

РНУ2782 - Современные проблемы наук о материалах и процессах

Лекция-8

Подходы к выбору материала для различных задач.

7M07103 – Материаловедение и технология новых материалов

5 (1/0/2/2) кредит

Семестр: 1, весна, 2025- 2026 год обучения

Керимкулова Алмагуль Рыскуловна

Лекция-8

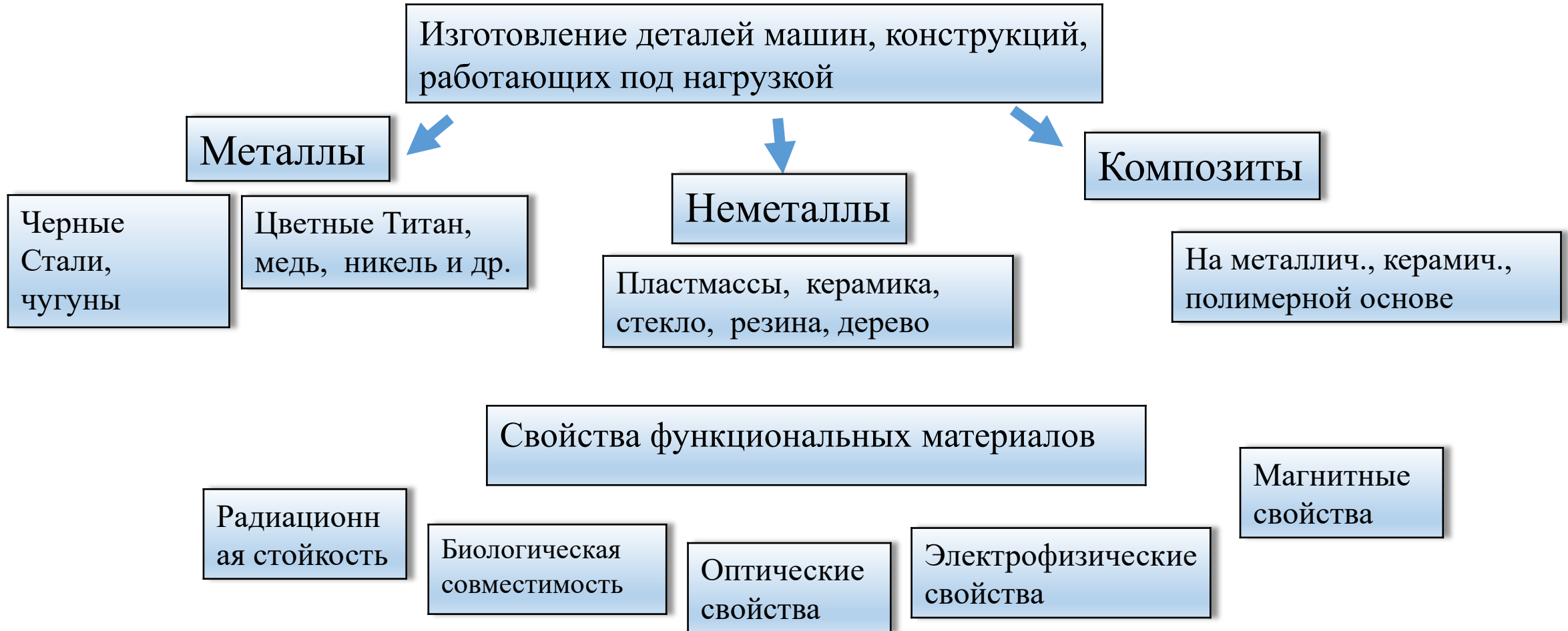
Подходы к выбору материала для различных задач.

- **Цель лекции**
- Дать обучающимся системные знания о современных физических, химических, электрохимических, биотехнологических и комбинированных методах получения функциональных материалов и наноструктур, объяснить их структуру и свойства в зависимости от способа синтеза, а также сформировать навыки применения полученных знаний в различных областях науки и производства (катализ, энергетика, экология, биомедицина, электроника).
- **Задачи лекции**
- Сформировать теоретические знания о основных методах получения функциональных материалов и наноструктур (физических, химических, электрохимических, биотехнологических).
- Объяснить особенности, преимущества и ограничения этих методов путем сравнительного анализа.
- Показать влияние методов на морфологию, фазовый состав и функциональные свойства синтезированных продуктов.
- Познакомить студентов с методами синтеза, применяемыми в лабораторных и промышленных условиях.
- Обучить использованию современных структурных, спектроскопических и микроскопических методов анализа.
- Пояснить роль экологически чистых и энергоэффективных технологий, а также их соответствие целям устойчивого развития (ЦУР).
- Развить навыки участия в междисциплинарных проектах по проектированию и анализу функциональных материалов с применением информационных технологий и искусственного интеллекта.
- Оценить научную и производственную значимость, а также аспекты безопасности и эффективности получения функциональных материалов и наноструктур.

Конструкционные материалы

Конструкционные материалы — это материалы, которые используются для создания деталей, узлов и конструкций, где важны *механическая прочность, долговечность и устойчивость к нагрузкам и внешним воздействиям*.

Примеры: сталь, алюминиевые сплавы, титан, керамика, полимеры, композиты и др.



Свойства материалов, определяющие их конструирование

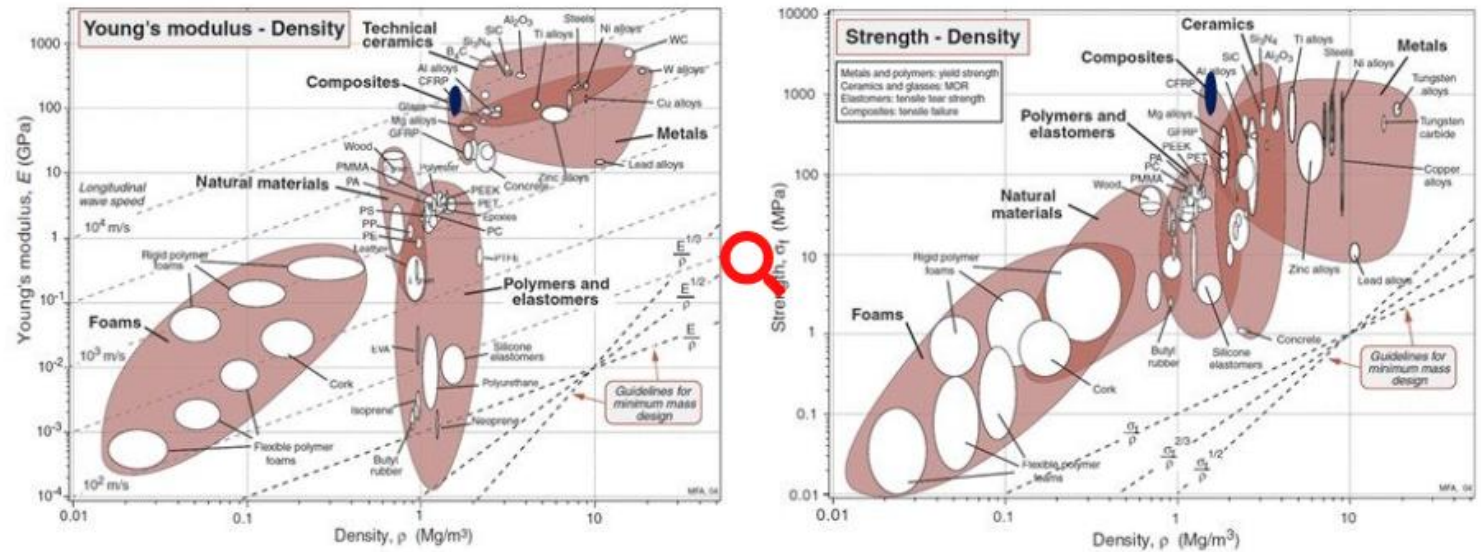
Материал	Хорошие свойства	Удовлетворительные свойства
МЕТАЛЛЫ	Твердые ($E \approx 100 \text{ ГН м}^{-2}$)	Пр. текучести (чистый, $\sigma_T \approx 1 \text{ МН м}^{-2}$) сплав
Высокие E, K_{Ic}	Пластичные ($\epsilon_f \approx 20\%$)	Твердость ($H \approx 3\sigma_T$) → сплав
Низкий σ_T	Вязкие ($K_c) > 50 \text{ МН м}^{-3/2}$	Усталость ($\sigma_e = \frac{1}{2}\sigma_T$)
	Высокая темп. плавления ($T_m \approx 1000 \text{ С}$)	Коррозионная стойкость → покрытия
КЕРАМИКА	Жесткие ($E \approx 200 \text{ ГН м}^{-2}$)	Очень низкая вязкость ($K_c \approx 2 \text{ МН м}^{3/2}$)
Высокие E, σ_T	Очень высокие твердость и	Пластичность → порошковые методы
Низкий K_{Ic}	Пр. текучести ($\sigma_T > 3 \text{ ГН м}^{-2}$) Высокая темп. плавления ($T_m \approx 2000 \text{ С}$) Коррозионностойкие, средней плотности	
ПОЛИМЕРЫ	Пластичные	Низкая жесткость ($E \approx 2 \text{ ГН м}^{-2}$)
Нормальные σ_T, K_{Ic}	Коррозионностойкие	Пр. текучести ($\sigma_T = 2-100 \text{ МН м}^{-2}$)
Низкий E	Низкой плотности	Низкая температура ($T_g = 100 \text{ С}$) → ползучесть Вязкость, часто низкая ($K_c \approx 1 \text{ МН м}^{-3/2}$)
КОМПОЗИТЫ	Жесткие ($E > 50 \text{ ГН м}^{-2}$)	Пластичность
Высокие E, σ_T, K_{Ic}	Прочные ($\sigma_T \approx 200 \text{ МН м}^{-2}$)	Дорогие
Дорогие	Вязкие ($K_c > 20 \text{ МН м}^{-3/2}$) Усталостная прочность, коррозионностойкие, низкая плотность	Ползучесть (полимер-матричные композиты)

Выбор материала. Диаграмма Эшби

- ❖ Выбор материала - это шаг в процессе проектирования любого физического объекта. В контексте дизайна продукта основная цель выбора материала - минимизировать затраты при достижении целей производительности продукта. Систематический выбор лучшего материала для конкретного применения начинается со свойств и стоимости материалов-кандидатов. При выборе материала часто используется индекс материала или индекс производительности, соответствующий желаемым свойствам материала. Например, теплозащитный материал или экран должны иметь плохую теплопроводность, чтобы минимизировать теплопередачу при заданной разнице температур. Крайне важно, чтобы конструктор хорошо знал свойства материалов и их поведение в рабочих условиях. Важные характеристики материалов: прочность, долговечность, гибкость, вес, устойчивость к нагреву и коррозии, способность к литью, сварке или закалке, обрабатываемость, электропроводность и т.д.

- ❖ График Эшби, названный в честь Майкла Эшби из Кембриджского университета, представляет собой диаграмму рассеяния, которая отображает два или более свойств многих материалов или классов материалов. Эти графики полезны для сравнения соотношения между различными свойствами. Для примера жесткой / легкой детали, описанной выше, модуль Юнга будет находиться на одной оси, а плотность - на другой оси, с одной точкой данных на графике для каждого материала-кандидата. На таком графике легко найти не только материал с наибольшей жесткостью или наименьшей плотностью, но и материал с наилучшим соотношением E / ρ .

Диаграммы Эшби «модуль упругости-плотность» и «прочность-плотность»



Источник: Michael F. Ashby, Materials Selection in Mechanical Design, Third Edition, 2005, ISBN 0 7506 6168 2

Основные этапы выбора материала

1. Определение условий эксплуатации. Перед выбором нужно чётко понимать:

- Механические нагрузки: растяжение, сжатие, кручение, изгиб.
- Температурные условия: высокая/низкая температура, циклы нагрева/охлаждения.
- Воздействие среды: коррозия, влага, химикаты, радиация.
- Срок службы и надёжность изделия.

→ Пример: для деталей турбины нужны жаропрочные сплавы (никелевые, титановые), а для корпусов приборов — лёгкие алюминиевые или пластиковые материалы.

2. Определение требуемых свойств материала. Основные группы свойств:

Механические: прочность, твёрдость, пластичность, ударная вязкость, усталостная прочность.

Физические: плотность, теплопроводность, электропроводность.

Химические: коррозионная стойкость, окисление, реакционная способность.

Технологические: свариваемость, литейные свойства, обрабатываемость, возможность термообработки.

Экономические: стоимость, доступность, возможность вторичной переработки.

3. Анализ возможных материалов. Создаётся список подходящих материалов (металлы, сплавы, полимеры, керамика, композиты). Используются диаграммы выбора материалов (Ashby charts), где сравниваются:

прочность на массу (σ/ρ),
модуль упругости,
стойкость к температуре,
цена и др.

4. Расчёт и моделирование. Используются методы механического моделирования (например, ANSYS, SolidWorks Simulation).

Проводится анализ прочности и оптимизация конструкции — выбирают материал с нужным запасом прочности при минимальной массе и стоимости.

5. Проверка технологичности и производственных возможностей

Можно ли обрабатывать, сваривать, формовать материал на доступном оборудовании?

Есть ли поставщики и сертификаты качества?

6. Экологические и эксплуатационные аспекты

Влияет ли материал на окружающую среду (при производстве, утилизации)?

Соответствует ли он стандартам устойчивого развития (ТДМ)?

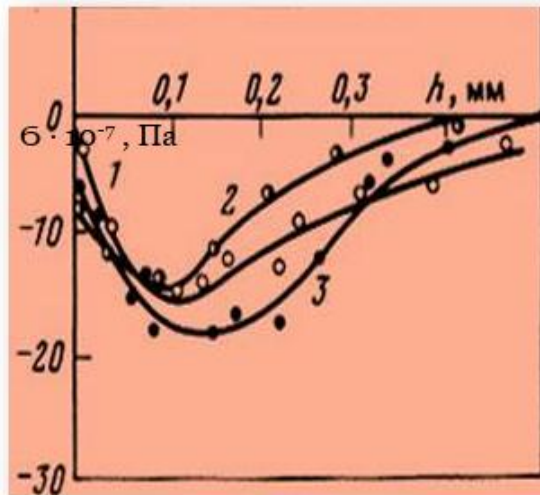
Методология выбора материала



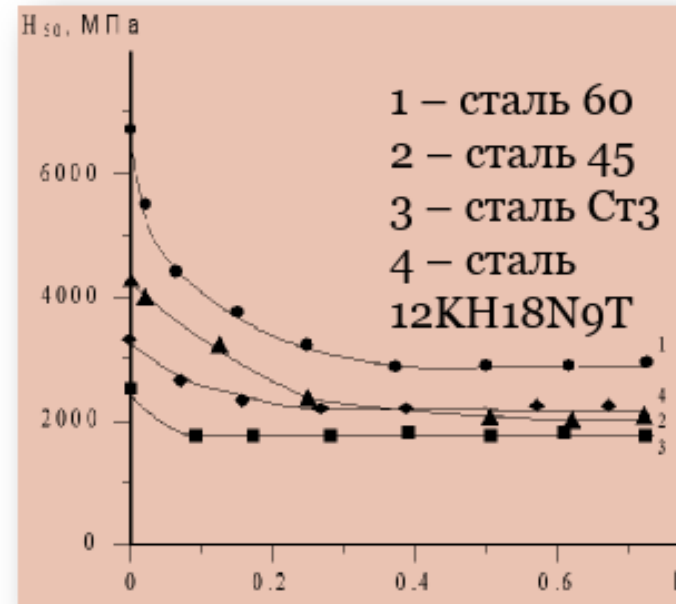
Методы повышения прочности



Ультразвуковая обработка

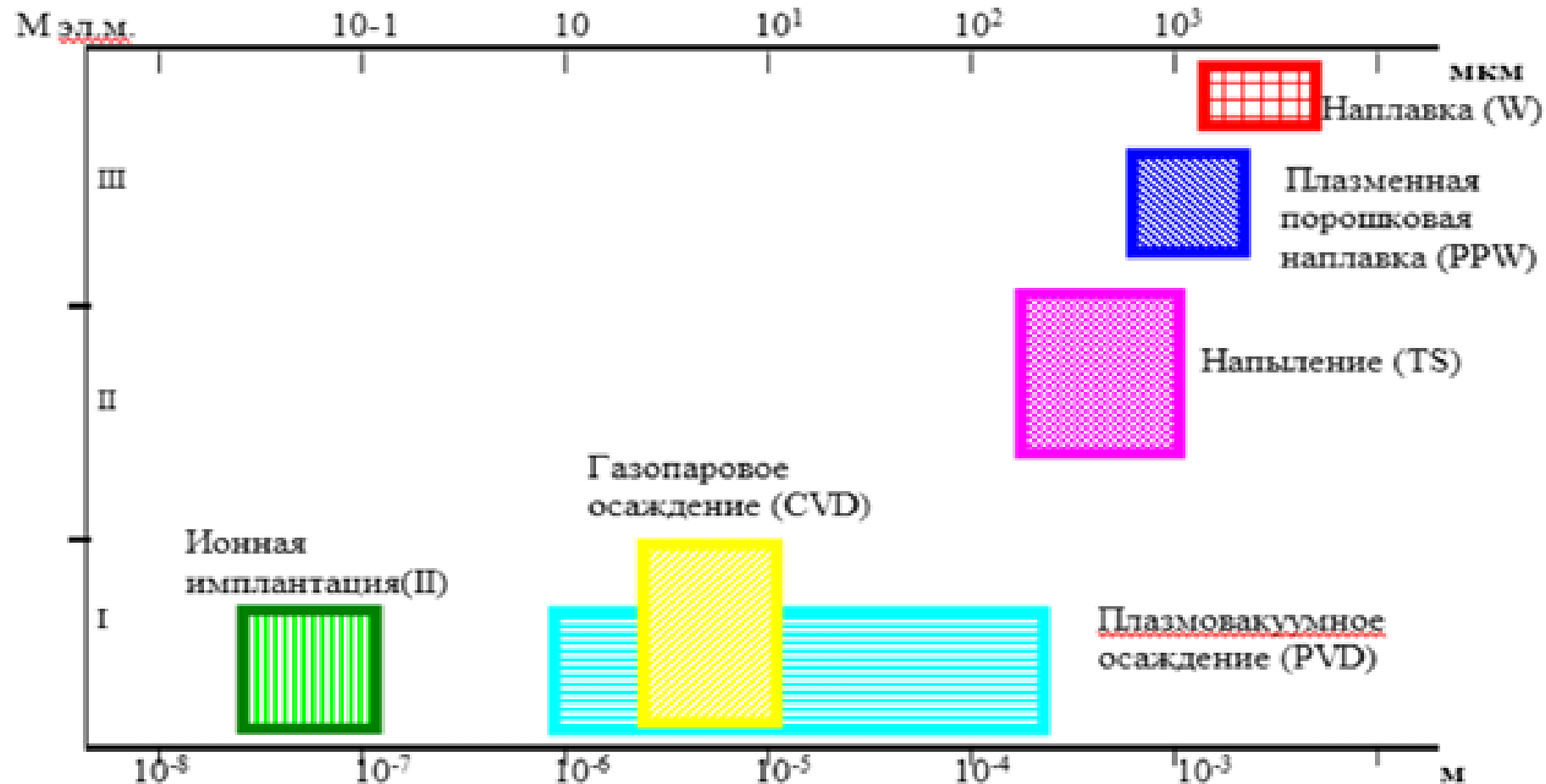


Распределение остаточных напряжений



Распределение микротвердости

Методы нанесения покрытий



Толщина покрытий и масштабы элементарной массы осаждаемого материала различными методами напыления покрытий: I - атомы, ионы, кластеры; II - частицы порошка или расплава; III - струя расплавленного электродного металла

Принципы разработки новых материалов и технологий

Получение материалов и изделий



Принципы создания новых сплавов

- ❖ Создание структурно-стабильных материалов для наиболее напряженных конструктивных элементов сводится к разработке жаропрочных, выносливых, коррозионно-стойких сплавов различных химических элементов, обеспечивающих заданные работоспособность, надежность и безопасность создаваемых узлов и изделий техники. Базовой основой при синтезе материалов являются металлические многокомпонентные системы с граничными растворами переменной концентрации компонентов и промежуточными фазами разной природы. Такие системы давно служили (и сейчас в большинстве случаев являются) базой для модификации существующих и разработки новых разнообразных конструкционных материалов - от обычных деформируемых или фасонно-литейных сплавов, подвергаемых упрочняющей термической обработке, до направленно закристаллизованных эвтектик. Важным методом в разработке новых сплавов с улучшенными технологическими и эксплуатационными свойствами является изучение фазовых равновесий в многокомпонентных металлических системах и построение их диаграмм состояния. Конструкционные материалы современной техники представляют собой сложные, многокомпонентные сплавы различных элементов. Некоторые характеристики элементов, которые могут являться потенциальной основой для будущего конструкционного материала, приведены в табл.

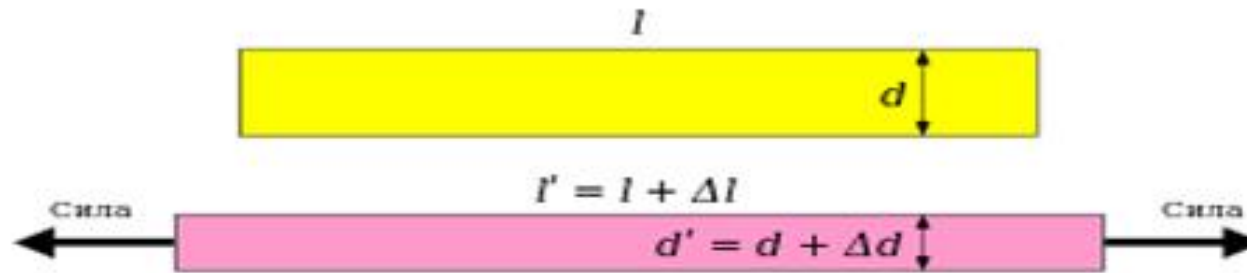
Свойства некоторых элементов

Свойство	Be	C (графит)	Mg	Al	Ti	V	Fe	Ni	Zr	Nb	Mo	Ta	W
Кристаллическое строение													
Тип решетки	ГПУ/ ОЦК	ГПУ	ГПУ	ГЦК	ГПУ/ ОЦК	ОЦК	ОЦК/ ГЦК	ГЦК	ГПУ/ ОЦК	ОЦК	ОЦК	ОЦК	ОЦК
Параметр решетки, нм: a	0,2286	0,2456	0,3203	0,40496	0,2951	0,30301	0,2866/ $a=0,3467$	0,35238	0,3223	0,33021	0,314737	0,33074	0,31652
c	0,3584/ $a=0,2546$	0,6696	0,5201		0,4679/ $a=0,3306$				0,5147/ $a=0,3610$				
Теплофизические свойства при 20 °С													
Плотность ρ , 10 ³ кг/м ³	1,85	2,2–3,0	1,74	2,7	4,5	6,11	7,86	8,9	6,51	8,57	10,2	16,6	19,25
Температура плавления $T_{пл}$ °С	1284	Субли- мация при 5000 °С	650	660	1664±4	1897 (1700)	1536±1	1454±2	1855±5	2477 (2415)	2587 (2625)	2997 (2850)	3379±2

Свойство	Be	C (графит)	Mg	Al	Ti	V	Fe	Ni	Zr	Nb	Mo	Ta	W
Механические свойства (в отожженном состоянии) при 20 °C													
Предел прочности при растяжении σ_b , МПа	280–700	3,4–17,2	60–196	70–130	300–700	380–520	320–780	280–560	220–575	300–600	490–980	210–470	600–1480
Предел текучести при растяжении $\sigma_{0,2}$, МПа	230–680	–	24–88	30–120	180–330	290–450	90–250	80–240	80–130	250–420 (491)	430–650	185–400	530–800 (1460)
Относительное удлинение δ , %	0,2–20	–	8–16	35–50	20–50	25–30 (14)	20–40	30–40	15–40	10–50	5–45	5–45	0–20
Модуль нормальной упругости E , ГПа	287–311	18–1131	39–44	63–72	96–104	147	211	196–220	68–102	100	329	177	407
Модуль сдвига G , ГПа	132–147	–	17–34	27	38	54	81	74	36	59	20	69	149
Коэффициент Пуассона, ν	0,032–0,05	0,23–0,27	0,28–0,35	0,31–0,34	0,36	0,35	0,28	0,32	0,32–0,35	0,39	0,31	0,35	0,30
Твердость по Бринеллю HB , МПа	590–1570	–	245–294	245	1810	630	490–900	665–765	640–685	735	1370–1815	440–1230	2570

Коэффициент Пуассона

Коэффициент Пуассона — упругая константа, величина отношения относительного поперечного сжатия к относительному продольному растяжению. Этот коэффициент зависит не от размеров тела, а от природы материала, из которого изготовлен образец.



$$\mu = - \frac{\Delta d}{d} \frac{l}{\Delta l}$$

Список литературы

- Lawrence E. Murr, Sara M. Gaytan, Diana A. Ramirez, et al Metal Fabrication by Additive Manufacturing Using Laser and Electron Beam Melting Technologies //J. Mater. Sci. Technol., 2012, 28(1), 1-14
- Anton Zhukov, Boris Barakhtin, Olga Vasil,eva, Pavel Kuznetsov Features of deformation of bearing plates in a clip model manufactured by direct metal laser-sintering of a steel powder // Materials Today Proceedings, <https://doi.org/10.1016./j.matpr.2019.07.223>
- ФИЗИЧЕСКОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ /Учебник под общей редакцией Б. А. Калина, том 5.
- Материалы с заданными свойствами, Москва 2008, 671. • «Процессы пластического структурообразования металлов / В.М.Сегал, В.И.Резников, В.И.Копылов и др. ;». Издано: (1994).
- <https://znanio.ru/media/svojstva-konstruktsionnyh-materialov-2840948>
- Chrome
extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://portal.tpu.ru/SHARED/k/KHVOROVA/Studentam/Tab/Lecture19.pdf
- Технология конструкционных материалов и материаловедение: краткий курс лекций для студентов 3 курса направления подготовки 19.03.01 «Биотехнология» / Сост.: А.Г. Уфаев, А.В. Павлов // ФГОУ ВО «Саратовский ГАУ». – Саратов 2016.- 93 с.
- Ковалевская Ж.Г., Безбородов В.П. К 562 Основы материаловедения. Конструкционные материалы: учебное пособие / Ж.Г. Ковалевская, В.П. Безбородов. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. – 110 с.