плохой способностью к вальцовке (технологической операции, в процессе которой происходит деформирование листового материала по определенному направлению, осуществляется в специальных ковочных вальцах).

При обработке алюминиевых сплавов обычно учитывают:

- высокие скорости резания (правильный выбор скорости резания и подачи очень важны для снижения образования нароста и улучшения стружкообразования);
- низкие усилия;
- минимальный износ режущего инструмента;
- сравнительно низкая температура резания.

Для обработки алюминия лучше всего использовать режущие инструменты со специально разработанной геометрией (острыми режущими кромками). Также можно использовать обычные режущие инструменты, но в этом случае сложно достигнуть необходимого качества поверхности и избежать образования на режущей кромке нароста. Для обработки алюминиевых сплавов с содержанием кремния больше 6%, обладающих абразивными свойствами, необходимо использовать инструмент с покрытием.

Одним из главных направлений борьбы с проблемами выбора материала является *обеспечение получения требуемых свойств*.

Требования к свойствам материала обычно задаются системой номинальных значений и допусками, ограничивающими отклонения показателей от их номинальных значений. На ма-

шиностроительных предприятиях детали машин изготавливают из полуфабрикатов. Полуфабрикатами в основном являются изделия металлургических предприятий: прокат; заготовки, полученные отрезкой из проката, литьем, пластическим деформированием, сваркой; металлические порошки и др. При изготовлении детали заготовки подвергаются силовым, тепловым, химическим и другими воздействиями. Вследствие этого на каждом из этапов технологического процесса могут меняться химический состав, структура, зернистость материала заготовки, а, следовательно, механические свойства, физические свойства, химические свойства, состояние поверхностного слоя. Переход от свойств материала заготовки к свойствам материала готовой детали может быть представлен схемой, приведенной на рис. 3.10.

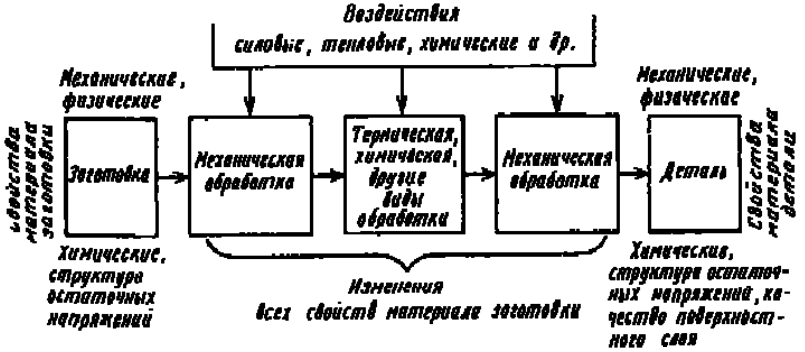


Рис. 3.10. Переход от свойств материала заготовки к свойствам материала детали

Для достижения требуемых свойств материала детали на производстве вынуждены:

- строить технологический процесс изготовления детали так, чтобы обеспечить необходимые свойства ее материалу наряду с геометрической точностью;

- исходя из требуемых свойств материала детали и с учетом изменения этих свойств в процессе изготовления, предъявить

комплекс требований к материалу заготовки (например, жидкотекучесть, хорошая обрабатываемость);

- обеспечить соблюдение требований к материалу заготовки в технологическом процессе ее изготовления (литья, ковки, штамповки).

Таким образом, для того чтобы осознанно выбрать технологический процесс получения заготовки и обеспечить необходимое качество материала детали в процессе ее изготовления, необходимо знать как формируются свойства материала в процессе получения заготовки и в процессе изготовления детали. Вид заготовки и способ ее получения выбирают с учетом ее последующей обработки на основе технико-экономического анализа. На выбор заготовки влияет марка материала и конструкции детали (например, станина или вал). На выбор способа получения заготовки кроме материала и конструкции детали влияют размеры детали, требуемая точность размеров детали, качество поверхности заготовки, объем выпуска, тип производства, характер последующей механической и других видов обработки заготовки.

Например, заготовкой для зубчатого колеса может быть:

а) заготовка, полученная одним из нескольких способов резки;

б) поковка, полученная свободной ковкой в открытом штампе, в закрытом штампе;

в) отливка, полученная литьем в разовые формы (сырые, сухие), в кокиль, под давлением, центробежным и т. д.

Разные способы получения заготовок приводят к разным свойствам их материала. Структура и размер зерен материала отливки зависит от многих факторов: количества и свойства примесей в чистом металле или легирующих элементов в сплаве, температуры разливки, скорости охлаждения при кристаллизации, конфигурации, теплопроводности, состояния внутренних поверхностей литейной формы. От структуры и зернистости материала отливки зависят его механические свойства. Влияние

примесей и легирующих элементов на свойства материала описано в разделе 2.

Свойства материала литой заготовки во многом зависит от ее конфигурации. Конструкция отливки должна создавать возможность одновременного или последовательно направленного затвердения ее частей. Нужно стремиться при проектировании к равномерным сечениям стенок или постепенному увеличению массивности стенок в предполагаемом направлении затвердения материала.

Неравномерность охлаждения различных частей отливок, сопротивление формы и стержней свободной усадки металла приводят к образованию трещин, усадочных раковин и остаточных напряжений.

Пластическое деформирование материала, также сопровождается изменением его физико-механических свойств. При прокатке и ковке слитков металла происходит деформирование его дендритной структуры, зерна металла вытягиваются, и его механические свойства в продольном и поперечном направлениях становятся различными, что служит причиной снижения прочности заготовок и появления остаточных напряжений. При пластичном деформировании большое значение имеет температура нагревания. Нарушение теплового режима приводит к образованию трещин, крупнозернистой, дефектной структуре (перегретая сталь) и к неисправимому браку – пережогу (оплавлению и окислению металла по граница зерен). Если деформирование осуществляется без предварительного нагрева, то в металле происходит ряд явлений (возникают остаточные напряжения, разрушаются отдельные кристаллы), в результате которых деталь приобретет наклеп. Наклеп затрудняет пластическое деформирование и приводит к разрушению металла.

Для технологического процесса изготовления детали, большое значение имеет обрабатываемость материала резанием.

Обрабатываемость резанием – способность поддаваться обработке резанием зависит от химического состава материала

заготовки, его структуры, зернистости, а также от свойств материала режущего инструмента.

К показателям обрабатываемости относятся сила резания (момент вращения) по сравнению с эталонным материалом (сталь 45); эффективная мощность, затрачиваемая на резание; склонность к наростообразованию на инструменте; интенсивность изнашивания инструмента; качество поверхностей (шероховатость, остаточное напряжение на поверхностном слое).

Значения показателей обрабатываемости конструкционного материала данного химического состава и структурного состояния определяются твердостью, пределом прочности, относительным удлинением, коэффициентом трения, свойством изнашивания лезвия инструментов, теплопроводностью и т. д.

Для уменьшения недостатков структуры материала в литых заготовках (особенно в стальных), а также в кованных и штампованных заготовках (крупнозернистого строения в результате перегрева и рано законченной ковки, наклепа, остаточного напряжения) заготовки подвергают термической обработке (отжигу и нормализации).

В результате термической обработки улучшают механические и технологические свойства материала. Формирование значения любого показателя свойств материала заготовки является случайным процессом. Поэтому неизбежные отклонения от номинальных значений необходимо ограничивать допусками. Однако назначение допусков возможно лишь с учетом тех изменений, которые свойства материала претерпевают в процессе изготовления детали.

Таким образом, понимание критериев выбора того или иного материала и обязательное знание технологий получения и обработки, позволяет минимизировать количество возможных проблем, связанных с выбором материала.

Оценка выбора

Иногда при выборе материалов возникает ситуация, когда среди двух или трех возможных вариантов трудно сделать выбор в соответствии с установленными критериями и тогда решающим фактором становится практический опыт.

Среди специалистов в области инженерии материалов всегда существует тенденция использования тех материалов, которые они знают лучше, и отклонения других возможных вариантов выбора, отказа от новых материалов, что приводит к проигрышу как с экономической, так и с технической точки зрения.

Поэтому делаются попытки внедрить в практическое использование экспертные системы выбора материалов, причем не столько с целью выбора, сколько для оценки предварительно сделанного выбора.

Экспертная система оценки самого выбора материала включает определенные средства опроса с доступом к его результатам; правила отбора вопросов и ответов из базы знаний; обработку данных; описание алгоритма выборочных действий; фактический материал анализируемой задачи.

Поскольку часто исследовательский процесс по выбору материала остается скрытым, важно соблюдать структуру научного исследования как методологическую основу. Это позволит в дальнейшем с единых позиций оценивать сам выбор. Правильность или неправильность выбора материала для конкретной цели может оцениваться методом, основанным на нахождении определенных критериев оценки, а также способов получения количественных значений по каждому из этих критериев.

Оценивание вариантов выбора материала, в соответствии с выделенными критериями и конкретной оценкой каждого компонента процесса выбора, обеспечивает количественную меру.

Таблица 47

Пример критериев и уровней ранжирования

Критерии	Шкала	Описание
A1 Значение данного свойства материала для функционирования	4 3 2 1 0	Незаменимо для функционирования Очень важное Важное Мало важное Не является важным
A2 Возможность обработки (обрабатываемость) во время технологического маршрута	+2 +1 0 -1 -2	Высокие технологические свойства для всех требуемых процедур. Высокие технологические свойства для большинства требуемых процедур. Средние технологические свойства для большинства требуемых процедур Низкие технологические свойства для большинства требуемых процедур Невозможность обработки
B1 Доступность	3	Очень распространенный материал. Легкий для производства. Сложный для производства
B2 Надежность	1 2 3	Очень низкая Средняя Высокая
B3 Влияние на окружающую среду и стоимость переработки	1 2 3	Высокие Средние Низкие

В целом, все критерии выбора можно сгруппировать в следующие две категории:

А) критерии, которые сами по себе могут изменить оценочный балл;

В) критерии, которые сами по себе не могут изменить оценочный балл.

Значения, связанные с каждой из групп критериев, можно определить, используя простую формулу. Оценки для группы А) получают путем умножения значения для каждого критерия: *(a1)·(a2)=aT*, где *(a1) ...(ai)* – оценки, данные по отдельным критериям для группы А).

Умножение значений для каждого критерия группы А) показывает весомость каждой оценки, в то время как простое сложение давало бы идентичные результаты для различных условий.

Оценки для критериев группы В) складываются и дают в результате единую сумму: *(b1)+(b2)+(b3)=bT, где (b1)… (bi)* – оценки, данные по отдельным критериям группы В).

Такой подход дает уверенность в том, что отдельные оценки не могут повлиять на общий балл, и в то же время важность суммы значения из группы В) также принимается во внимание.

Умножением суммы оценок по группе В) на результирующее значение по группе А) обеспечивается оценочный балл (С): *C=bT·aT*, где *aT* – результат умножения всех оценок группы А; *bT* – результат сложения всех оценок группы В; *C* – оценочный балл по анализируемому свойству.

В табл. 47 показан пример оценочной логики рассуждений по каждому свойству при выборе материала.

Определение компонентов оценки

Определить компоненты оценки – значит выбрать свойства, которые могут повлиять на производство, функционирование, эксплуатацию и восстановление материала в наилучших экономических условиях. Эти компоненты могут быть включены в классы. Например:

- свойства металлических материалов (физические, химические, механические, технологические);
- экономические и функциональные свойства;
- экологические свойства.

Для оценки каждого из вариантов материала надо построить матрицу, включающую ячейки. В каждой ячейке указывается оценка для каждого отдельно взятого критерия. По выше приведенным формулам рассчитывается оценочный балл. Затем баллы сравниваются, после чего составляется таблица категорий. После классификации по категориям баллы могут быть представлены графически, либо это может быть численное представление, как это приведено на примере в таблице 48.

Таблица 48

Пример преобразования баллов в мотивацию выбора

Средний балл	Категория	Описание категории
+48 ÷ +72	+D	Наилучший выбор
+24 ÷ +47	+C	Отличный выбор
+13 ÷ +23	+B	Очень хороший выбор
+7 ÷ +12	+A	Хороший выбор
0	N	Функционирует без проблем
-12 ÷ -7	-A	Не рекомендуется
-23 ÷ -13	-B	Плохой выбор
-47 ÷ 24	-C	Очень плохой выбор
-48 ÷ - 72	-D	Наихудший выбор

Пример оценочной матрицы приведен в табл. 49. Применение матрицы – один из наиболее важных шагов метода оценки, т. к. выбор компонентов может оказать достаточно сложным. После составления матрицы нетрудно выполнить выставление оценок и подсчет. Этот метод обеспечивает одинаковый подход для каждого варианта материала, и в связи с тем, что большую часть компонентов (свойств) можно измерить, достаточно простая система ранжирования – субъективность исключается. Дос-

тоинство метода в том, что сравниваются числа, полученные объективным способом, а не рекомендации или мнения.

Таблица 49

Компонент	Оценочный балл	Категория	A1	A2	B1	B2	B3
Материал 1 Свойства							
Предел прочности на разрыв							
Относительное удлинение							
Значение модуля Юнга							
Сварочные свойства							
Механическая обработка							
Экономические и функциональные свойства							
Цена материала за 1 кг							
Доступность							
Экологические свойства							
Токсичность							

Показанный метод не единственный для оценки выбора, возможны и другие варианты. Например, можно составить набор матриц для выбора материала для интересующих областей. Так, в области транспортного машиностроения можно создать матрицы выбора материалов для шасси, колес или для всех остальных главных компонентов. Далее, соотнося наборы матриц с базой данных по материалам, содержащей сведения по всем свойствам, можно осуществить рациональный выбор.

В целом необходимо правильно устанавливать алгоритм и процедуру опроса основной программы. Функционирование метода экспертной оценки заключается в следующем:

- устанавливается потребность в выборе материала (например, для шестерни);
- составление набора матриц для выбора и для введения требуемых данных, общих технических условий;
- введение технических условий, относящихся к данной детали машины (диаметр, другие размеры, модуль, количество зубьев шестерни, твердость после конечной тепловой обработки, шероховатость и т. п.);
- включение базы данных в соответствии со свойствами, которым должен отвечать материал, чтобы удовлетворить требованиям;
- сделанный по трем наборам матриц выбор представляется в виде списка, в котором материалы располагаются в порядке убывания пригодности.

Таким образом, выбор материала может быть алгоритмизирован и осуществляться по конкретным программам, составленным на основе четких методологических и теоретических представлений.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ПО РАЗДЕЛУ 3

1. Какие параметры, в первую очередь, определяют выбор стали для изготовления детали?
2. При выборе технологии упрочняющей обработки деталей, работающих в условиях износа, какие факторы надо учитывать?
3. Чем определяется эксплуатационная стойкость валов, и какие материалы и режимы термической обработки можно рекомендовать для валов средней нагруженности?
4. Какой материал и вид окончательной термической или химико-термической обработки можно рекомендовать для малонагруженных зубчатых колес?

5. Каковы причины разрушения крепежных деталей, и какие материалы и виды обработок обеспечивают лучшие эксплуатационные свойства?

6. Какими особенностями применения обладают чугуны?

7. На каких сведениях строится решение задач по выбору материалов из класса конструкционных и инструментальных сталей, цветных сплавов?

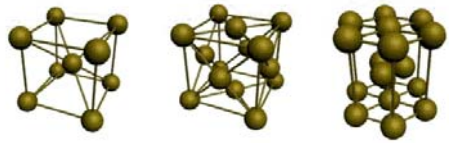
8. Какими правилами руководствуются при выборе пластмассовых изделий?

9. Какие проблемы могут возникнуть после осуществления выбора материала изделий?

10. В чем состоит методология оценки выбора?

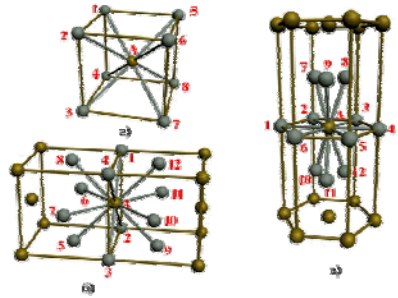
Приложение А

ОСНОВНЫЕ ТИПЫ КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ РЕШЕТОК МЕТАЛЛОВ
(схемы упаковки атомов и их характеристики)

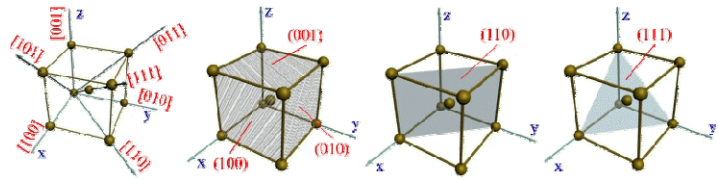


а) *б)* *в)*

а) объемно-центрированная кубическая (ОЦК) – 2 атома на ячейку;
б) гранецентрированная кубическая (ГЦК) – 4 атома на ячейку;
в) гексагональная плотноупакованная решетка (ГПУ) – 6 атомов на ячейку



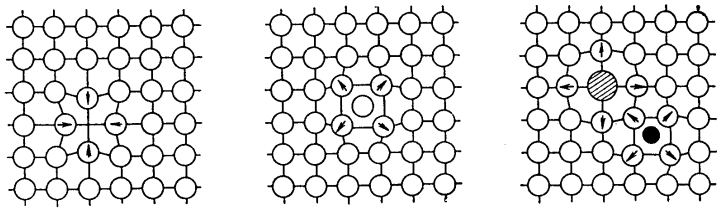
Координационное число в кристаллических решетках для атома А:
а) К8; *б) К12;* *в) Г12*



Кристаллографические направления и плоскости кристалллической решетки

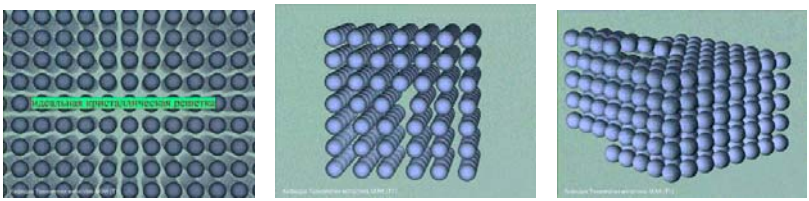
Приложение Б

Дефекты кристаллического строения



а *б* *в*

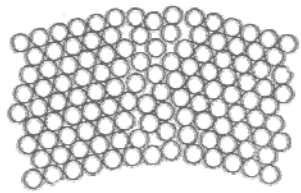
Точечные дефекты в кристалле: *а – вакансия; б – межузельный атом; в – примесные атомы замещения и внедрения*



а) *б)* *в)*

а) идеальная кристаллическая решетка; б) схема краевой дислокации;в) схема винтовой дислокации

Структура границы двух зерен (поверхностный дефект):



Приложение В

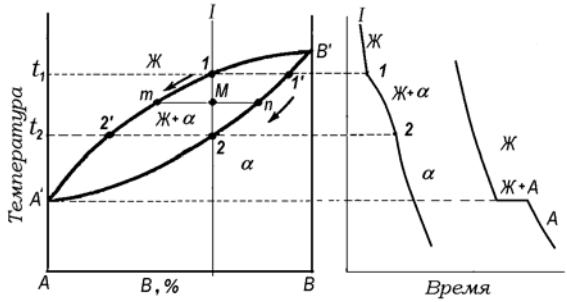
Основные фазы и структуры в сплавах железа (по Ю.М. Лахтину)

Фаза	Определение	Раствори-мость *C*	Крист. решетка	Твер-дость *HB*	Примечание
Феррит	Твердый раствор углерода и других элементов в α-железе. Различают: а)высокотемпер. феррит (δ-феррит); б) низкотемперат. α-феррит.	0,1 % (при 1493 ^{0}C) 0,025 % (при 723 ^{0}C) и 0,006 % (20 ^{0}C)	ОЦК	80	Атомы растворенных элементов занимают междоузлия (*C, N, H*), узлы (*Mn, Cr, Ni, W, Mo, V* и др.) и др. дефекты
Аустенит	Твердый раствор углерода и других элементов в γ-железе.	До 2,06 % (при 1147 ^{0}C). 0,8 % (при 723 ^{0}C)	ГЦК	170-200	
Цементит	Карбид железа Fe_3C. В присутствии примесей образуется легированный цементит, например $(FeMn)_3C$, $(FeCr)_3C$, $(FeMnCr)_3C$	6,67%	Орторомбическая a = 4,514 A^0; b = 5,079 A^0; c = 6,729 A^0	850-1000	Легирующие элементы могут образовывать сложные карбиды типа M_3C_3, $M_{23}C_6$, M_6C, M_2C, где M – сумма легирующих элементов
Ледебурит	Эвтектическая структура, состоящая из аустенита (после охлаждения до $T<A_1$ - перлита) и цементита	Образуется при содержании в жидком сплаве 4,3%C			При наличии в стали значительных коли-честв *Cr, W, Mo* может образовываться при низких концентрац. *C*
Перлит	Эвтектоидная или квази-эвтектоидная структура, состоящая из феррита и цементита, имеющих пластинчатую форму. Во многих случаях получают зернистый перлит, когда зерна цементита расположены в ферритной матрице. В зависимости от толщины пластин (Δ_0) различают: грубодифференцированный перлит (Δ_0 = 0,6÷1,0 мкм); среднедифференцированный перлит и сорбит (Δ_0 = 0,25÷0,3мкм); тонкодифференц перлит или троостит (Δ_0 = 0,1÷0,15мкм)	Образуется из аустенита в процессе охлаждения. Для образования перлита в аустените должно быть 0,8 %C		180-250 250-350 350-450	В сорбите или трости-те содержание *C* может быть < или > 0,8 % (квазиэвтектоид).Чем больше степень переохлаждения, тем дисперснее феррито-цементитная смесь.Сорбит и трос-тит образуются как при распаде переохлаж-денного аустенита, так и в результате распада мартенсита отпуска. Тогда цементит имеет не пластинчатую, а зер-нистую форму, феррит имеет повышенную плотность дефектов
Мартенсит	Пересыщенный твердый раствор углерода в α-железе.	Такая же, как в исходном аустените	Тетрагональн. Чем выше со-держание *C*, тем больше *c/a;* при 1,78 % C: *c/a* = 1,08.	180-700	Мартенсит образуется из аустенита в интер-вале температур $M_Н$–$M_К$ при скорости ох-лаждения > критич.
Бейнит	Структура, состоящая из кристаллов пересыщенного углеродом α-раствора и карбидов. Различают: верхний бейнит, где частицы карбидов размещаются между пластинками α-фазы; нижний бейнит, где α-фаза имеет игольчатое строение, а дисперсные карбиды распол. внутри пластин α-фазы			*HRC*35-40 *HRC*40-50	Образуется в резуль-тате распада аустенита в условиях большого переохлаждения (450-200 ^{0}C). Верхний бей-нит образуется в верх-ней зоне промежуточ-ного превращения. Нижний бейнит образу-ется при температурах, близких к $M_Н$.

Приложение Г

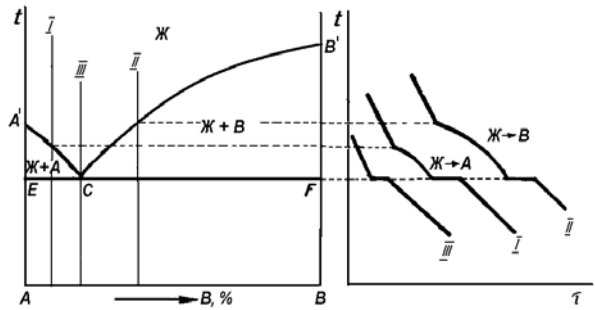
ОСНОВНЫЕ ТИПЫ ДИАГРАММ СОСТОЯНИЯ СПЛАВОВ

1. Диаграмма состояния сплавов с неограниченной растворимостью компонентов и кривые охлаждения:

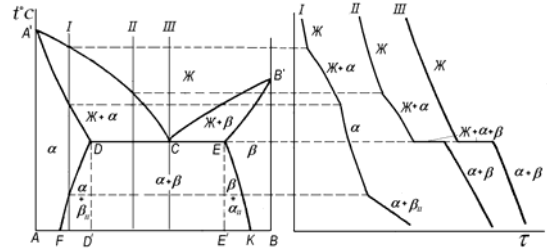


2. Диаграмма состояния сплавов, образующих механические смеси чистых компонентов:

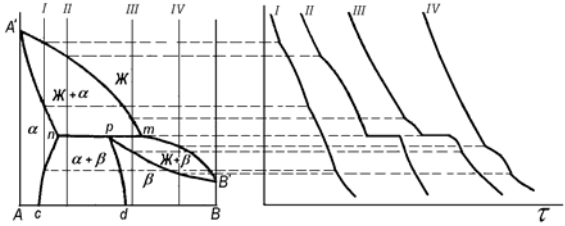
3.



4. Диаграмма состояния двойной системы с эвтектическим *(а)* и перитектическим *(б)* превращениями. Кривые охлаждения сплавов

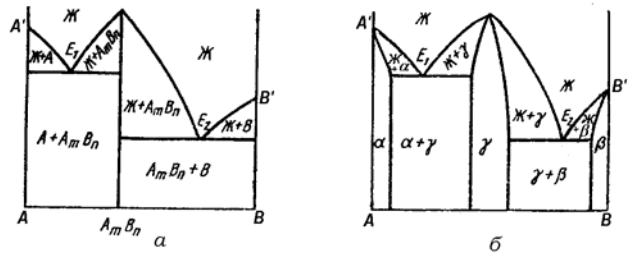


а)



б)

4. Диаграммы состояния двойных систем с устойчивой промежуточной фазой:

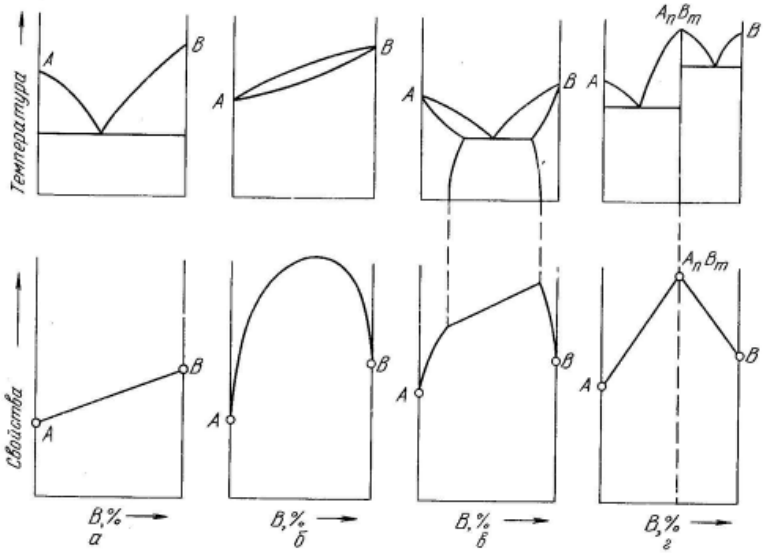


а) диаграмма состояния с образованием устойчивого химического соединения A_mB_n. При этом ни чистые компоненты А и В, ни химическое соединение не образуют твердых растворов;

б) диаграмма состояния с образованием гомогенной области твердых растворов компонентов А и В на базе устойчивого соединения A_mB_n и твердых растворов на основе компонентов А и В

Приложение Д

Правило Н.С. Курнакова:



а) при образовании механических смесей свойства сплавов изменяются по линейному закону (аддитивно);

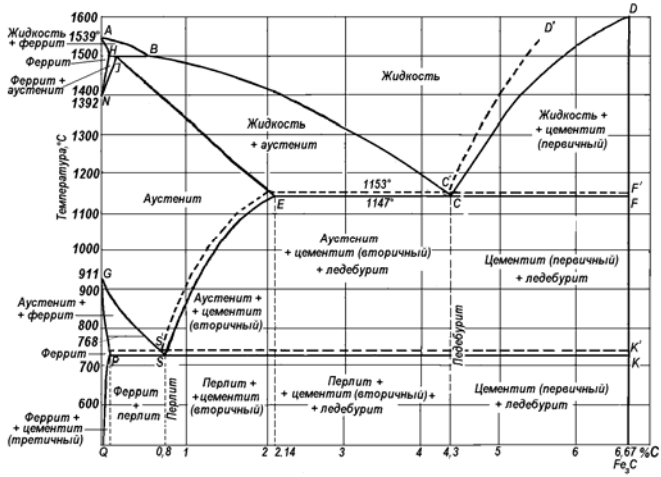
б) при образовании твердого раствора свойства меняются по криволинейной зависимости;

в) в сплавах с ограниченной растворимостью свойства при концентрации, отвечающих однофазному твердому раствору изменяются по криволинейной зависимости, а в двухфазовой области – по прямой;

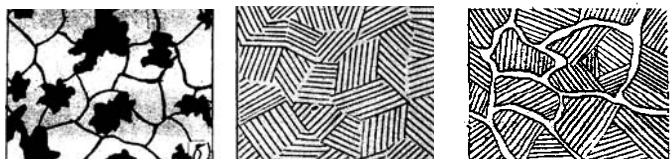
г) при образовании химического соединения на кривой концентрация-свойство будет наблюдаться максимум (или минимум)

Приложение Е

Диаграмма состояния железо – углерод:

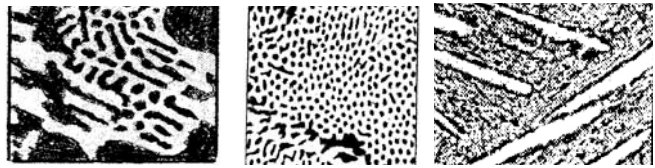


Схемы микроструктур доэвтектоидной *(а)*, эвтектоидной *(б)* и заэвтектоидной *(в)* стали:



а *б* *в*

Микроструктура доэвтектического *(а)*, эвтектического *(б)* и заэвтектического *(с)* белого чугуна:



а *б* *с*

Приложение Ж

Влияние легирующих элементов на строение и свойства легированной стали

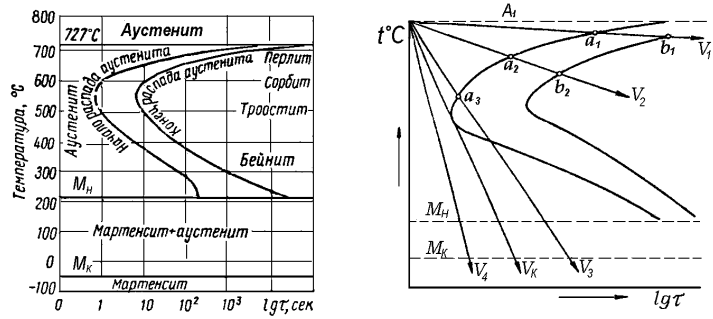
Легирующий элемент и его химические соединения	Растворимость в α- и γ-твердых растворах (феррите и аустените),%	Влияние на критические точки, свойства стали и ее структурные составляющие
Марганец Mn_7C_3, $Mn_{23}C_6$ Свободные карбиды марганца в стали не встречаются. Основное его количество находится в твердом растворе и частично в карбиде железа $(FeMn)_3C$	Ограниченная область α-твердого раствора (до 15%), открытая область γ-твердого раствора (непрерывная растворимость до 55%)	Понижает точки A_{C3} и A_{C1}, и существенно A_{r3} и A_{r1}. Повышает твердость, предел прочности, текучести и сопротивление отрыву феррита. Понижает пластичность феррита при содержании свыше 3-3,5%. Смещает эвтектоидную концентрацию в сторону более низких содержаний C. Каждый % Mn понижает концентрацию C в эвтектоиде на 0,05-0,06%. В присутствии Mn карбид железа Fe_3C сильно обогащается марганцем. Mn в карбидах и тверд. растворе содержится в отношении 1:4. Mn повышает устойчивость аустенита в перлитной и промежут. областях, понижает темпер. мартенситного превр., увеличивает прокаливаемость, стабилизирует аустенит, повышает прочность
Никель а) $FeNi_3$ – типа сверхструктуры б) Ni_3C – соединение неустойчивое, в стали не обнаружено	Область α-твердого раствора ограниченная. Растворимость возрастает с понижением температуры и при 20 ^{0}C составляет около 10%. Открытая область γ-твердого раствора.	Понижает точки A_{C3} и A_{C1} и, особенно, A_{r3} и A_{r1} при охлаждении. Повышает твердость и прочность, снижает критическую температуру хрупкости феррита. Никелевый аустенит имеет высокую вязкость, малые прочность и твердость. Уменьшает содержание C в эвтектоиде. Повышает устойчивость переохлажденного аустенита в перлитной и промежуточной областях, понижает температуру мартенситного превращения. Вследствие снижения критической скорости охлаждения, повышает прокаливаемость стали, стабилизирует аустенит в закаленной стали; в отожженных сталях незначит. повышает прочность; наиболее сильно уменьшает склонность к хрупкому разрушению закаленной и отпущенной стали при комнатной и пониженной температур.; увеличивает дисперсность карбидов при низком отпуске, но способствует их росту и коагуляции при высоком отпуске; способствует равномерному распределению C в цементованном слое. При повышенном содержании увеличивает сопротивление стали окислению при нагреве и ее прочность при повышен. температурах (особ. в сталях с аустенит. структурой). Обеспечивает высокую пластичнсть и вязкость наряду с повышенной прочностью.
Кобальт а) $FeCo$ – типа сверхструктуры б) Co_3C – соединения неустойчивые, в сталях не обнаружены	При температурах ниже 700^{0}C в феррите растворяется до 75 % кобальта. При содержании кобальта 35–65 % феррит способен к упорядочению, что вызывает рост твердости. Кобальт неограниченно растворим в γ-железе в твердом состоянии	До 50 % повышает, а при более высоком содержании понижает точку A_{C3}, повышает точку A_{C1}. Повышает температуру рекристаллизации и магнитного превращения (точку Кюри) феррита. Уменьшает способность аустенита к переохлаждению, повышает скорость его превращения. Уменьшает количество остаточн. аустенита в закаленной стали; повышает температуру мартенситного превращения. При отпуске закаленные кобальтов. стали снижают твердость медленнее, чем углеродистые. Повышает коэффициент диффузии C в аустените, способствует обезуглероживанию. В быстрорежущих сталях повышает горячую твердость и производительность резания.

Легирующий элемент и его химические соединения	Растворимость в α- и γ-твердых растворах (феррите и аустените),%	Влияние на критические точки, свойства стали и ее структурные составляющие
Хром а) $FeCr$ – σ-фаза, образуется при 600-800 ^{0}C. Ее выделение охрупчивает сталь б) $Cr_{23}C_6$, Cr_7C_3, Cr_3C_2 в) CrN, Cr_2N	Растворимость хрома в α-железе неограниченная. Область γ-твердого раствора замкнута. Максимальная растворимость хрома в γ-железе около 12 % при 1000 ^{0}C.	Содержание до 7 % снижает, а затем повышает точку A_{C3}. Повышает точку A_{C1}. Хромистый феррит обладает повышенными прочностными свойствами, при содержании до 2 % Cr уменьшает склонность к хрупкому разрушению, смещает максимальную скорость превращения аустенита в перлитной области к более высоким температурам; уменьшает скорость перлитного превращения, уменьшает скорость превращения в промежуточной области и смещает ее максимум к более низким температурам. В случае полного растворения карбидов и значительного насыщения твердого раствора углеродом и хромом мартенситная точка стали существенно снижается и в стали сохраняется много остаточного аустенита. Хромистая сталь обладает повышенной устойчивостью против отпуска (вследствие выделения специальных карбидов и уменьшения скорости рекристаллизации α-фазы). Cr повышает прокаливаемость стали, способствует получению высокой и равномерной твердости; наличие карбидов Cr или карбидов цементитного типа, легированных хромом, обеспечивает стали повышенную износостойкость. При содержании Cr в твердом растворе свыше 12-13 % значительно повышается устойчивость стали против коррозии и окисления
Молибден а) Fe_7Mo_6, $FeMo$ б) Mo_2C, MoC в) Mo_2N, MoN	Открытая область α-твердого раствора. При 1450 ^{0}C растворяется около 37 %, при 700 ^{0}C – 9 %, при 20 ^{0}C – 4 % Mo. Область γ-твердого раствора замкнутая. Максимальная растворимость молибдена в γ-фазе – около 5 %.	Повышает точки A_{C3} и A_{C1}. Сильный карбидообразующий элемент. Образует карбиды типа $(Mo\ Fe)_{23}C_6$ и $(Fe,\ Mo)_6C$, в которых вероятное соотношение атомов железа и молибдена $Fe_{21}Mo_2C_6$ и Fe_4Mo_2C. В карбиде $(Mo\ Fe)_{23}C_6$ могут растворяться хром и вольфрам, поэтому он может присутствовать в сталях (сплавах) разной легированности. В цементите (Fe_3C) растворяется около 1% молибдена. Mo повышает прокаливаемость стали, увеличивая устойчивость переохлажденного аустенита в перлитной области. Устойчивость аустенита в сталях с Mo в промежуточной области изменяется мало. Уменьшает чувствительность к перегреву, повышает устойчивость стали против разупрочнения при отпуске, увеличивает теплостойкость и сопротивление ползучести; устраняет склонность стали к отпускной хрупкости; тормозит рост и коагуляцию легированного цементита и спец. карбидов
Вольфрам а) Fe_2W, Fe_7W_6 б) W_2C, WC в) W_2N, WN	Открытая область α-твердого раствора. Растворимость при 1524 ^{0}C – 15 %, при 700 ^{0}C – 4,5 %. Область γ-твердых растворов замкнутая. Максимальная растворимость вольфрама в α-твердом растворе при 600 ^{0}C – около 6 %	Повышает точки A_{C3} и A_{C1}. Повышает температуру рекристаллизации, твердость, предел прочности и предел текучести феррита, снижает пластичность. В сложнолегированных сталях (быстрорежущих, штамповых и т.п.) в качестве стабильной фазы присутствуют карбиды типа M_6C – (Fe_4W_2C) и $M_{23}C_6$ – $(Fe,\ Cr,\ W)_{23}C_6$. Вольфрам и образуемые им карбиды уменьшают склонность аустенита к росту зерна. W повышает устойчивость аустенита в перлитной области, почти не влияя на его устойчивость в промежуточной области. Повышает устойчивость против отпуска. Придает сталям теплостойкость

Легирующий элемент и его химические соединения	Растворимость в α- и γ-твердых растворах (феррите и аустените),%	Влияние на критические точки, свойства стали и ее структурные составляющие
Ванадий а) *FeV* – σ-фаза, образуется при содержании 29-60 % ванадия, хрупкая, парамагнитная б) V_2C, $VC(V_4C_3)$ в) *VN*	Растворимость ванадия и α-железа в твердом состоянии неограниченная. Область γ-твердого раствора очень узкая (1,2-1,5 %) и замкнутая.	Повышает точки A_{C3} и A_{C1}. Повышает прочность, температуру рекристаллизации, но снижает вязкость феррита. Сильный карбидообразующий элемент. Выделение карбидов ванадия при отпуске обеспечивает повышение твердости и теплоустойчивость. Замедляет превращение аустенита в перлитной, но не влияет на превращение в промежуточной области. Повышает дисперсность структуры перлита; увеличивает прокаливаемость стали, при закалке от высоких температур, обеспечивающих растворение карбидов ванадия, уменьшает ее при закалке от обычных температур; повышает устойчивость против отпуска. Малые добавки *V* способствуют измельчению зерна, повышают вязкость, а также весь комплекс механических свойств в нормализованном и улучшенном состояниях. Активный раскислитель и дегазатор. Рафинирует сталь и улучшает ее свариваемость, связывая углерод в карбиды и газы з оксиды и нитриды. Образуя очень твердые карбиды, обеспечивает повышенную износостойкость.
Титан а) Fe_2Ti, *FeTi*, $FeTi_2$ б) *TiC* в) *TiN*, Ti_3N	Максимальная растворимость в α-железе ≈ 6 % при температуре 1300 ^{0}C. С понижением температуры растворимость уменьшается. Область γ-твердого раствора ограниченная (≈1 % *Ti*), замкнутая	Повышает точки A_{C3} и A_{C1}. Ферритные стали, содержащие титан, способны к дисперсионному твердению. Сильный карбидообразующий элемент. Способствует образованию в стали наследственного мелкого зерна, препятствует росту зерна при нагреве, выделяясь при отпуске в виде интерметаллидов. В высоколегир. сталях, содержащих *Ni* и *Co*, значительно упрочняет их за счет дисперсионного твердения. Вводится в нержавеющие стали в качестве стабилизирующего элемента.
Кремний а) Fe_3Si, *FeSi*, Fe_5Si_3, $FeSi_2$ б) *SiC* в сталях не образуется в) Si_3N_4	В α-железе растворяется до 15 % *Si* при 1250 ^{0}C. С понижением температуры растворимость уменьшается и при 20 ^{0}C составляет около 5 %. Область γ-твердого раствора замкнутая. Максимальная растворимость около 2,5 % (при 1170 ^{0}C)	Повышает точки A_{C3} и A_{C1}. Стали с ферритной структурой, содержащие *Si*, относятся к магнитомягким материалам. Практически используются сплавы, содерж. до 4,5 % *Si*. Повышает температуру рекристаллизации и твердость феррита. Сдвигает точку эвтектоидного превращения к меньшим концентрациям углерода. Способствует графитизации. Повышает прокаливаемость ст. и устойчивость против отпуска. Повышает пределы упругости и пропорц., снижает пластичность, повышает кр. температуру хрупкости. Высококремнистые спл. обладают высокой коррозион. стойкостью, но весьма хрупкие.
Алюминий а) Al_3Fe, Al_5Fe_2, Al_3Fe, *AlFe*, $AlFe_3$, Al_7Fe_2 б) Al_4C_3 в) *AlN*	В α-железе растворяется свыше 30 % *Al*. Область γ-твердого раствора замкнутая, узкая (1 % *Al*)	Повышает точки A_{C3} и A_{C1}, а также температуру мартенситного превращения. Повышает температуру рекристаллизации феррита и сопротивление газовой коррозии при повышенных температурах. Измельчает зерно. Связывая азот в нитриды, уменьшает склонность стали к старению, повышает ударную вязкость при пониженных температурах. Усиливает склонность стали к графитизации. Выделяясь в виде интерметаллидов в высоколегир. сталях, содержащих *Ni* и *Co*, значительно их упрочняет.

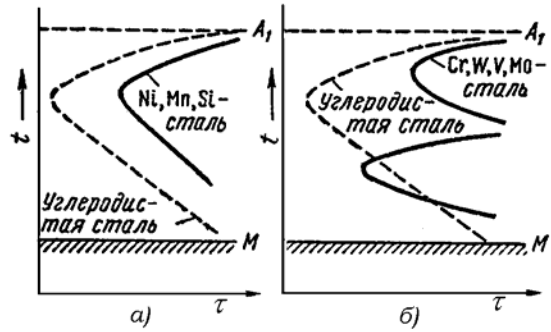
Приложение И

Диаграмма изотермического распада аустенита *(а)* и наложение кривых охлаждения на диаграмму изотермического распада *(б)*:



а) *б)*

Диаграммы изотермического распада переохлажденного аустенита для: *а) углеродистой стали; стали, легированной элементами не образующими карбидов и б) стали с карбидообразующими элементами*



а) *б)*

Приложение К

Маркировка легированных сталей, принятая в ГОСТах

Буквенное обозначение	Элемент	Буквенное обозначение	Элемент
Н	Никель	Ц	Цирконий
Х	Хром	С	Кремний
К	Кобальт	П	Фосфор
М	Молибден	Ч	Редкоземельные металлы
Г	Марганец	В	Вольфрам
Д	Медь	Т	Титан
Р	Бор	Ф	Ванадий
Б	Ниобий	Ю	Алюминий

Примечание:

- В конструкционных сталях первые две цифры соответствуют содержанию углерода в сотых долях процента. Если углерода около 1 %, то цифра не ставится. В некоторых случаях, если углерода не более 0,1 %, цифра тоже опускается.

- Если содержание легирующего элемента не превышает 1,0–1,5 %, то цифра не ставится.

- Буква А в середине марки указывает на то, что в стали присутствует азот как легирующий элемент.

- Буква А в начале марки означает, что сталь «автоматная» с повышенным содержанием серы и фосфора.

- Буква А в конце марки указывает на то, что сталь высококачественная с малым содержанием серы и фосфора.

- В марках инструментальных легированных сталей содержание углерода выражается в десятых долях процента.

- При маркировке инструментальных сталей содержание углерода часто не указывается, если оно составляет 0,9 – 1,1 %.

- Особые группы высоколегированных сталей обозначаются буквами. Группу быстрорежущих инструментальных сталей, легированных вольфрамом, обозначают буквой Р, цифра указывает содержание вольфрама в процентах. Шарикоподшипниковые стали обозначают буквами ШХ, цифры за буквами указывают содержание хрома в десятых долях процента.

Приложение Л

Система кодов Американского института черной металлургии – Общества инженеров автомобильного транспорта (*AISI–SAE*)

Номер серии	Тип стали	Примеры разделения на серии
1000	Углеродистая	10XX – с содержанием марганца максимум 1%
		11XX – ресульфизированная
		12XX – ресульфизированная и рефосфорированная
		15XX – 1,0…1,65 % Mn
	Марганцевые	13XX – 1,75 % Mn
2000	Никелевые	23XX – 3,5 % Ni
		25XX – 5,0 % Ni
3000	Никель-хромистые	31XX – 1,25 % Ni; 0,65 или 0,8 % Cr
		32XX – 1,75 % Ni; 1,07 % Cr
		33XX – 3,50 % Ni; 1,50 или 1,57 % Cr
		34XX – 3,0 % Ni; 0,77 % Cr
4000	Молибденовые	40XX – 0,2 или 0,25 % Mo
		44XX – 0,4 или 0,52% Mo
	Хромо-молибденовые	41XX – 0,5; 0,8 или 0,95 % Cr; 0,12; 0,20; 0,25 или 0,3 % Mo
	Никель-хромо-молибденовые	43XX – 1,82 % Ni; 0,5 или 0,8 % Cr; 0,25 % Mo
		S47XX – 1,05 % Ni; 0,45 % Cr; 0,2 или 0,35% Mo
	Никель-молибденовые	46XX – 0,85 или 1,82 % Ni; 0,2 или 0,25 % Mo
		48XX – 3,5 % Ni; 0,25 % Mo
5000	Хромистые	50XX – 0,27; 0,4; 0,5 или 0,65 % Cr
		51XX – 0,80;0,87; 0,92; 0,95; 1,00 или1,05% Cr

продолжение таблицы

6000	Хромованадиевые	61XX – 0,60; 0,80 или 0,95% Cr, минимум 0,1 или 0,15 % V
7000	Вольфрамохромистые	72XX – 1,75 % W; 0,75 % Cr
8000	Никель-хромо-молибденовые	81XX – 0,3 % Ni; 0,4 % Cr; 0,12 % Mo
		86XX – 0,55 % Ni; 0,5 % Cr; 0,2 % Mo
		87XX – 0,55 % Ni; 0,5 % Cr; 0,25 % Mo
		88XX – 0,55 % Ni; 0,5 % Cr; 0,35 % Mo
9000	Марганцово-кремнистая	92XX – 1,4 % или 2,0 % Si; 0,65; 0,82 или 0,85 % Mn; 0,00 или 0,65 % Cr
	Никель-хромо-молибденовые	93XX – 3,25 % Ni; 1,2 % Cr; 0,12 % Mo
		94XX – 0,45 % Ni; 0,4 % Cr; 0,12 % Mo
		97XX – 0,55 % Ni; 0,2 % Cr; 0,2 % Mo
		98XX – 1,0 % Ni; 0,8 % Cr; 0,25 % Mo

Приложение М

Таблица 1

Система кодов легированных сталей по британскому стандарту

Цифры	Основные легирующие элементы
500…519	Ni
520…539	Cr
540…549	Mo
550…569	V; Ti; Al; Nb
570…579	Si-Ni, Si-Cr; Si-Mo; Si-V
580…589	Mn-Si; Mn-Ni
590…599	Mn-Cr
600…609	Mn-Mo
610…619	Mn-V
620…629	Ni-Si; Ni-Mn
630…659	Ni-Cr
660…669	Ni-Mo
670…679	Ni-V; Ni- X*
680…689	Cr-Si; Cr-Mn
690…699	Cr-Ni
700…729	Cr-Mo
730…739	Cr-V
740…749	Cr-X*
750…759	Mo- Cr; Mo-V; Mo-X*
760…769	Si-Mn-Cr
770…779	Mn-Ni-Cr
780…789	Mn-Ni- Mo
790…799	-
800…839	Ni-Cr -Mo
840…849	Ni-Cr-V; Ni-Cr-X
850…859	Ni- Mo-V; Ni-Cr-X
860…869	-
870…879	Cr- Ni- Mo
880…889	-
890…899	Cr-Mo-V
900…909	Cr-Al-Mo

продолжение таблицы 1

910…919	-
920…929	Si-Mn-Cr-Mo
930…939	-
940…949	Mn- Ni- Cr-Mo
950…969	-
970…979	Ni-Cr- Mo-V
980…999	-

Таблица 2

Применение легированных сталей по британскому стандарту

BS	Применение
Марганцевые стали	
150M19	Поддается качественной сварке, растягивающие напряжения свыше 540 МПа Для большого диаметра валов, подъемных зубчатых колес
150M36	Хуже свариваемая, чем сталь 150M19, но с растягивающими напряжениями свыше 1000 МПа при малых сечениях материала. Для осей рычагов, частей пушек
Хромистые стали	
530M40	Растягивающие напряжения меньше 700 МПа. Для кривошипных валов, осей, соединяющих стержней.
Марганцево-молибденовые стали	
605M36	Растягивающие напряжения свыше 850 МПа. Для массивных мощных валов, высокого растяжения стержней и болтов, соединительных стержней
608M38	Растягивающие напряжения свыше 1000 МПа. Для дифференциальных валов, высокого растяжения стержней и болтов, соединительных стержней
Никель-хромистые стали	
653M31	Растягивающие напряжения свыше 900 МПа. Для дифференциальных валов, высокого растяжения стержней и болтов, соединительных стержней

продолжение таблицы 2

Хромомолибденовые	
708M40	Растягивающие напряжения свыше 850МПа при больших сечениях деталей и 930МПа для малых сечений. Широкое применение
709M40	Применение, подобное стали 605M36, но незначительное, для деталей больших сечений. Обладает хорошим сопротивлением износу. Для болтов с высоким растяжением, путевых штырей
722M24	Может быть азотирована для получения поверхностной твердости 900HV. Вязкая. Для массивных мощных кривошипных валов, деталей режущего инструмента
Никель-хромомолибденовые стали	
817M40	Растягивающие напряжения свыше 1000МПа для большого сечения профилей проката и 1500 МПа для малого, где необходимо выдерживать удары и иметь хорошие усталостные свойства, например, у зубчатых колес.
826M40	Для изделий, требующих растягивающих напряжений свыше 1400 МПа
835M30	Для изделий, требующих растягивающих напряжений свыше 1500 МПа
Марганцево-никель-хромомолибденовые	
945M38	Подобно стали 817M40

Приложение Н

Американская (AISI) и британская (BS) системы кодирования инструментальных сталей

AISI	BS	Материал
W	BW	Инструментальная сталь, закаленная в воде
O	BO	Инструментальная сталь, закаленная в масле, для холодной обработки
A	AB	Среднелегированная, закаленная для холодной обработки
D	BD	Высокоуглеродистая и высокохромистая сталь ля холодной обработки
H	BH	Сплав на основе хрома или вольфрама для горячей обработки
M	BM	Сплав на основе молибдена, быстрорежущая сталь
T	BT	Сплав на основе вольфрама, быстрорежущая сталь
S	BS	Ударостойкая инструментальная сталь
P	BP	Стали для пресс-форм
L	BL	Низколегированная инструментальная сталь для специальных применений
F	BF	Вольфрамоуглеродистые стали

Примечание: Буквы кода инструментальной стали следуют перед номером, обозначающим маркировку состава стали

Приложение П

Таблица 1

Система кодирования составов литейных сплавов Алюминиевой ассоциации США

AA	Основные сплавляемые элементы
1XX.X	Алюминий минимальной чистоты 99,00 %
2XX.X	Медь
3XX.X	Кремний плюс медь или магний
4XX.X	Кремний
5XX.X	Магний
6XX.X	Неиспользованные серии цифр
7XX.X	Цинк
8XX.X	Олово
9XX.X	Другие элементы

Таблица 2

Эквивалентные номера литейных сплавов по британскому стандарту и системе Алюминиевой ассоциации США

BS	AA
LM4	319.0
LM5	514.0
LM9	A360.0
LM10	520.0
LM12	222.0
LM13	336.0
LM16	355.0
LM18	443.0
LM20	413.0
LM21	319.0
LM24	A380.0
LM25	356.0
LM30	390.0

Таблица 3

Система кодирования составов ковких сплавов

AA	Основной сплавляемый элемент
1XXX	Алюминий минимальной чистоты 99,00 %
2 XXX	Медь
3XXX	Марганец
4XXX	Кремний
5XXX	Магний
6XXX	Магний и кремний
7XXX	Цинк
8XXX	Другие элементы
9XXX	Неиспользованные серии цифр

Таблица 4

Основные американские коды степени твердости сплавов

Акод	Степень твердости сплава
F	Соответствует только изготовленному
O	Отожжен
H	Упрочнен деформированием, только обработан ковкой
T	Обработан теплом для получения стабильной степени твердости, иной, чем по спецификациям O или H
W	Обработан теплом. Применяется только для сплавов, которые прошли естественный путь затвердевания

Таблица 5

Подразделение кодов степени твердости сплавов

ААкод	Степень твердости сплава
Упрочнение деформированием	
H1	Только что упрочнен деформацией, но нет тепловой обработки. Уменьшение твердости определяется второй цифрой (1…8). 1 – указывает наименьшее суммарное затвердевание, 8 – наибольшее. H12 – обозначает четверть твердости. H14 – половину, H16 – три четверти, H18 – полностью твердый

продолжение таблицы 5

H2	Упрочнен деформацией и частично отожжен. Уменьшение твердости после отжига указывается второй цифрой (1…8), как у H1.
H3	Упрочнен деформацией и стабилизирован тепловой обработкой при низкой температуре. Уменьшение твердости до стабилизации указывается второй цифрой (1…8), как у H1
Тепловая обработка	
T1	Охлажден от повышенной температуры процесса формовки и подвергнут естественному старению
T2	Охлажден от повышенной температуры процесса формовки, подвергнут холодной обработке, деформирован в холодном состоянии и подвергнут естественному старению
T3	Тепловая обработка на твердый раствор, деформирован в холодном состоянии и подвергнут естественному старению
T4	Тепловая обработка на твердый раствор, подвергнут естественному старению. T42 указывает, что материалу разрешена обработка от O или F отпуска.
T5	Охлажден от повышенной температуры процесса формовки и затем подвергнут искусственному старению
T51	Снято напряжение при правке растяжением после тепловой обработки на твердый раствор и охлаждения от повышенной температуры формования. T510 – сплав, у которого не было дальнейшей обработки после правки растяжением. T511 – сплав, у которого имела место некоторая незначительная правка.
T52	Снято напряжение при сжатии после тепловой обработки на твердый раствор или охлаждения от повышенной температуры формования.
T54	Снято напряжение при комбинации правкой растяжением и сжатием
T6	Тепловая обработка на твердый раствор и затем искусственное старение. T62 – материал с тепловой обработкой на твердый раствор из O или F отпуска
T7	Тепловая обработка на твердый раствор и стабилизация
T8	Тепловая обработка на твердый раствор, холодная обработка и искусственное старение
T9	Тепловая обработка на твердый раствор, искусственное старение и затем холодная обработка
T10	Охлажден от повышенной температуры процесса формования, холодная обработка и затем искусственное старение

Таблица 6

Британские коды степени твердости сплавов

BS код	AA код	Степень твердости сплава
M	F	Соответствует только изготовленному
O	O	Отожжен
H	H	Закален деформацией. Следующие номера (1…8) указывают степень твердости как у американских кодов
TB	T4	Тепловая обработка на твердый раствор и естественное старение. Нет холодной обработки после тепловой обработки, возможно некоторое легкое разглаживание или правка
TB7	T7	Тепловая обработка на твердый раствор и стабилизация
TD	T3	Тепловая обработка на твердый раствор, холодная обработка и естественное старение
TE	T10	Охлаждение от повышенной температуры процесса формовки и преципитатное упрочнение
TF	T6	Тепловая обработка на твердый раствор и преципитатное упрочнение
TF7	-	Тепловая обработка на твердый раствор, преципитатное упрочнение и стабилизация
TH	T8	Тепловая обработка на твердый раствор, холодная обработка и преципитатное упрочнение
TS	T	Термическая обработка до повышенной размерной стабилизации

Приложение Р

Таблица 1

Коды меди и ее сплавов по системе Ассоциации содействия развитию промышленности медных сплавов (CDA)

Код CDA	Сплавляемая группа элементов
Ковкие сплавы	
C1XX	Медь с минимальной чистотой 99,3 % Cu, сплавы содержанием Cu (96,0÷99,3 %)
C2XX	Сплавы медь-цинк, т. е. латуни
C3XX	Сплавы медь-цинк-свинец, т. е. свинцовые латуни
C4XX	Сплавы медь-цинк-олово, т. е. оловянные латуни
C5XX	Сплавы медь-олово, т. е. бронзы/фосфорные бронзы
C6XX	Сплавы медь-алюминий, т. е. алюминиевые бронзы, медь-кремний и медь-цинк
C7XX	Сплавы медь-никель, сплавы медь-никель-цинк, т. е. нейзильберы
Литейные сплавы	
C8XX	Сплавы с высоким содержанием Cu, латуни, сплавы Mn-бронза, сплавы Cu-Zn-Si
C9XX	Сплавы Cu-Sn, Cu-Sn-Pb, Cu-Sn-Ni, Cu-Al-Fe, Cu-Ni-Fe, Cu-Ni- Zn

Таблица 2

Коды ковкой меди и ее сплавов по британскому стандарту

Код BS	Сплавляемая группа элементов
C	Медь и сплавы с низким содержанием меди
CA	Сплавы медь-алюминий, т. е. алюминиевые бронзы
CB	Сплавы медь-бериллий, т. е. бериллиевые бронзы
CN	Сплавы медь-никель
CS	Сплавы медь- кремний, т. е. кремнистые бронзы
CZ	Сплавы медь-цинк, т. е. латуни
NS	Сплавы медь-цинк-никель, т. е. нейзильберы
PB	Сплавы медь-олово-фосфор, т. е. фосфорные бронзы

Таблица 3

Коды литейной меди и ее сплавов по британскому стандарту

Код BS	Сплав
AB1, AB2, AB3	Алюминиевые бронзы
CMA1	Медь-марганец-алюминий
CN1	Медь- никель-хром
CN2	Медь- никель-ниобий
CT1	Оловянная бронза для основных назначений
CT2	Оловянная бронза с никелем
DCB1, DCB3	Латунь для литья в кокиль
G1	Адмиралтейская пушечная бронза (80-10-2)
G3, G3-TF	Никелевая пушечная бронза
HCC1	Медь высокой проводимости
HTB1, HTB3	Латунь с высоким пределом растяжения
LB2	Свинцовая бронза (80-10-0-10)
LB5	Свинцовая бронза (75-5-0-20)
LG1	Свинцовая пушечная бронза (83-3-9-5)
LG4	Свинцовая пушечная бронза (85-5-5-5)
LPB1	Свинцово-фосфорная бронза (87-7-3-3)
PB1, PB4	Фосфорная бронза для подшипников
PB2	Фосфорная бронза для механизмов
PCB1	Латунь для литья под давлением в форму
SCB1, SCB3	Латунь для основного назначения

Таблица 4

Составы литейных сплавов меди по британскому стандарту

Наименование	Код BS	Группа	Номинальный состав, %				
Медь			Cu				
Высокой проводимости	HCC1	B	>99,9				
Латуни			Cu	Sn	Zn	Другие элементы	
Литья в песок	SCB1	A	70…77	1-3	ост.	2…5 Pb	
Литья в песок	SCB3	A	63…66	-	ост.	1…3 Pb	
Литья в песок, судостроительная	SCB4	C	60..63	1-1,5	ост.	-	
Литья в песок, паяемая	SCB6	A	83…88	-	ост.	0,05…0,2 As	
Литье в кокиль	DCB1	A	59…62	-	ост.	0,25…0,5Al	
Литье в кокиль, судостроительная	DCB3	A	58…62	-	ост.	0,5…2,5 Pb 0,2…0,8 Al	
Литье под давлением С высоким пределом растяжения	PCB1 HTB1	A B	57…60 >57,0	- -	ост. ост.	0,5…2,5 Pb 0,7…2,0 Fe 0,1…3,0 Mn 0,5…2,5 Al	
С высоким пределом растяжения	HTB3	B	>55,0	-	ост.	1,0 Ni 1,5…4,0 Mn 1,5…3,25 Fe 3,0…6,0 Al	
Бронзы			Cu	Sn	Другие элементы		
Оловянная	CT1	B	90	10	0,05P		
Фосфорная	PB1	B	89	10…11	0,6…1,0 P		
Фосфорная	PB2	B	88	11…13	0,25…0,60 P		
Фосфорная	PB4	A	89	>9,7	>0,5 P		
Свинцово-фосфорная	LPB1	A	87	7,5	3Pb, >0,4 P, 1,0 Ni		
Свинцовая	LB1	C	76	9	15 Pb, 0,50 Sb		
Свинцовая	LB2	A	80	10	10 Pb, 0,50 Sb		
Свинцовая	LB4	A	85	5	10 Pb, 0,50 Sb		
Свинцовая	LB5	C	75	5	20 Pb, 0,50 Sb		
Пушечные бронзы			Cu	Sn	Zn	Pb	Другие элементы
Адмиралтейская	G1	C	88	10	2	-	-
Никелевая	G3	C	86	7	2	0,3	5,5Ni
Свинцовая	LG1	B	83	3	9	5	-
Свинцовая	LG2	A	85	5	5	5	-
Свинцовая	LG4	A	87	7	3	3	-
Алюминиевые бронзы			Cu	Al	Fe	Ni	Mn
Алюминиевая	AB1	B	88	9,5	2,5	-	-
Алюминиевая	AB2	B	80	9,5	5	5	-
Cu-Mn-Al	CMA1	B	73	9	3	3	13
Нейзильберы			Cu	Ni	Fe	Mn	Nb
Cu-Ni-Cr	CN1	C	67	31	0,7	0,8	-
Cu-Ni-Nb	CN2	C	66	30	1,2	1,3	1,3

Таблица 5

Составы ковких сплавов по британскому стандарту

Наименование	BS	Номинальный состав, %						
Медь		Cu			Другие элементы			
Электролитическая высокой проводимости	C101	>99,90			O_2			
Бескислородная высокой проводимости	C103	>99,95			-			
Высокой прочности мышьяковистая	C105	>99,20			As			
Фосфористая раскисленная	C106	>99,85			P			
Фосфористая раскисленная мышьяковистая	C107	>99,20			As, P			
Бескислородная высокой проводимости	C110	>99,99			-			
Сплавы с высоким содержанием Cu	C108	99,0			1,0Cd			
Латуни		Cu	Sn	Zn	Al	Fe	Mn	Др. эл
Золоченый металл (90-10 бронза)	CZ101	90	-	10	-	-	-	-
Красная (85-15 бронза)	CZ102	85	-	15	-	-	-	-
Мышьяковистая (70-30)	CZ105	72	-	28	-	-	-	As
Глубокого волочения (70-30)	CZ106	70	-	30	-	-	-	-
Основная или обычная	CZ108	63	-	37	-	-	-	-
Мунц-металл (60-40 бронза)	CZ109	60	-	40	-	-	-	-
Алюминиевая	CZ110	76	-	22	2	-	-	As
Адмиралтейская	CZ111	70	1	29	-	-	-	As
Судостроительная	CZ112	62	1	37	-	-	-	-
С высоким пределом растяжения	CZ114	58	0,6	37	<1,5	0,85	1,5	Pb
Паяемая, с высоким пределом растяжения	CZ115	57,5	0,9	38	<0,2	0,85	1,5	Pb
С высоким пределом растяжения	CZ116	66	-	27	4,5	0,75	1,5	-
Свинцовая (для часовых деталей)	CZ118	64	-	35	-	-	-	Pb
Свинцовый мунц-металл	CZ123	60	-	39	-	-	-	Pb
Фосфорные бронзы		Cu		Sn		P		
Фосфорная, 4 %	PB101	96		4,0		0,02…0,40		
Фосфорная, 5 %	PB102	95		5,0		0,02…0,40		
Фосфорная, 7 %	PB103	93		7,0		0,02…0,40		
Алюминиевые бронзы		Cu	Al	Fe	Ni	Mn		
Алюминиевая, 7 %	CA102	93	7	-	-	-		
Алюминиевая, 9 %	CA103	87	9	4,0+Ni		-		
Алюминиевая, (сплав E)	CA105	81	9	2,0	5,5	1,2		
Алюминиевая, (сплав D)	CA106	90	7,2	2,7	-	-		
Кремнистые бронзы		Cu		Si		Mn		
Кремнистая медь	CS101	96		2,7…3,5		0,75…1,25		
Бериллиевые бронзы		Cu		Be		Co+Ni		
Бериллиевая медь	CB101	98		1,7		0,20…0,60		
Медно-никелевые сплавы		Cu		Ni		Fe		Mn
Медь-никель (95-5)	CN101	93		5,5		1,2		0,5
Медь-никель (90-10)	CN102	87,5		10,5		1,5		0,75
Медь-никель (80-20)	CN104	80		20		-		0,30
Медь-никель (75-25)	CN105	75		25		-		0,2
Специальный сплав (70-30Cu-Ni)	CN108	66		30		2,0		2,0
Нейзильберы		Cu	Ni	Zn	Pb		Mn	
Свинцово-никелевая латунь	NS101	45	10	43	1…2		0,2…0,5	
Нейзильбер, 10 %	NS103	63	10	27	0,05…0,3		-	
Нейзильбер, 12 %	NS104	63	12	24	0,05…0,3		-	
Нейзильбер, 15 %	NS105	63	15	21	0,05…0,5		-	

Таблица 6

Составы литейных сплавов по системе Ассоциации содействия развитию промышленности медных сплавов

Наименование	CDA	Номинальный состав, %					
Медь		Cu			Другие элементы		
	C801	>99,95			Ag		
	C811	>99,70			Ag		
Сплавы с высоким содержанием Cu		Cu	Co	Ni	Другие элементы		
	C817	>94,25	0,9	0,9	1Ag, Be		
	C821	97,7	0,9	0,9	0,5Be		
Латуни		Cu	Sn	Zn	Pb	Другие элементы	
Свинцовые бронзы							
Свинцовая красная	C836	85	5	5	5	-	
Свинцовая красная	C838	83	4	7	6	-	
Свинцовая полукрасная	C844	81	3	9	7	-	
Свинцовая полукрасная	C848	76	3	15	6	-	
Свинцовая желтая	C852	72	1	24	3	-	
Свинцовая желтая	C854	67	1	29	3	-	
Свинцовая судостроительная	C857	63	1	35	1	-	
Свинцовая желтая	C858	58	1	40	1	0,3Al	
Марганцевые бронзы		Cu	Zn	Fe	Al	Mn	Pb
Марганцевая	C862	64	26	3	4	3	-
Марганцевая	C863	63	25	3	6	3	-
Оловянные бронзы		Cu	Sn	Zn	Pb	Ni	
Оловянная	C903	88	8	4	-	-	
Оловянная	C905	88	10	2	-	-	
Оловянная	C911	85	14	1	-	-	
Клапанная бронза	C922	88	6	4,5	1,5	-	
Свинцово-оловянная	C923	87	8	4	1	-	
Оловянная с высоким содержанием свинца	C932	83	7	3	7	-	
Оловянная с высоким содержанием свинца	C937	80	10	-	10	-	
Оловянная с высоким содержанием свинца	C938	78	7	-	15	-	
Оловянная с высоким содержанием свинца	C943	70	5	-	25	-	
Никель-оловянная	C947	88	5	2	-	5	
Алюминиевые бронзы		Cu	Al	Fe	Ni	Mn	
Алюминиевая	C952	88	9	3	-	-	
Алюминиевая	C953	89	10	1	-	-	
Никель-алюминиевая	C955	81	11	4	4	-	
Никель-алюминиевая	C958	81	9	4	5	1	
Кремнистые бронзы/латуни		Cu	Zn		Si		
Кремнистая латунь	C875	82	14		4		
Нейзильберы		Cu	Sn	Zn	Pb	Ni	
Нейзильбер	C973	56	2	20	10	12	
Нейзильбер	C976	64	4	8	8	20	
Нейзильбер	C978	66	5	2	2	25	

Таблица 7

Составы ковких сплавов системе Ассоциации содействия промышленности медных сплавов

Наименование	CDA	Номинальный состав, %				
Медь		Cu				Другие элементы
Бескислородная электронная	C101	99,99				-
Бескислородная	C102	99,95				-
Электролитическая	C110	99,90				0,04 O_2, 0,01 Cd
Фосфорная раскисленная	C122	99,90				0,02 P
Сплавы с высоким содержанием Cu		Cu				Другие элементы
Кадмиевая медь	C162	99,0				1,0 Cd
Хромистая медь	C182	99,1				0,9 Cr
Латуни		Cu	Sn	Zn	Al	Др. элементы
Золоченый металл	C210	95	-	5	-	-
Коммерческая бронза, 90 %	C220	90	-	10	-	-
Красная	C230	85	-	15	-	-
Патронная, 70 %	C260	70	-	30	-	-
Желтая	C268-0	65	-	35	-	-
Мунц-металл	C280	60	-	40	-	-
Автоматная	C360	61,5	-	35,5	-	3 Pb
Ингибированная адмиралтейская	C443-5	71	1	28	-	-
Судостроительная	C464-0	60	0,75	39,25	-	-
Марганцовистая	C674	58,5	1	36,5	1,2	2,8 Mn
Алюминиевая, мышьяковистая	C687	77,5	-	20,4	2,0	0,1 As
Фосфорные бронзы		Cu	Sn			P
Фосфорная, 1,25 % E	C505	98,75	1,25			Следы
Фосфорная, 5 % A	C510	95,0	5,0			Следы
Фосфорная	C511	98,6	4,2			0,2
Фосфорная, 10%	C524	90,0	10,0			Следы
Алюминиевые бронзы		Cu	Al	Fe	Ni	Др. элементы
Алюминиевая, 5%	C608	95	5	-	-	-
Алюминиевая	C613	92,65	7,0	-	-	0,35 Sn
Алюминиевая, D	C614	91	7	2	-	-
Алюминиевая	C630	82	10	3	5	-
Кремнистые бронзы		Cu				Si
С низким содержанием Si, B	C651	98,5				1,5
С высоким содержанием Si, A	C655	97,0				3,0
Бериллиевые бронзы		Cu		Be		Co
Бериллиевая медь	C172	97,9		1,9		0,2
Медно-никелевые бронзы		Cu	Ni		Fe	Др. элементы
Медь-никель, 10 %	C706	88,7	10		1,3	-
Медь-никель, 20 %	C710	79	21		-	-
Медь-никель, 30 %	C715	70	30		-	-
Медь-никель	C717	67,8	31		0,7	0,5 Be
Нейзильберы		Cu	Ni		Zn	Др. элементы
Нейзильбер (65-10)	C745	65	10		25	-
Нейзильбер (65-18)	C752	65	18		17	-
Нейзильбер (55-18)	C770	55	18		27	-
Свинцовый нейзильбер (65-8-2)	C782	65	8		25	2 Pb

Приложение С

Таблица 1

Буквенное кодирование магниевых сплавов по системе Американского общества по испытанию материалов

Буква	Элемент	Буква	Элемент	Буква	Элемент
A	Алюминий	H	Торий	Q	Мышьяк
B	Висмут	K	Цирконий	R	Хром
C	Медь	L	Бериллий	S	Кремний
D	Кадмий	M	Марганец	T	Олово
E	Редкоземельный	N	Никель	Z	Цинк
F	Железо	P	Свинец		

Таблица 2

Системы кодирования степени твердости

Система		Степень твердости
американская	британская	
F	M	Соответствует твердости в момент изготовления
O	O	Отожжен
H10, H11	-	Немного деформирован при закалке
H23, H24, H26	-	Деформирован закалкой и частично отожжен
T4	TB	Термически обработан на твердый раствор
T5	TE	Дисперсионно обработан, т. е. искусственно состарен
T6	TF	Обработан термически на твердый раствор и дисперсионно, т. е. искусственно состарен

Таблица 3

Составы ковких магниевых сплавов

BS код	ASTM код	Номинальный состав, %					
		Mg	Al	Zn	Mn	Th	Zr
Магниево-алюминиево-марганцевые сплавы							
MAG3	M1A	ост.	-	-	1,2	-	-
Магниево-алюминиево-цинковые сплавы							
-	AZ10A	ост.	1,2	0,4	0,2	-	-
MAG-111	AZ31B	ост.	3,0	1,0	0,2	-	-
MAG-121	AZ61A	ост.	6,0	1,0	0,2	-	-
Магниево-цинково-марганцевые сплавы							
MAG-131	-	ост.	-	1,9	1,0	-	-
Магниево-цинково-циркониевые сплавы							
MAG-141	-	ост.	-	1,0	-	-	0,6
-	ZK21A	ост.	-	2,3	-	-	0,5
MAG-151	-	ост.	-	3,3	-	-	0,6
-	ZK40A	ост.	-	4,0	-	-	0,5
MAG-161	ZK60A	ост.	-	5,5	-	-	0,6
Магниево-ториево-циркониевые/марганцевые сплавы							
-	HK31A	ост.	-	-	-	3,0	0,6
-	HM21A	ост.	-	-	0,6	2,0	-
-	HM31A	ост.	-	-	1,2	3,0	-

Таблица 4

Системы литейных магниевых сплавов

BS код	ASTM код	Процесс литья	Номинальный состав, %						
			Mg	Al	Zn	Mn	Th	Zr	Другие
Магниево-алюминиево-цинковые сплавы									
-	AZ63A	S,P	ост.	6,0	3,0	0,2	-	-	-
MAG1	AZ81A	S,P	ост.	7,6	0,7	0,2	-	-	-
MAG2	-	S,P	ост.	8,22	0,7	0,5	-	-	-
MAG3	AZ91C	S,P	ост.	9,0	0,7	0,3	-	-	-
MAG3	AZ91A	D	ост.	9,0	0,7	0,1	-	-	-
-	AZ92A	S,P	ост.	9,0	2,0	0,1	-	-	-
S,P									
MAG7	-	S,P	ост.	8,0	0,9	0,5	-	-	-
Магниево-алюминиево-марганцевые сплавы									
-	AM100A	S,P	ост.	10,0	-	0,1	-	-	-
-	AM60A	D	ост.	6,0	-	0,1	-	-	-
Магниево-цинково-циркониево-редкоземельные/ториевые сплавы									
MAG4	ZK51A	S,P	ост.	-	4,6	-	-	0,7	-
-	ZK61A	S,P	ост.	-	6,0	-	-	0,7	-
MAG5	ZE41A	S,P	ост.	-	4,2	-	-	0,7	1,2 р/з
-	ZE63A	S,P	ост.	-	5,8	-	-	0,7	2,6 р/з
MAG6	EZ33A	S,P	ост.	-	2,7	-	-	0,7	3,3 р/з
MAG8	HZ32A	S,P	ост.	-	2,1	-	3,3	0,7	-
MAG9	ZH62A	S,P	ост.	-	5,7	-	1,8	0,7	-
Магниево-цирконiево-ториевые сплавы									
-	HK31A	-	ост.	-	-	-	3,3	0,7	-
Магниево-цирконiево-серебрянные сплавы									
-	QE22A	S,P	ост.	-	-	-	-	0,7	2,5 Ag, 2,1 р/з

Приложение Т

Торговые марки никелевых сплавов

Торговая марка	BS	ASTM	ASME
Никель			
Никель 200	NA 11	B160	SB160
		B163	SB163
		B160	SB160
Никель 201	NA 12	B160	SB160
Монель никель-медь сплавы			
Монель 400	NA 13	B127	SB127
		B163-5	SB163-5
		B564	SB395
		F468	SB564
Монель К-500	NA 18	-	-
Твердые растворы сплавов никель-хром-железо			
Инконель 600	NA 14	B163	SB163
		B166-8	SB166-8
Инколой 800	NA 15	B163	SB163
		B407-9	SB407-9
		B564	SB564
Инколой 825	NA 16	B163	SB163
		B423-5	SB423-5
Инколой DS	NA 17	-	-
Нимоник 75	HR5	-	-
	HR203	-	-
	HR403	-	-
	HR504	-	-
Дисперсионно-упрочненные сплавы никель-хром-железо			
Нимоник 80А	HR1, NA20	A637	-
	HR201	-	-
	HR401	-	-
Нимоник 90	HR2	-	-
	HR202	-	-
Нимоник 105	HR3	-	-
Инко НХ	HR6	B435	-
	HR204	B572	-

продолжение таблицы

		B619	-
Нимоник 263	HR10	-	-
	HR206	-	-
	HR404	-	-
Нимоник 901	HR53	-	-
Нимоник р/з16	HR55	-	-
	HR207	-	-
Инконель X750	HR505	B637	SB637
Литейные сплавы			
Нимокаст 80	ANC9	-	-
Нимокаст 713	HC203, VMA6A, B	-	-
Нимокаст PD21	VMA2	-	-
Нимокаст PK24	HC204, VMA12	-	-

Приложение У

Таблица 1

Коды для полимеров

Код	Название	Полимер
		Термо- и реактопласты
ABS	-	Акрилонитрил-дивинил-стирол
CA	Ацетат	Ацетат целлюлозы
CAB	-	Ацетатбутират целлюлозы
CN	Целлулоид	Нитрат целлюлозы
CPVC	-	Хлорированный поливинилхлорид
EP	-	Эпоксидная смола
MF	Меламин	Меламин-формальдегид
PA	Нейлон	Полиамид
PAN	-	Полиакрилонитрил
PC	-	Поликарбонат
PE	Полиэтилен	Полиэтилен
PETP	Полиэфир	Полиэтилентерефталат
PF	Фенол	Фенолформальдегид
PIB	-	Полиизобутилен
PMMA	Акрилик	Полиметилметакрилат
POM	Ацетал	Полиоксиметилен
PP	-	Полипропилен
PS	Стирол	Полистирол
PTFE	-	Политетрафторэтилен
PUR	-	Полиуретан
PVAC	-	Поливинилацетат
PVAL	-	Поливиниловый спирт
PVC	Винил	Поливинилхлорид
PVF	-	Поливинилфторид
SAN	-	Стирол-акрилонитрил
SB	-	Стирол-бутадиен
SI	-	Кремний
UF	Мочевина	Мочевина формальдегида
UP	Полиэтилен	Ненасыщенный полиэтилен

продолжение таблицы 1

Эластомеры		
ACM	Акрилик	Полиакрилат
AU	Полиуретан	Полиэтилен-уретан
BR	-	Полибутадиен
BUTYL	Бутил	Изобутен-изопропен сополимер
CM	-	Хлорированный полиэтилен
CR	Неопрен	Полихлоропрен
EPM	-	Этилен-пропилен сополимер
EVA	-	Этиленвинилацетат
EU	Полиуретан	Полиэфируретан
FKM	Фтороуглерод	Углеродная цепь фторполимера
FVMQ	-	Кремнефтористая резина
GPO	-	Пропиленоксид сополимер
IIR	Бутил	Изобутен-изопропен сополимер
NR	-	Натуральный каучук
SBR	GR-S, Буна S	Стирол-бутадиен сополимер

Таблица 2

Свойства и применение полимерных материалов

Полимер	**Свойства и применение**
Термопласты	
ABS	Твердый, неупругий и абразивостойкий. Литые детали для телефонов, вакуумных агрегатов очистки, фенов, телевизоров, радиоприемников, канцелярских принадлежностей, оболочек лодок, пищевых контейнеров
Акрилик	Прозрачный, неупругий, прочный и стойкий ко всем погодным условиям. Легкие соединительные детали, зонты вытяжных систем, линзы автомобильных фар, фирменные знаки и пластинки. Непрозрачный тонколистовой. Для домашних баков, душевых кабинок, бассейнов, лабораторных резервуаров
Ацетат целлюлозы	Твердый, неупругий, с плохой стабильностью размеров. Рамки светофильтров, рукоятки инструмента, игрушки, пуговицы

продолжение таблицы 2

Полимер	**Свойства и применение**
Ацетобутират целлюлозы	Высокое сопротивление к действию растворителей, поглощение влаги ниже, ударная прочность выше, чем у ацетата целлюлозы. Для изоляции кабелей, трубопроводов газа, уличных знаков, колпаков осветителей,рукояток инструмента, линз для приборов, кожухов упаковки, контейнеров
Полиацеталь, гомоплимер	Неупругий, прочный, возможна эксплуатация при относительно высоких температурах. Трубки фитингов, части водяных насосов и моечных машин, подшипники, шестеренки, шарниры, оконные запоры, хомуты бандажей сидений
Полиамид, нейлон	Шестеренки, подшипники, втулки, корпуса мощного инструмента, электр. вилки и розетки, волокна в обшивке
Поликарбонат	Твердый, неупругий, прочный. Ударная стойкость и относительно высокие температуры. Колпачки уличных ламп, бутылочки для кормления, машинные корпуса, защитные каски, посуда
Полиэтилен	Хорошая химическая стойкость, низкое поглощение влаги и высокой электросопротивление. Трубопроводы, игрушки, товары домашнего обихода
Полипропилен	Тара, контейнеры, вентиляторы, автопанели, части моечных машин, корпуса радио и телевизоров, игрушки, каркасы мебели
Полистирол	Хрупки и прозрачный, смешанный с резиной дает твердую форму, отличный электр.изолятор. Чашки весов, кожухи камер, прожекторов, радиоприемников, телевизионных блоков и вакуумных фильтров в электр. оборудовании
Полисульфид	Прочный, неупругий, с отличным сопротивлением ползучести. Трудно возгорается и не дает дымовой завесы. Пассажирское сервисное оборудование самолетов, сетевые щитки, детали сетевых выключателей, регуляторы кухонных плит

продолжение таблицы 2 (Приложение У)

Полимер	**Свойства и применение**
Политетрафторэтилен	Твердый и упругий, очень широкий температурный диапазон. Трубопроводы, пропускающие коррозионные химикаты, прокладки, диафрагмы клапанов, масляных колец, сильфонов, фрикционов, сухие и самосмазывающиеся подшипники, облицовка поддонов, покрытий для валков, обкладок для бункеров и лотков
PVC	Трубопроводы дренажных систем отходов и грязи, трубы дождевой воды, оборудование освещения, карнизы для штор. Пластичные дождевые плащи, бутыли, садовый инвентарь, надувные игрушки.
Реактопласты	
Эпоксидная смола	Клейкое вещество. Покрытие для стали, кирпичной кладки и судового оборудования
Эпоксид, литейный	Герметизация электронных компонентов, небольших литейных форм, моделей
Эпоксид со стеклянным наполнителем	Дает твердые, прочные смеси. Для покрытия корпусов лодок, мебели и др.
Меламин-формальдегид	Поставляется в виде формовочного порошка, включающего смолу, наполнители и пигменты. Посуда, штурвалы, ручки, оборудование для освещения, игрушки, строительные панели и электрическое оборудование
Фенол-формальдегид (известен так же, как бакелит)	Поставляется в виде формовочного порошка, включающего смолу, пигменты и наполнители. Древесная мука увеличивает ударную прочность, слюда – электрическое сопротивление, асбестовые волокна улучшают тепловые свойства. Электрические вилки и розетки, выключатели, дверные ручки и рукоятки, корпуса камер, шлаковые поддоны. В смеси с пластиковой бумагой – для шестеренок, подшипников и электрических изоляционных деталей

продолжение таблицы 2 (Приложение У)

Полимер	**Свойства и применение**
Полиэфир	В виде смеси со стеклянными волокнами. Лодочные корпуса, строительные панели, стеллажи
Эластомеры	
Бутадиен-акрилонитрил	Высокая стойкость к органическим жидкостям. Шланги, прокладки, сальники, для облицовки баков, роликов
Бутадиен-стирол	Более дешевый, чем натуральный каучук. Шины, трубки шлангов, конвейерные ремни, для изоляции кабелей
Бутил	Чрезвычайно непроницаемый для газов. Для внутренней облицовки бескамерных шин, шлангов для пара, диафрагм
Хлорсульфонатный полиэтилен (хайполон)	Высокое сопротивление озону, хорошая химическая стойкость к абразивам, хорошие усталостные и ударные свойства. Гибкие шланги для масел и химикатов, для облицовки баков, изоляции кабелей, клиновидные ремни, масляные кольца, сальники, прокладки, основания для лыж
Этилен-пропилен	Очень высокое сопротивление кислороду, озону, высокое тепловое сопротивление, хорошие электрические свойства и стойкость к износу. Электрическая изоляция, стираемые подошвы, шланги, ремни
Этилен-винилацетат	Гибкий, хорошая ударная прочность, высокая прозрачность. Изоляц. кабели, гибкие трубопроводы, лыжи, прокладки
Фторкарбонат	Масляные кольца, сальники, прокладки, диафрагмы
Натуральный каучук	Низкое сопротивление синтетикам, маслам, растворителям и кислороду. Нестойкий к воздействию озона. Разрывное сопротивление выше, чем у синтетических резин. Шины, прокладки, шланги

продолжение таблицы 2 (Приложение У)

Полимер	**Свойства и применение**
Полихолропрен	Хорошее сопротивление маслу, стоек к различным погодным условиям. Масляные и нефтяные шланги, прокладки, сальники, диафрагмы, облицовка резервуаров для химических веществ
Окись полипропилена	Отличная ударная и разрывная прочность, хорошие механические свойства и упругость. Электрическая изоляция
Полисульфид	Имеет неприятный запах. Отличное сопротивление маслу и растворителям, низкая проницаемость для газов. Реагирует на микроорганизмы. Валики принтеров, покрытия кабелей, облицовка изделий, материал для уплотнений в строительных работах
Полиуретан	Твердые и упругие пенные покрытия, пружинящий материал, упаковка, строительные изоляционные панели.
Кремний	Широкий температурный диапазон от – 90 до 250 ^{0}С и выше). Химически инертный, хорошие электрические свойства, дорогой. Для электрической герметичной пайки, в креплениях, подверженных тряске, для амортизаторов вибрации, в клеящих веществах
Стирол-бутандиен-стирол (известен как термопластичная резина)	Свойства контролируются соотношением стирола и бутадиена. Для стираемых подошв, защитных слоев подложек и в клейких веществах

Приложение Ф

Таблица 1

Американские коды для связанных карбидов

Код	Применение для механической обработки
Литейный чугун, неметаллические материалы	
С-1	Черновая обработка
С-2	Основное назначение
С-3	Чистовая обработка
С-4	Прецизионная чистовая обработка
Углерод и легированные стали	
С-5	Черновая обработка
С-6	Основное назначение
С-7	Чистовая обработка
С-8	Прецизионная чистовая обработка
Применение с износом поверхности	
С-9	При отсутствии сотрясения
С-10	Легкое сотрясение
С-11	Тяжелое сотрясение
Применение с ударом	
С-12	Легкий удар
С-13	Средний удар
С-14	Тяжелый удар
Смешанное применение	
С-15…С-19	

Таблица 2

Коды Международной организации стандартов (ISO) для связанных карбидов

Код ISO	**Материал для механической обработки**	**Применение и условия обработки**
Материалы на основе железа		
P01	Сталь, стальные отливки	Чистовая токарная обработка, сверление, высокая скорость резания, тонкая стружка, высокая точность, тонкая чистовая обработка, собственная вибрация
P10	Сталь, стальные отливки	Токарная обработка, копирование, нарезание резьбы, фрезерование, высокая скорость резания, тонкая стружка при фрезеровании
P20	Сталь, стальные отливки, ковкий литейный чугун с длинной стружкой	Токарная обработка, копирование, фрезерование, средняя скорость резания, средняя стружка, строгание с тонкой стружкой
P30	То же	Токарная обработка, фрезерование, строгание, средняя или низкая скорость резания, средняя или большая стружка, возможны неблагоприятные условия
P40	Сталь, стальные отливки с песочными включениями и раковинами	Токарная обработка, строгание, прорезание канавок, низкая скорость резания, тонкая стружка, большие углы резания в неблагоприятных условиях и автоматическая мех. обработка
P50	Сталь среднего или низкого предела прочности на растяжение, стальные отливки с песочными включениями и раковинами	Операции, требующие очень твердого карбида, токарная обработка, строгание, прорезание канавок, низкая скорость резания, толстая стружка, большие углы резания в неблагоприятных условиях и автоматическая механическая обработка

продолжение таблицы 2 (Приложение Ф)

Код ISO	**Материал для механической обработки**	**Применение и условия обработки**
Железные и нежелезные материалы		
M10	Сталь, стальные отливки, марганцевая сталь, серый чугун, легированный литейный чугун	Токарная обработка, средняя или высокая скорость резания, стружка от тонкой до средней
M20	Сталь, стальные отливки, аустенитная или марганцевая сталь, серый литейный чугун	Токарная обработка, фрезерование, средняя скорость резания, средняя стружка
M30	Сталь, стальные отливки, аустенитная сталь, серый литейный чугун, высокотемпературные сплавы	Токарная обработка, фрезерование, средняя скорость резания, средняя или толстая стружка
M40	Мягкая автоматная сталь, низкой прочности сталь, нежелезные сплавы и легкие сплавы	Токарная обработка, резка, в частности, автоматическая машинная обработка
Металлические и неметаллические материалы		
K01	Очень твердый серый литейный чугун, отбеленные отливки, высококремнистые алюминиевые сплавы, закаленная сталь, высокоабразивные пластмассы, твердый картон, керамика	Токарная обработка, чистовая токарная обработка, растачивание, фрезерование, шабровка
K10	Серый литейный чугун до 220HB, ковкий литейный чугун с короткой стружкой, закаленная сталь, кремнистые алюминиевые сплавы, медные сплавы, пластмассы, стекла, твердая резина, твердый картон, фарфор, камень	Токарная обработка, фрезерование, сверление, растачивание, развертка, шабровка
K20	Серый литейный чугун выше 220HB, железные сплавы, медь, алюминиевая латунь	Токарная обработка, фрезерование, строгание, растачивание, развертка

продолжение таблицы 2 (Приложение Ф)

Код ISO	**Материал для механической обработки**	**Применение и условия обработки**
K30	Низкой твердости серый литейный чугун, низкой прочности сталь, прессованное дерево	Токарная обработка, фрезерование, строгание, прорезание, применение в неблагоприятных условиях и с большими углами резания
K40	Мягкое дерево, твердое дерево, нежелезные сплавы	Токарная обработка, фрезерование, строгание, прорезание, в условиях с большими углами резания

Таблица 3

Применение связанных карбидов

Состав, %	**Размер зерна**	**Применение как инструмента**
97WC-3Co	Средний	Отличное абразивное сопротивление, низкая ударная стойкость, эксплуатация с острой режущей кромкой. Для мех. обработки литейного чугуна, нежелезных и неметаллических материалов
94WC-6Co	Тонкий	Для механической обработки нежелезных и высокотемпературных сплавов
	Средний	Для основной механической обработки металлов, иных чем сталь, а также для маленьких и средних матриц прессования
94WC-6Co	Грубый	Для механической обработки литейного чугуна, нежелезных металлов и неметаллических материалов, а также для маленьких штампов, вытягивающих проволоку, и матриц прессования
90WC-10Co	Тонкий	Для механической обработки стали и фрезерования высокотемпературных металлов, для фасонных резцов, цилиндрических фрез, торцевых фрез, отрезных резцов, резьбонарезного инструмента

продолжение таблицы 3 (Приложение Ф)

Состав, %	**Размер зерна**	**Применение как инструмента**
84WC-16Co	Тонкий	В горном деле для режущих кромок вращающихся буров и вставных резцов, сотрясающихся при бурении
	Грубый	Для средних и больших матриц, где требуется прочность, для вырубных матриц и больших пробойников
75WC-25Co	Средний	Для матриц высадки головок, матриц холодного выдавливания, пуансонов и матриц для вырубки тяжелого проката
71WC-12,5TiC-12TaC-4,5Co	Средний	Для чистовой и легкой черновой обработки плакированных углеродистых, легированных сталей и легированных литейных чугунов
72WC-8TiC-11,5TaC-8,5Co	Средний	Прочный, износостойкий и стойкий к высоким температурам. Для тяжелой механической нагрузки, для фрезерования плакированных углеродистых, легированных сталей и легированных литейных чугунов
64TiC-28WC-2TaC-2Cr_2C_3-5,0Co	Средний	Для высокоскоростной чистовой обработки сталей и литейных чугунов
57WC-27aC-16Co	Грубый	Для срезания горячих подтеков со сварных трубопроводов и матриц для горячего выдавливания алюминия

Таблица 4

Свойства и область применения стекол

Стекло	Свойства и применение
Алюмосиликат	Стойкое к термическим ударам. Для термометров.
Бюросиликат (пирекс)	Стойкое к термическим ударам и легко формуется. Для стеклянной термопрочной кухонной утвари.
Плавленый кремнезем	Стойкое к термическим ударам. Для лаборат. оборудования.
Свинцовая щелочь (54% кремнезема)	Высокий показатель преломления. Для режущих стеклянных деталей.
Натриевая известь кремнезема	Легко формуется. Для стеклянных пластин, оконного стекла и бутылок.

Приложение Ц

Применение инструментальных сталей

AISI	%C	Применение
Закаленные в воде		
W1	0,9 C	Калибры, зубила, пробойники, лезвия ножниц, клепочные штампы, объемные штампы, вырубной инструмент
-	1,0 C	Большие сверла, резаки, развертки, лезвия ножниц, столярные инструменты, инструменты холодной высадки головок заклепок, пробойники, счетчики сливных труб, вырубные штампы
-	1,2 C	Крученые сверла, резаки, столярные инструменты, метчики, напильники, токарные инструменты
W2	-	Большие сверла, резаки, развертки, столярные инструменты, лезвия ножниц, инструменты холодной высадки головок заклепок
W5	-	Тяжелые штампы и вытяжные штампы, развертки, большие пробойники, бритвенные лезвия, холодные гибочные ролики и штампы
Устойчивые к удару		
S1	-	Дрели для бетона, пневматический инструмент, лезвия ножниц, штампы ковочных машин для высадки головок болтов, раскатки, резаки трубок, объемные штампы
S2	-	Ручные и пневматические зубила, лезвия ножниц, инструменты штамповки, раскатки, штампы, шпиндели, винты приводов зевов валков, хвостовики инструментов
S5	-	Ручные и пневматические зубила, лезвия ножниц, инструменты штамповки, раскатки, штампы, шпиндели, пробойники, вращающиеся ножницы, резаки трубок
S7	-	Лезвия ножниц, пробойники, зубила, матрицы гибки листового металла, вырубные матрицы, кулачки подушек валков, резаки трубок

продолжение таблицы 2 (Приложение Ц)

AISI	**%C**	**Применение**
Закаленные в масле		
01	-	Вырубные, волочильные и обрезные матрицы, пресс-формы для пластмасс, лезвия ножниц, метчики, развертки, калибры, вкладыши подшипников, пробойники, кондукторы, ножи для резки бумаги
02	-	Вырубные, штампующие, обрезные и гибочные матрицы и пробойники, метчики, развертки, калибры, вкладыши подшипников, кондукторы, циркулярные резаки и пилы
06	-	Вырубные и гибочные матрицы, вырубные и гибочные пробойники, раскатки, гибочные ролики холодной штамповки, калибры, метчики, хвостовики, кондукторы
07	-	Вырубные и гибочные матрицы, раскатки, калибры, метчики, дрели, ножи для резки бумаги, столярные инструменты
Закаленные на воздухе		
A2	-	Ободы колес намотки прокатанных периодических профилей, прессы выдавливания, обрезные, вырубные и чеканящие матрицы, раскатки, лезвия ножниц, вытягивающие и гибочные ролики, калибры, полирующие инструменты, пресс-формы для пластмасс, вкладыши подшипников, пробойники
A3	-	Подобно стали A2
A4	-	Вырубные, гибочные и обрезные штампы, пробойники, лезвия ножниц, раскатки, гибочные ролики, калибры
A6	-	Вырубные, гибочные, чеканящие и обрезные штампы, пробойники, лезвия ножниц, раскатки, пресс-формы для пластмасс
AISI	%C	Применение
A7	-	Вкладыши для установок дробеструйной очистки, гибочные штампы, калибры, волочильные штампы

продолжение таблицы 2 (Приложение Ц)

AISI	%C	Применение
A8	-	Вырубные, чеканящие и гибочные матрицы, лезвия ножниц
A9	-	Штампы для холодной высадки головок заклепок, чеканящие штампы, гибочные штампы и ролики, инструменты для деформирования в горячем состоянии, такие как пробойники, раскатки, инструменты прессования, молоты
A10	-	Вырубные и гибочные штампы, калибры, пробойники, гибочные ролики, футеровочные плиты
Высокоуглеродистые высокохромистые стали		
D2	**-**	Вырубные, волочильные и холодной гибки штампы, ободы колес намотки прокатанных периодических профилей, лезвия ножниц, полирующие инструменты, пробойники, калибры, сверла, раскатки, резаки
D3	**-**	Вырубные, волочильные и холодной гибки штампы, ободы колес намотки прокатанных периодических профилей, лезвия ножниц, полирующие инструменты, пробойники, калибры, гофрирующие штампы
D4	**-**	Вырубные машины, ободы колес намотки прокатанных периодических профилей, штампы для волочения проволоки, гибочные инструменты и ролики, пробойники, штампы для глубокой вытяжки
D5	**-**	Вырубные, чеканящие и обрезные штампы, лезвия ножниц, штампы для холодной гибки, пробойники, качественные резаки
D7	**-**	Штампы для волочения проволоки, штампы глубокой вытяжки, керамические инструменты и штампы, вкладыши для пескоструйной очистки
Хромистые стали для работы при высоких температурах		
H10	**-**	Штампы для горячего прессования и горячей объемной штамповки, раскатки, пробойники, ножницы для горячей резки, штампы для штативов и стаканов

продолжение таблицы 2 (Приложение Ц)

AISI	%C	Применение
H11	**-**	Литейные штампы для легких сплавов, штампы для горячей объемной штамповки, пробойники, инструменты для прошивки, гильзы, раскатки
H12	**-**	Штампы для прессования, пробойники, раскатки, штампы для горячей штамповки стаканов
H13	**-**	Литейные штампы и стаканы, штампы для прессования, штампы для горячей штамповки и стаканы
H14	**-**	Штампы для прессования алюминия и латуни, штампы для горячей штамповки и стаканы, пробойники для горячего прессования
H19	**-**	Штампы для прессования и стаканы, штампы для горячей объемной штамповки и стаканы, раскатки, инструменты для горячего пробоя
Вольфрамовые стали для работы при высоких температурах		
H21	**-**	Раскатки, штампы для горячей вырубки, пробойники для горячей прошивки, штампы для прессования и литейные штампы для латуни, клещи для штампов, ковочные машины для горячей высадки
H22	**-**	Раскатки, штампы для горячей вырубки, пробойники для горячей прошивки, штампы для прессования, клещи для штампов
H23	**-**	Штампы для прессования и литья латуни
H24	**-**	Штампы для горячей вырубки и вытяжки, обрезные штампы, штампы горячей прессовки, штампы горячей гибки, штампы горячей ковки, штампы для прессования
H25	**-**	Штампы для горячей гибки, штампы для литья под давлением и горячей объемной штамповки, лезвия ножниц, клещи для штампов, раскатки, пробойники, штампы для обжатия труб на меньший диаметр

продолжение таблицы 2 (Приложение Ц)

AISI	%C	Применение
H26	**-**	Штампы для горячей вырубки, пробойники для горячей прошивки, штампы для горячей обрезки, клещи для штампов, штампы для прессования латуни и меди
Молибденовые стали для работы при высоких температурах		
H82	**-**	Штампы для холодной обрезки, холодные ковочные машины для высадки и штампы для прессования, штампы стаканов, штампы горячей высадки, пробойники для горячей прошивки, раскатки
Быстрорежущие вольфрамовые стали		
T1	**-**	Дрели, метчики, пуансоны для мощных прессов, сверла, инструмент для токарных и продольно-строгальных станков, пробойники, выглаживающие штампы, резаки для измельчения
T2	**-**	Инструмент для токарных и продольно-строгальных станков, резаки для размельчения, сверла, развертки
T4	**-**	Инструмент для токарных и продольно-строгальных станков, инструмент для расточки, дрели, резаки для размельчения, сверла
T5	**-**	Инструмент для токарных и продольно-строгальных станков, инструмент для тяжелых режимов работы, требующих соответствующей твердости
T6	**-**	Инструмент для мощных токарных и продольно-строгальных станков, дрели, резаки для размельчения
Быстрорежущие молибденовые стали		
M1	**-**	Дрели, метчики, развертки, резаки для измельчения, пуансоны мощного пресса, пробойники, инструмент для токарных и продольно-строгальных станков, формующие инструменты, сверла, пилы, фрезы, столярный инструмент

продолжение таблицы 2 (Приложение Ц)

AISI	%C	Применение
M2	**-**	Дрели, метчики, резаки для измельчения, пуансоны, инструмент для токарных и продольно-строгальных станков, формующие резаки, сверла, пилы, инструмент для холодной формовки
M4	**-**	Сверла для тяжелых режимов работы, развертки, резаки для размельчения, инструмент для токарных и продольно-строгальных станков, формующие резаки, вырубные штампы и пробойники, штампы для обжатия труб на меньший диаметр
M6	**-**	Инструмент для токарных и продольно-строгальных станков, формующий инструмент, резаки для измельчения, инструмент для расточки.
M7	**-**	Дрели, метчики, развертки, тракты, пилы, резаки для измельчения, инструмент для токарных и продольно-строгальных станков, столярный инструмент, пробойники, пуансоны
M10	**-**	Подобно стали M7
M30	**-**	Инструмент для токарных станков, резаки для измельчения, формующий инструмент
M33	**-**	Дрели, метчики, инструмент для токарных станков, резаки для измельчения.
M34	**-**	Подобно стали M33
M36	**-**	Инструмент для мощных токарных и продольно-строгальных станков, резаки для измельчения, дрели
M41	**-**	Дрели, резаки для измельчения, инструмент для токарных станков, пуансоны, сверла, формующие резаки
M42	**-**	Подобно стали M41
M43	**-**	То же.
M44	**-**	То же.
M46	**-**	То же.
M47	**-**	То же.

Приложение Ч

Применение нержавеющих сталей

AISI	BS	Применение
		Аустенитная
201	-	Сталь с низким содержанием никеля, эквивалентная стали 301. Для покрытий шестеренок и внутренних отделок автомобилей
301	-	Когда требуется высокая прочность и высокая пластичность. Для покрытия шестеренок и внутренних отделок автомобилей, рельсовых вагонов, зажимов
302	302S31	Для холодной обработки давлением, в бытовых целях, декоративного назначения, например, медицинских и домашних электроприборов, ручного оборудования для пищевых продуктов, пружин, баков, вывесок
304	304S31	Для химического и пищевого оборудования, желобов водосточных труб и разбрызгивателей
309	-	Имеет высокий температурный предел прочности и сопротивлению окислению. Для оборудования тепловой обработки, теплообменников, облицовочного материала печей
-	310S31	Для высокотемпературных изделий, таких как компоненты печей и катоды электронных трубок
316	316S33	Имеет высоко сопротивление коррозии и ползучести. Для ручного химического оборудования
321	321S31	Титан в этом сплаве стабилизирует его свойства, отсюда использование его там, где сварные конструкции подвержены различным коррозионным условиям и/или высоким температурам, например, самолетные выхлопные патрубки, обшивки паровых котлов, резервуары высокого давления
		Ферритная
-	403S17	Мягкая и вязка сталь. Для бытовых целей, прессования, тянутых компонентов, компонентов прядильного производства
405	-	Для структур, требующих сварки, закаленных штативов

продолжение таблицы 2 (Приложение Ч)

AISI	**BS**	**Применение**
409	-	Сталь основного назначения. Для автомобильных выхлопных систем и емкостей, для сельскохозяйственных культур и удобрений
430	430S17	Сталь основного назначения. Для декоративной отделки, ванн моечных машин, нагревателей, баков для кислот
442	-	Для высокотемпературных целей, например, для деталей печей
446	-	Для высокотемпературных изделий, например, камер сгорания, изложниц для стекла, нагревателей, клапанов
Мартенситная		
403	420S29	Для лопаток турбин
410	410S21	Сталь основного назначения. Для деталей машин, резаков, шурупов, болтов, клапанов
-	416S21	Подобно стали 410
420	420S37	Для пружин, деталей машин, ножниц, болтов
431	431S29	Там, где необходимы очень высокие механические свойства, например, в самолетных приборах
440C	-	Имеет повышенную твердость способных упрочняться нержавеющих сталей. Для подшипников, циркуляторов, сопел, деталей клапанов

Приложение Ш

Применение литейных чугунов

Материал	Применение
Серые чугуны	Водопроводные трубы, цилиндры двигателей и поршней, машинное литье, оболочки коленчатых рычагов, машинные инструментальные матрицы дыропробивных прессов, колпаки люков
Белый чугун	Закаленные водой детали, такие как измельчающие дроблением предметы и оборудование дробилок
Ковкие чугуны	Зубчатые втулки, педали, рычаги, основной скобяной товар, велосипедные и мотоциклетные рамы
Вязкие чугуны	Трубопроводы, кривошипные валы для тяжелого режима работы
Белый абразивностойкий чугун	Оборудование переработки абразивных материалов и дробильные кулачки
Коррозионностойкий сплав	Изделия, обладающие кислотоупорностью. Сплав с повышенным содержанием кремния, из-за чего очень хрупкий и трудно обрабатывается на станках
Теплостойкий серый сплав	Высокостойкий к теплу, а также к коррозии.NiMn13-7 немагнитный
Теплостойкий пластичный сплав	Упругий и пластичный при низких температурах. Высокопластичные никелевые сплавы имеют низкое тепловое расширение

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Абай Кунанбаев.* Слова назидания. – Алма-Ата: Жалын. – 1983. – 160 с.

2. Основы научных исследований. /Под ред. Крутова В.И., Попова В.В. – М.: Высшая школа, 1989. – 400 с.

3. *Герасимов И.Г.* Структура научного исследования. – М.: Мысль, 1985. – 218 с.

4. *Кринецкий И.И.,* Основы научных исследований: Учеб. пособие для вузов. – Киев – Одесса: Вища школа.1981. – 208 с.

5. *Абраменко Д.Н.,* Повышение износостойкости литых деталей грузовых вагонов дуговой наплавкой слоя стали со структурой игольчатого феррита/ Дисс…канд. техн. наук. 05.16.01, 05.03.06. – М.: 2008. – 159 с.

6. *Кондратьев А.Н.,* Морфологический ящик природы. Интернет-издание:
http://articles.excelion.ru/science/geografy/23259513.html.

7. *Шамельханова Н.А.,* Основы научных исследований. Методические указания к проведению практических занятий. Для бакалавриата специальности 050710. – Алматы: КазНТУ, 2005. – 27 с.

8. *Зоткин В.Е.,* Методология выбора материала и упрочняющих технологий в машиностроении. – М.: Высшая школа. 2004. – 264 с.

9. *Бадэру Г., Бадэру В., Ионица Ю.,* Возможность использования механизма логического вывода для создания экспертной системы выбора материалов./Наукові праці ВНТУ. – 2009. № 4 – 6 с.

10. Неорганическое материаловедение: энциклопедическое издание. В 2-х томах. Т. 1. Основы науки о материалах. Т.2 Материалы и технологии. В 2 кн. /Под ред. *Г.Г. Гнесина, В.В. Скорохода*. – Киев: Наукова думка. – 2008.

11. *Смит С.С.,* Материалы//Современные материалы. – М.: Мир, 1970. – С. 90 – 120.

12. *Болтон У.,* Конструкционные материалы: металлы, сплавы, полимеры, керамика, композиты. Карманный справочник. 2-е изд./Пер.с англ. – М.: Додэка-XXI, 2007. – 320 с.

13. *Ashby M.F.,* Materials Selection in Mechanical Design. – Pergamon Press, 1992.

14. The Greatest Moments in Materials Science and Engineering [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://www.materialmoments.org/.

15. Материаловедение: Учебник для вузов./ Под общ. ред. *Б.Н. Арзамасова, Г.Г. Мухина.* – 8-е изд., стереотип. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. – 648 с.

16. *Геллер Ю.А., Рахштадт А.Г.,* Материаловедение. Методы анализа, лабораторные работы и задачи. – М.: Металлургия, 1989. – 456 с.

17. *Ржевская С.В.,* Материаловедение: Учебник для вузов. – М.: МГГУ, 2003. – 456 с.

18. *Карабасов Ю.С.,* Новые материалы. – М.: МИСИС, 2002. – 736 с.

19. *Смагулов Д.У., Шамельханова Н.А.,* Пособие по самостоятельной работе (дисциплина «Материаловедение»). – Алматы: КазНТУ, 2005. – 96 с.

20. *Никифоров А.Д.,* Современные проблемы науки в области технологии машиностроения: Учеб. пособие для студ. вузов. – М.: Высшая школа, 2006. – 392 с.

21. Прогрессивные режущие инструменты и режимы резания металлов. Справочник./Под ред. *В.И. Буранчикова* – М.: Машиностроение. 1990. – 400 с.

22. *Марьянко А.* В помощь выбирающему нож. – М.: ИД Рученькиных, 2008. – 216 с.

23. *Калинчев В.А., Буланов И.М.,* Прогрессивные материалы в машиностроении – М.: Высшая школа, 1988. – 72 с.

24. *Колесов С.Н., Колесов И.С.,* Материаловедение и технология конструкциноных материалов. – М.: Высшая школа. 2007. – 544 с.

25. *Арзамасов Б.Н., Сидорин И.И., Косолапов Г.Ф.* и др. Материаловедение: Учебник для вузов. – М.: Машиностроение, 1986. – 384 с.

26. *Лахтин Ю.М., Леонтьева В.П.*, Материаловедение: Учебник для высших технических учебных заведений. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1990. – 528 с.

27. *Золоторевский С.,* Механические свойства металлов: Учебник для вузов – М.: Металлургия, 1983. – 352 с.

28. Computer-Aided Materials Selection During Structural Design. 1995. National Advisory Board. USA.

29. *Канаев А.Т., Сидоркин В.И., Азнабаев Д.А.,* Металловедение и термическая обработка. – Алматы: Ғылым, 1996. – 236 с.

30. *Коробейников С.М., Нестеров С.В., Целебровский Ю.В., Черненко Н.А.,* Материаловедение. Технология конструкционных материалов. Сб. практи. Заданий./Под ред. *Ю.В. Целебровского* – Новосибирск: НГТУ, 2008.

31. Физические величины: Справочник /Под ред. *Григорьева И.С., Мейлихова Е.З.* – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 1232 с.

32. Справочник по электротехническим материалам/Под ред. *Корицкого Ю.В., Пасынкова В.В., Тареева Б.М.* – Т. 3. – 3-е изд., перераб. – Л.: Энергоатомиздат. 1988. – 728 с.: ил.

33. *Сулейманов Е.В.,* Химическое материаловедение. Ч. I. Учебно-методические материалы по программе повышения квалификации «Современные методы исследования новых материалов электроники и оптоэлектроники для информационно-телекомуникационных систем». – Н. Новгород. – 2006. – 129 с.

34. Металловедение и термическая обработка стали: Справ. изд. в 3-х томах. Т.I. Методы испытаний и исследования/Под ред. *М.Л. Бернштейна, А.Г. Рахштадта.* – М.: Металлургия. – 1983. – 352 с.

35. *Shedriks A.J.* Corrosion of Stainless Steels. N.J.: John Wiley and Sons. 1976. – 282 p.

36. *Томашов Н.Д., Чернова Г.П.,* Теория коррозии и коррозионностойкие конструкционные сплавы. – М.: Металлургия, 1986. – 359 с.

37. *Жук Н.П.,* Курс теории коррозии и защиты металлов. – М.: Металлургия. – 1976. – 472 с.

38. *Башкатов Д.Н., Роговой В.Л.,* Бурение скважин на воду. – Учеб. пособие. – М.: Колос. 1976. – 206 с.

39. *Гуляев А.П.,* Металловедение. – М.: Металлургия, 1977. – 640 с.

40. Материалы в машиностроении. Справочник. – М.: Машиностроение, 1980. – 780 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие к изданию……..		3
ВВЕДЕНИЕ……		5
1.	МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ВЫБОРА МАТЕРИАЛОВ…….	10
1.1.	Виды научных исследований. Структурные элементы и основные этапы научного исследования…….	10
1.2.	К методологии научного поиска. Элементы теории и методологии научного исследования. Методы познания и анализа…….	24
1.3.	Методологические проблемы развития науки о материалах……	37
1.4.	Принципы выбора материалов конкретного назначения. Схема решения задач по выбору материалов	50
1.5.	Комплексная методика выбора материалов и их обработки. Оформление результатов научных разработок……	62
1.6.	Оценка достоинств материала и критерии выбора оптимального материала конкретного назначения...	74
1.7.	Обобщенные правила по выбору материалов. Контрольные вопросы по разделу……	93
2.	ОСНОВЫ ТЕОРЕТИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ…….	99
2.1.	Основные вопросы науки о материалах……	99
2.2.	Структурная теория материалов……	111
2.3.	Методы исследования в материаловедении……	121
2.4.	Системы классификации технических материалов..	135
2.5.	Классификация неметаллических материалов…..	154
2.6.	Новые материалы……	167
2.7.	Управление качеством материала и системы кодирования материалов……	179
Контрольные вопросы по разделу……...		195
3.	ПРАКТИКА ВЫБОРА МАТЕРИАЛОВ КОНКРЕТНОГО НАЗНАЧЕНИЯ……..	197

3.1. Общие подходы к решению практических задач по выбору материалов……... 197
3.2. Примеры решения задач по выбору материалов конкретного назначения…… 215
3.2.1. Примеры решения задач по выбору материалов общего назначения……. 217
3.2.2. Примеры решения задач по выбору особых и неметаллических материалов…….. 233
3.3. Возможные проблемы после выбора материала и оценка самого выбора…… 244
Контрольные вопросы по разделу…… 257
ПРИЛОЖЕНИЯ…… 259
Библиографический список…… 313

Учебное издание

Шамельханова Неля Аманжоловна

НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ ВЫБОРА МАТЕРИАЛОВ

Учебник

Нач. РО ИИЦ *З. Губайдулина*
Редактор *Г. Дюсенбаева*
Компьютерная верстка *А.Б. Аришова*

Подписано в печать 28.02.2013 г.
Тираж 300. Формат 60 х 84х 1/16. Бумага типогр. №1.
Уч.-изд.л.19,9. Усл. п.л 18,5. Заказ № 28. Цена договорная.

Издание Казахского национального технического
университета имени К.И. Сатпаева
Информационно-издательский центр КазНТУ
г. Алматы, ул. Сатпаева, 22

ISBN 978-601-228-494-2

