

Конструкционные материалы в нефтяной и газовой промышленности

1-лекция. Цели и задачи дисциплины

- ◎ Цель дисциплины – состоит в формировании необходимых профессиональных знаний и расчетно-аналитических, практических умений у будущих бакалавров-материаловедов, работающих в области нефтегазового дела. Ознакомить со свойствами конструкционных материалов и их сплавов, металлокерамических и неметаллических материалов (резины, цементы и бетоны), широко применяемых в нефтегазовой промышленности.
- ◎ Задача дисциплины состоит в подготовке бакалавров к решению правильного выбора марок широкого круга конструкционных и неметаллических материалов, исходя из их собственных физико-механических и технологических свойств, для использования в качестве материалов в нефтегазовой отрасли.

Разнообразные условия работы инструментов, машин, аппаратов и сооружений, применяемых в нефтяной, нефтехимической и газовой промышленности, вызывают необходимость искать критерии рационального выбора материалов, а в ряде случаев создавать новые типы сплавов и неметаллических материалов, методы упрочнения и армирования, применительно к своеобразным условиям работы деталей и сооружений нефтегазовой промышленности. Большинство деталей газо- и нефтепромыслового оборудования работают в крайне тяжелых условиях подвергаясь :

- значительным знакопеременным и динамическим нагрузкам;
- интенсивному абразивному изнашиванию ;
- коррозии;
- испытывает воздействие высоких температур;
- испытывает воздействие высоких давления.

2-лекция. **Стальное фасонное литье**

- Стальное фасонное литье широко используется для изготовления деталей оборудования и аппаратов нефтехимических и нефтеперерабатывающих заводов, а также деталей газо- и нефтепромыслового оборудования и инструмента.
- Наибольшее количество фасонного литья производится в песчаных формах. Однако ряд деталей отливается в металлические формы (кокиль) и получается методами точного литья.

Таблица 1 – Химический состав и механические свойства

углеродистой стали

Марк а стали	Химический состав, %			Механические свойства			
	C	Mn	Si	$\sigma_{T'}$ МПа а	$\sigma_{B'}$ МПа а	δ , %	Ψ , %
15Л	0,12-0,20	0,35-0,65	0,17-0,37	200	400	24	35
20Л	0,17-0,25	0,35-0,65	0,17-0,37	220	420	23	35
25Л	0,22-0,30	0,50-0,80	0,17-0,37	240	450	19	30
35Л	0,32-0,40	0,50-0,80	0,17-0,37	280	500	15	25
45Л	0,42-0,50	0,50-0,80	0,17-0,37	320	550	12	20
55Л	0,52-0,60	0,50-0,80	0,17-0,37	350	600	1-	18

Отливки повышенного качества. проверяют по химическому составу, размерам, внешнему виду и механическим свойствам.

Отливки нормального качества. Проверяют по химическому составу, размерам и внешнему виду.

Отливки особого качества. проверяют по химическому составу, размерам, внешнему виду и механическим свойствам.

По качественным показателям отливки из углеродистой стали делятся на три группы:

- Фасонные отливки из углеродистой стали в нефтехимической промышленности применяют для изготовления запорной, дросселирующей и предохранительной аппаратуры, печных двойников, фитингов, стальных литых фланцев, корпусов насосов, не обогреваемых непосредственно пламенем или радиационным теплом при отсутствии агрессивных сред.

Таблица 2. Применение фасонных отливок в зависимости от давления и температуры

Группа отливки и марка стали	Температура стенки, °С	Давление не более, МПа
Группа I (15Л, 20Л, 25Л, 30Л)	От - 15 до + 400	500
Группа III или III (15Л, 20Л, 25Л, 30Л)	От - 40 до + 450	Не ограничен

Применение фасонного литья из легированной стали.

1. Для изготовления высоконагруженных элементов оборудования при переработке неагрессивных нефтепродуктов при температуре до 500 °С и слабоагрессивных сернистых нефтепродуктов при температуре до 400 °С может быть рекомендовано стальное литье марок **30ХМЛ** и **35ХМЛ**.

Отливка чаще всего подвергается двойной термической обработке – закалке с 800 °С в воде и отпуску при 650 – 670 °С с охлаждением на воздухе.

2. Для изготовления литых элементов, оборудования для переработки нефтепродуктов средней агрессивности при температуре

до 450 °С - Х5ТЛ

до 550 °С - Х5МЛ и Х5ВЛ

до 600 °С – сталь 1Х18Н9ТЛ

3. Для изготовления литых элементов оборудования, соприкасающихся с топочной средой, содержащей сернистые соединения

Х9С2Л - до 800 °С;

СЧХ12Л - до 900 °С;

Х25Н20С2 - до 1100 - 1150 °С.

Отливки шарошек после отрезки прибыли и очистки поверхности внутренней полости на дробейструйном аппарате подвергаются химико-термической обработке: цементации при температуре 920 -940 °С в течение 17-20 ч; первой закалке с 880 - 900 °С в масле; второй закалке с 720 -740 °С в масле отпуску при 180 -200 °С. .

3-лекция. Высоколегированная сталь, применяемая для изготовления нефтезаводской и нефтехимической аппаратуры.

Окалиностойкая и жаропрочная сталь

- Сталь, применяемая для изготовления аппаратуры, должна обладать *высокой сопротивляемостью к коррозии, окалиностойкостью и жаропрочностью, иметь высокие механические и технологические свойства.*

Наиболее полно требуемые свойства удовлетворяются высоколегированной сталью с особыми физико-химическими свойствами

- *Нержавеющие;*
- *Окалиностойкие;*
- *Кислотостойкие;*
- *Жаропрочные стали*

⊙ Наиболее интенсивное разрушение в результате коррозии наблюдается в следующих узлах аппаратуры:

- а) печное оборудование (печные трубы, ретурбенды, арматура);
- б) погоноразделительная аппаратура (эвапораторы, ректификационные колонны);
- в) конденсационно-холодильная аппаратура и продуктовые емкости.

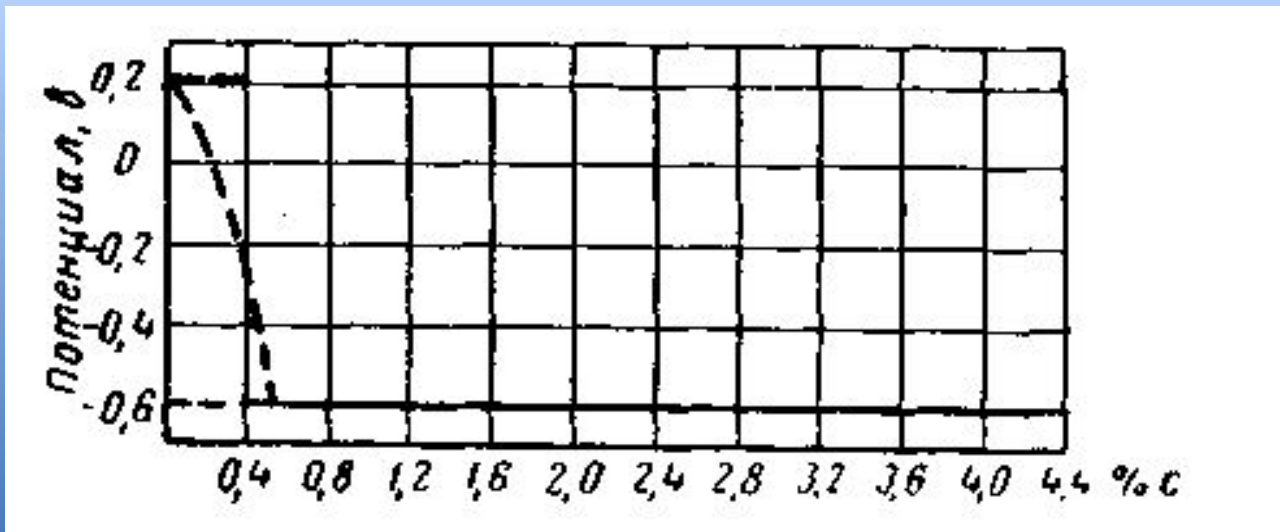


Рисунок 1. Влияние концентрации углерода хромистой нержавеющей стали на ее электродный потенциал (содержание хрома 13–15 %)

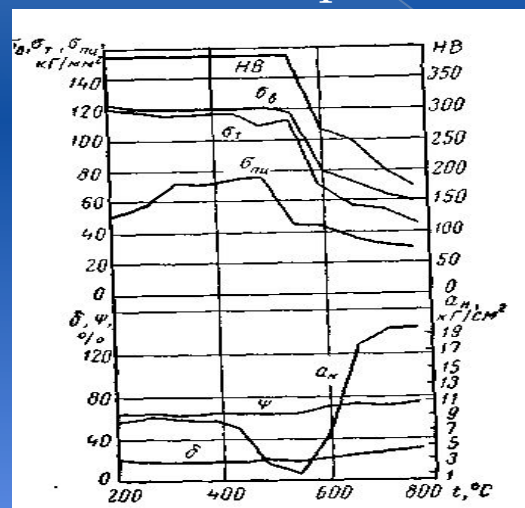


Рисунок 2 - Зависимость механических свойств стали типа 1X13 от температуры отпуска. Закалка с 980 °С в масле

Наиболее распространенным и рекомендуемым режимом термической обработки *высокохромистой* стали:

отжиг при 760 – 780
°C

охлаждением на
воздухе или вместе
с печью

сталь приобретает наиболее равновесную структуру в виде ферритокарбидной смеси, характеризующейся благоприятным сочетанием прочности и коррозионной стойкости.

Существует оценка коррозионной стойкости нержавеющей стали в различных средах по пяти бальной шкале со следующими градациями потерь веса металла от коррозии.

Потеря веса, г/м ² . ч	Балл
Менее 0,10.....	1
От 0,1 до 1,0	2
От 1,0 до 3.0	3
От 3,0 до 10,0.....	4
Свыше 10.....	5

Применение марок стали

1X13 и
2X13, 3X13

марок применяется для изготовления валов и втулок горячих центробежных насосов, для штоков и уплотнительных колец горячей арматуры, крепежных и других деталей внутренних устройств аппаратуры при переработке горячих агрессивных сернистых нефтей

4X13

используется для изготовления деталей машин и приборов, работающих на износ при высоких нагрузках и в условиях коррозионной среды

08X13

используется как нержавеющий слой двухслойного листового проката на углеродистой основе, а также для изготовления ректификационных тарелок, колпачков и других элементов внутренних устройств аппаратуры

Таблица 3 - Коррозионная стойкость нержавеющей стали в различных средах

Среда, концентрация, %	Температура испытания, °С	Марка стали								
		1Х1 3	2Х1 3	Х18	Х1 7	Х28	0Х 18 Н9	1Х1 8Н 9Т	1Х 18 Н1 1Б	Х1 8Н 12 М 2Т
Ртуть хлорная (сулема):										
0,1	20	2-3	2-3	-	2	2	2	2	2	1
0,1	Кипения	5	5	-	5	5	2	2	2	1
0,7	20	3	3	-	3	3	2	2	2	2
0,7	Кипения	5	5	-	5	5	4	4	4	4
Свинец азотно-кислый:										
50	Кипения	-	-	-	-	-	1	1	1	1
20	20	1	1-	1	1	1	1	1	1	1
20	90	1	1	-	1	1	1	1	1	1
20	Кипения	2	2	-1	1	1	1	1	1	1

- *Окалиностойкой (жаростойкой)* сталью называют высоколегированную сталь, обладающую стойкостью против газовой коррозии при высокой температуре.

Повышение окалиностойкости достигается введением в сталь:

- > *хрома*
- > *алюминия*
- > *кремния* образующих при нагреве плотные оксидные пленки: $(Cr, Fe)_2 O_3$; $(Al, Fe)_2 O_3$
- > другие, защищающие основной металл от окисления.

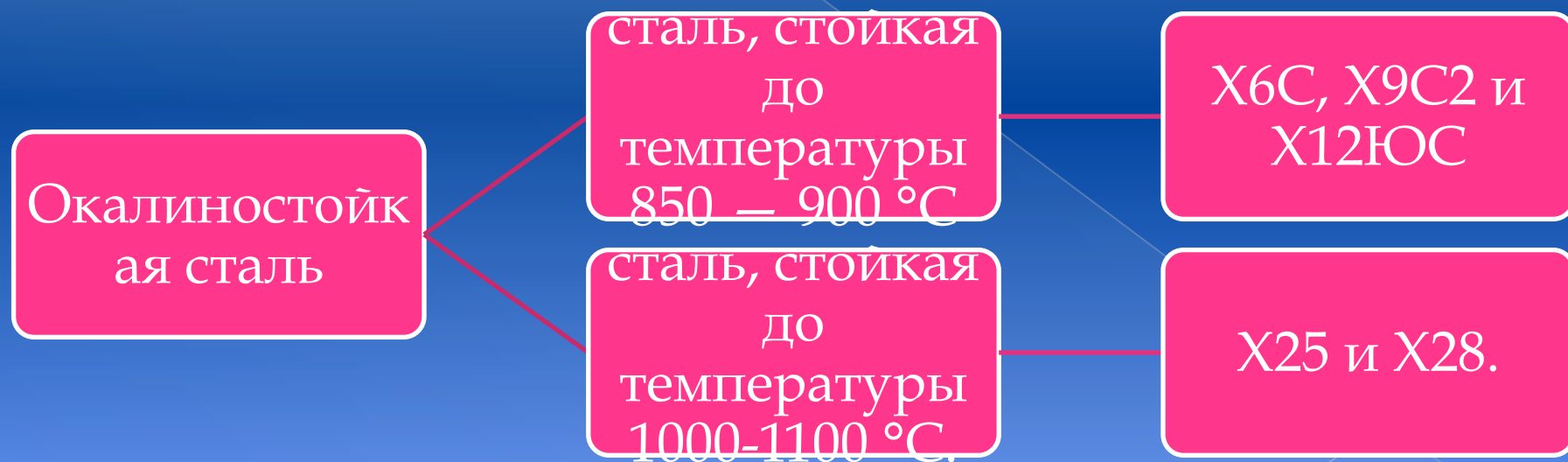
Таблица 4- Химический состав окалиностойкой стали первой группы

Марка стали	Химический состав, %								Температура начала интенсивного окисления, °С
	С	Si	Mn	Cr	Ni	Al	S	P	
Х6С	≤0,15	1,5-2,0	≤0,7	5,0-6,5	≤0,6	-	0,03	0,03	750
Х9С2	0,35-0,50	2,0-3,0	≤0,7	8,0-10,0	≤0,6	-	0,03	0,03	800
Х12ЮС	0,07-0,12	1,2-2,0	≤0,7	11,5-14,0	≤0,5	1,0-1,8	0,03	0,05	900

Введение в сталь повышает окалиностойкость при:

- 5 – 8 % Cr до 700 – 750 °С,
- 15-17 % Cr – до 950 – 1000 °С,
- 25 % Cr – до 1100 °С.

При этом следует иметь в виду, что окалиностойкость зависит только от состава стали и не зависит от ее структуры.



- Значительный интерес для нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности представляет сталь, сохраняющая достаточно высокую прочность и окалиностойкость при высокой температуре. Такую сталь называют жаропрочной.
- Жаропрочная сталь должна хорошо сопротивляться ползучести и обладать высокой кратковременной и длительной прочностью при высокой температуре.
- Жаропрочные свойства (длительная прочность, предел ползучести) стали *зависят* в значительной степени от микроструктуры, термической обработки, размера зерна, наличия легкоплавких примесей, межатомных связей сплава и т. д.

- **Хром** — обязательный элемент жаропрочных сталей; он упрочняет твердый раствор и повышает окалиностойкость стали.
- **Вольфрам и молибден** – повышают температуру рекристаллизации стали и тем самым предотвращают разупрочнение ее при высокой температуре
- **Кремний, алюминий** – вводят в состав жаропрочной стали для повышения ее окалиностойкости. Однако при наличии в стали кремния необходимо присутствие молибдена, так как кремний придает стали склонность к отпускной хрупкости.
- **Легирующие элементы** – вызывают старение и упрочнение вследствие выделения микроскопических частиц, затрудняющих пластическую деформацию при высокой

Жаропрочная сталь в зависимости от рабочей температуры

применяемая до температуры 600 – 650 °С

X5M, X5CrM, X7CrM,
X10Cr2M, 1X18H9T,
X13H7C2

- применяется для изготовления печных и коммуникационных труб
- изготавливают также печные двойники, внутренние элементы аппаратов и теплообменные трубки

применяемая до температуры 700 – 800 °С

X18H12M3T,
4X14H14B2M,
1X14H14B2M

- применяется при высокой температуре и давлении при переработке наиболее агрессивных сернистых нефтей
- изготовление печных труб

Таблица 5 - Механические свойства стали X10C2M при кратковременном испытании на растяжение

Температура а испытания, °С	$\sigma_{в}$, МПа	δ , %	φ , %
20	950	10	35
600	400	18	85
700	160	27	96
800	60	30	98
900	35	48	98

Сталь марки 4X14H14B2M применяется для высоконагруженных крепежных деталей: болтов, шпилек и др.

Свойства этой стали при комнатной температуре:

закалка с
1170 – 1200 °C в
воде



$\sigma \geq 700$
МПа; $\delta \geq 35$
%.

нагрев до
820 – 850 °С и
выдержка в
течение 2 ч



охлаждение на
воздухе:



$\sigma_B \geq 720$ МПа;
 $\sigma_T \geq 400$ МПа;
 $\delta \geq 15$ %;
 $\psi \geq 35$ %;

4-лекция. Сталь для буровых долот

В настоящее время для бурения нефтяных и газовых скважин широко применяют трехшарошечные долота, которые в общем балансе используемых долот составляют около 90 %

Главная причина выхода из строя трехшарошечных долот - малая долговечность вооружения шарошек и опоры цапфы лапы долота

Шарошки и лапы трехшарошечных долот изготавливают из легированной стали марок: **12ХН2**

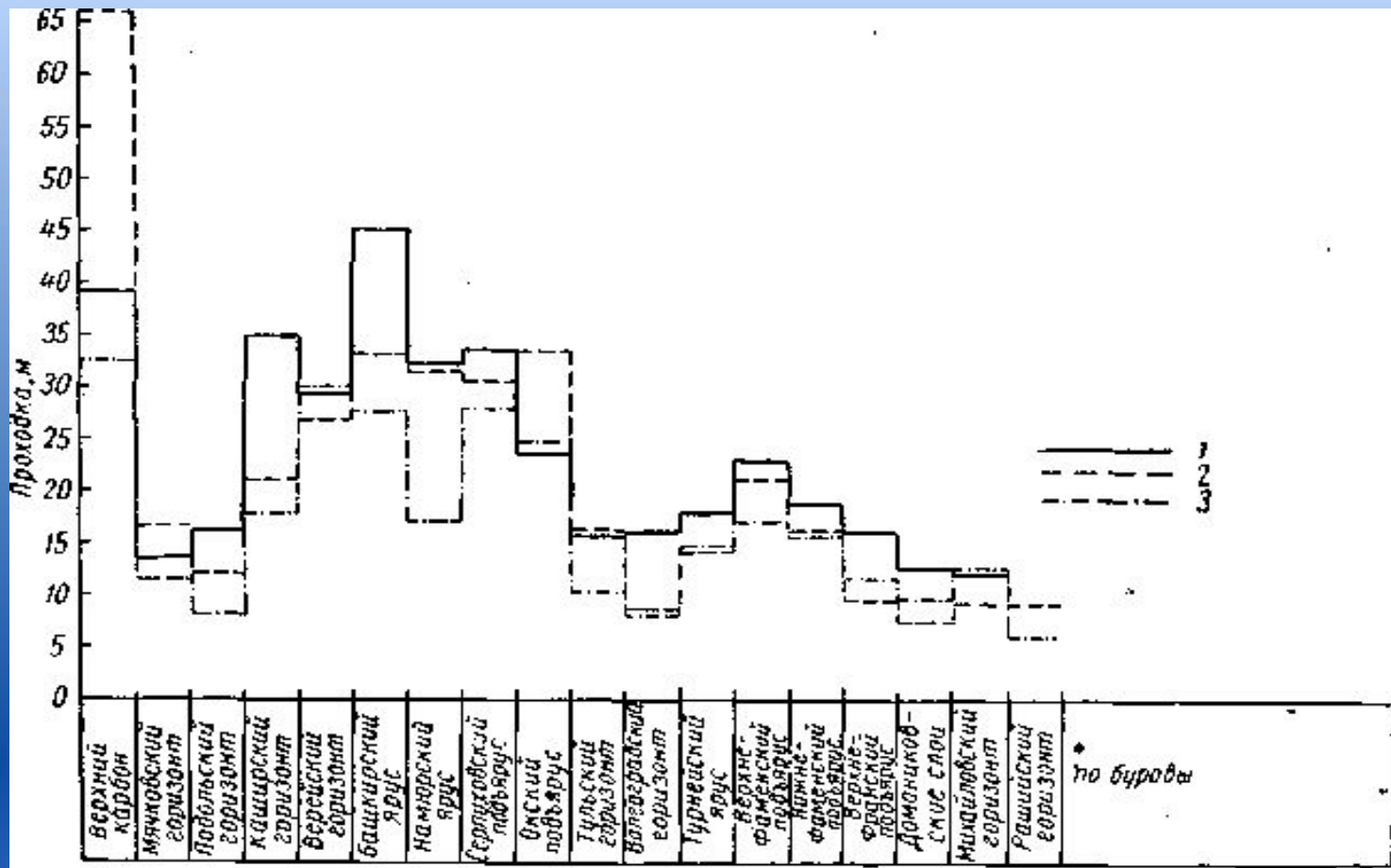
10ХН3

17ХН2

Для повышения износоустойчивости рабочие поверхности деталей трехшарошечных долот, изготовленных из стали этих марок, подвергают *цементации с последующей термической обработкой.*

Таблица 6 - Глубина цементованного слоя и время выдержки при цементации

Типоразмер долота (шифр)	Глубина слоя цементации, мм		Время выдержки при цементации, ч	
	лапы	шарошки	лапы	шарошки
1В4АТ	1,0–1,4	1,0-1,2	17–21	13–15
1В4АС	1,0–1,4	1,0–1,2	17–21	13–15
1В5Т	1,0–1,4	1,0-1,2	17–21	13-15
1В5С	1,0–1,4	1,0–1,2	17-21	13-15
1В6АТ	1,5–1,8	1,2-1,5	20–23	15–18
1В6АС	1,5–1,8	1,2-1,5	20–23	15–18
1В8Т	1,5–1,8	1,2–1,5	20–23	15–18
1В8С	1,5-1,8	1,2-1,5	20–23	15–18
4В10СТ	1,7–2,0	1,9-2,3	24-27	22–26
1В10С	1,8–2,1	1,4-1,7	24-27	17-20
1ВК-10СТ	1,8–2,1	1,4–1,7	24–27	17–20
1ВК-11СТ	1,8–2,1	1,4–1,7	24–27	17–20
1В12Т	2,2–2,5	1,6–2,0	27–32	20–24
1В12С	1,9-2,2	1,6-2,0	25–30	20–24
1ВК-12СЛ	1,9-2,2	1,6-2,0	25–30	20–24
1ВК-12СТ	1,9-2,2	1,6-2,0	25-30	20-24



1 — опытное долото из стали 16ХН2В (средняя проходка по всему разрезу 21,65 м), 2 — опытное долото с шарошками из стали 19НЗМ и лапами из стали 16ХН2М (средняя проходка по всему разрезу 19,96 м), 3 — серийное долото из стали 12ХН2 (средняя проходка по всему разрезу 15,93 м).

Рисунок 3 - . Средняя проходка на долота типа ЗТ-12 в зависимости от геологических горизонтов буровых

Таблица 7 – Механические свойства тела шарошки и лап после окончательной термической обработки

Показатели механических свойств (не менее)	Шарошки	Лапы
$\sigma_{в}$, МПа	750	700
$\sigma_{т}$, МПа	600	500
Ψ , %	55	50
НРС на беговых дорожках и наружной поверхности шарошек.	58	59

Твердость сердцевины в шарошках и цапфах лап должна находиться в пределах, указанных в табл. 7.

Твердость хвостовика лапы HB22Q – 285.

Основной фактор, регулирующий прочность сердцевины, – *содержание углерода в стали*

Таблица 8 - Химический состав стали марок 12ХНЗА, 20ХНЗА, 30ХНЗА, 37ХНЗА

Марка стали	Химический состав, %				
	С	Si	Mn	С г	Ni
12ХНЗА	0,13	0,30	0,40	0,89	3,20
20ХНЗА	0,22	0,32	0,40	0,84	3,40
30ХНЗА	0,33	0,23	0,43	0,82	2,90
37ХНЗА	0,39	0,27	0,35	1,40	3,20

5-лекция. **Сталь для труб и насосных штанг**

- В бурении и эксплуатации нефтяных и газовых скважин применяются специальные бурильные, обсадные и насосно-компрессорные трубы, а также насосные штанги.
- **Бурильные трубы.** Как известно, бурильная колонна состоит из бурильных труб, соединенных при помощи резьбовых замков, рабочей штанги, утяжеленных бурильных труб, устанавливаемых над долотом или турбобуром, и переводников.

Бурильные трубы изготавливают из специальной стали: углеродистой и легированной марок:

□ 36Г2С

□ 38ХНМ

Таблица 9 - Химический состав стали, применяемой для изготовления труб

Марки стали	Химический состав, %				
	С	Mn	Si	S	P
				не более	
36Г2С	0,32- 0,40	1,50 – 1,80	0,40 – 0,70	0,040	0,050

Таблица 10- Механические свойства стали основных марок трубного сортамента после нормализации

Марка стали	Механические свойства стали готовых труб (не менее)				
	$\sigma_{\text{в}}$	$\sigma_{\text{т}}$	δ_{10}	δ_5	φ
	МПа		%		
36Г2С	750	500	10	12	40
38ХНМ	750	550	10	12	40

Наиболее **эффективный способ** повышения прочности буровых труб – закалка с последующим высоким отпуском.

Таблица 11- Механические свойства замков и переводников из стали марок 40ХН и 45 после термической обработки

Марка стали	$\sigma_{\text{т}}, \text{МПа}$	$\sigma_{\text{в}}, \text{МПа}$	$\delta, \%$	$\varphi, \%$	НВ
	не менее				
40ХН	580	780	14	50	255 – 321
45	450	700	14	50	217 – 285

◎ *Обсадные и насосно-компрессорные трубы.* Для их изготовления применяются стали марок **36Г2С** и **38ХНМ**

◎ Обсадные трубы в зависимости от предъявляемых требований делятся по точности изготовления на два класса:

- **трубы I класса** — для скважин, пробуренных в обычных и сложных геологических условиях;
- **трубы II класса** — для неответственных скважин, когда допускаются незначительные дефекты на поверхности труб.

- **Насосные штанги.** Насосные штанги, применяемые при добыче нефти, работают в сложных условиях, подвергаясь одновременному воздействию коррозионной среды и переменных напряжений.

20ХН, 36Г1

- Для массового производства насосных штанг

40

- Муфты для штанг
- Насосные штанги

Термическая обработка агрегате, который предштанг производится в специальном механизированном назначен для массовой термической обработки, нормализации или улучшения штанг по всей длине.

Таблица 12 - Механические свойства штанг после термической обработки

	Марка стали				
	40	36Г1		20ХН	
Механические свойства (не менее)	нормализация	нормализация	Нормализация, закалка, отпуск	нормализация	нормализация, закалка, отпуск
$\sigma_{\text{в}}$, МПа	570	600	680	600	700
$\sigma_{\text{т}}$, МПа	320	400	500	390	550
δ , %	16	17	15	18	15
ϕ , %	45	40	55	60	60
НВ	170-217	185-221	197-241	149-167	192-229

6-лекция. Сталь для магистральных трубопроводов и резервуаров

Трубы. Магистральные

газопроводы,
нефтепроводы и
продуктопроводы
изготавливают из стальных
бесшовных или сварных
труб.

1) бесшовные
горячекатаные

2) сварные с
продольным и
спиральным швом.

Таблица 13 - Диаметр и длина отдельных типов труб в зависимости от способа изготовления

Типы труб	Диаметр, мм	Длина, м	Стандарт
Бесшовные нефтегазопроводные:		4-12,5	
горячекатанные.....	146-426	6-22	ГОСТ 8732-78
горячекатанные пилигримовые	146-426	Группа А	ГОСТ 8732-78
.....	400-1600	10 – 24	ГОСТ 4015-78
Сварные с продольным швом, выполненным автоматической сваркой под флюсом		Группа В 5 – 24	
Сварные со спиральным швом, выполненным автоматической сваркой под флюсом	400-700	8 – 18	ГОСТ 4015-78
	200-800	6-12	ГОСТ 4015-78
Сварные со швом, выполненным электроконтактной сваркой			

Таблица 14 - Химический состав низколегированной стали для сварных тонкостенных труб большого диаметра

Марка стали	Химический состав. %							
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Cu	P	S
							не более	
10Г2С	<0,12	0,80-1, 10	1,30-1,65	<0,30	<0,30	0,15-0, 30	0,04 5	0,05 0
14ХГС	0,11-0, 17	0,40-0, 70	0,90-1,30	0,50-0, 80	<0,30	<0,30	0,04 0	0,04 0
19Г	0,16-0, 22	0,20- 0,40	0,70-1,00	<0,30	<0,30	<0,30	0,04 5	0,04 5

- Стальные резервуары — ответственные инженерные сооружения, работающие в сложных климатических, тяжелых грунтовых и эксплуатационных условиях. Поэтому правильный выбор марки стали для нефтерезервуаров является одним из главных условий их надежной эксплуатации.

Таблица 15 - Механические свойства низколегированной стали для сварных тонкостенных труб большого диаметра

Марка стали	Толщина проката, мм	$\sigma_{в'}$	$\sigma_{г'}$	$\delta, \%$
		МПа	МПа	
		не менее		
10Г2СД (МК)	4-32	500	350	18
14ХГС	4-10	500	350	18
	11-20	500	340	18
19Г	4-10	470	300	18

Таблица 16 - Химический состав стали для резервуаров

Марка стали	Химический состав, %							
	C	Si	Mn	S	P	Cr	Cu	Ni
				не более				
МСт.Зкп	0,14-0,22	<0,07	0,30-0,60	0,055	0,045	<0,03	<0,03	<0,03
МСт.З	0,14-0,22	0,12-0,30	0,40-0,65	0,055	0,045	<0,03	<0,03	<0,03
МСт.З улуч-шенная рас кисленная	<0,20	0,12-0,25	0,40-0,70	0,045	0,040	<0,03	<0,03	<0,03
Низколегиро ванная мар- ганцовистая	<0,17	<0,27	<0,8	0,03	0,02	<0,04	Следы	-

7-лекция. Легированный и высоколегированный чугун с особыми физико-химическими свойствами

- *Легированный чугун*, кроме обычных элементов (Сг, Si, S и Р), содержит специально введенные элементы для повышения механических свойств или для придания каких-либо специальных свойств: износоустойчивости, жаропрочности, кислотоупорности и др. При легировании чугуна применяются те же элементы, что и при легировании стали
 - хром,
 - никель,
 - медь,
 - титан,
 - молибден и др.



Все легирующие элементы изменяют как процесс графитообразования при эвтектическом превращении, так и процесс формирования структуры основной (металлической) массы при эвтектоидном превращении.

- **Низко- и среднелегированный чугун** обеспечивает более высокие эксплуатационные свойства деталей (повышенную износоустойчивость, лучшие антифрикционные свойства, большую теплоустойчивость и т. п.).
2,9 – 3,3 % C; 1,4 – 2,3 % Si; 0,5 – 1,0 % Mn; 0,1 – 0,3 % P; 0,1 – 0,12 % S; 0,2 – 1,5 % Ni; 0,2 – 0,7 % Cr; иногда от 0,5 до 1,0 % Si и до 0,2 % Ti.
- **Среднелегированный чугун** применяется большей частью как износоустойчивый материал. 2,8 – 3,2 % C; 1,0 – 1,8 % Si; 2,0–4,0 % Ni; 0,3–1,0 % Cr; 0,6–1,0 % Mn; до 0,12 % S; до 0,2 % P.
- **Высоколегированный чугун** с особыми физико-химическими свойствами. В нефтяной, нефтехимической и газовой промышленности широко применяется высоколегированный чугун — главным образом нержавеющей (аустенитный), высокохромистый и высококремнистый, сочетающий в себе коррозионную стойкость, теплоустойчивость и другие свойства.

Таблица 17- Химический состав и механические свойства чугуна марок Х28Л и Х34Л

Марка чугуна	Химический состав, %						Механические свойства			
	C	Cr	Si	Mn	P	S	$\sigma_{в'}$ МПа	$\sigma_{и'}$ МПа	f, мм (l=600)	НВ
	не более						не менее			
Х28Л	0,5-1,0	26-30	0,5-1,3	0,5-0,8	0,1	0,08	35	55	6	220- 270
Х34Л	1,5-2,2	32-36	1,3-1,7	0,5-0,8	0,1	0,1	40	60	5	250- 320

Таблица 18- Физические свойства высокохромистого чугуна

Показатели	Величина
$t_{пл}, ^\circ\text{C}$	1350-1450
$\gamma, \text{Г/см}^3$	7,3-7,4
α от 0 до 200 $^\circ\text{C}$	$9,4-10,0 \cdot 10^{-6}$
Линейная усадка, %	1,5-1,8
Q, ом $\text{мм}^2/\text{м}$	$\sim 0,4$

Применение высокохромистого чугуна

Нирезит

Ферро-цистид

1 X28J1

X34J1

8-лекция. **Металлокерамические материалы**

- . Основные преимущества металлокерамических изделий следующие:
 - > а) значительное снижение, а иногда и полное устранение обработки на металлорежущих станках, что значительно уменьшает или полностью устраняет потери металла при изготовлении изделия;
 - > б) регулирование химического состава металла изделия в узких пределах;
 - > в) изготовление изделий из металлов, не поддающихся сплавлению, в частности, из металлов с резко различными температурами плавления;
 - > г) возможность изменения в процессе изготовления изделия его внутренней структуры (например, пористости) в результате применения порошков соответствующих фракций и подбора соответствующих режимов прессования и спекания;
 - > д) возможность замены дефицитных цветных металлов недефицитными металлами.

- ⊙ Термическая диссоциация заключается в разложении соединений типа $Me_n (CO)_m$ при нагревании под давлением. Процесс разложения происходит по следующей схеме:



В процессах, связанных с очисткой нефти и газа при добыче и с их переработкой, металлокерамические фильтры имеют большое значение, оказывая влияние на сроки службы оборудования и на качество получаемых продуктов. Проницаемость металлокерамического фильтра выражается количеством жидкости или газа (в $см^3$), проходящим в 1 мин через $1 см^2$ фильтрующей перегородки толщиной 3 мм при равномерном давлении 10 МПа и температуре 20 °С.

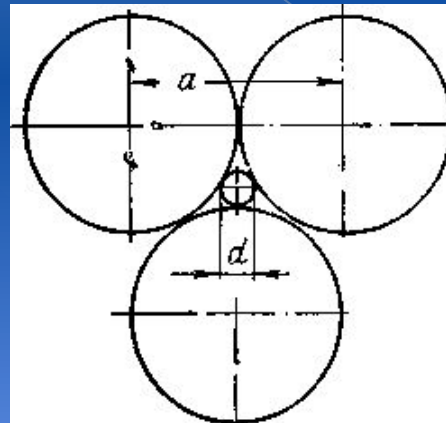
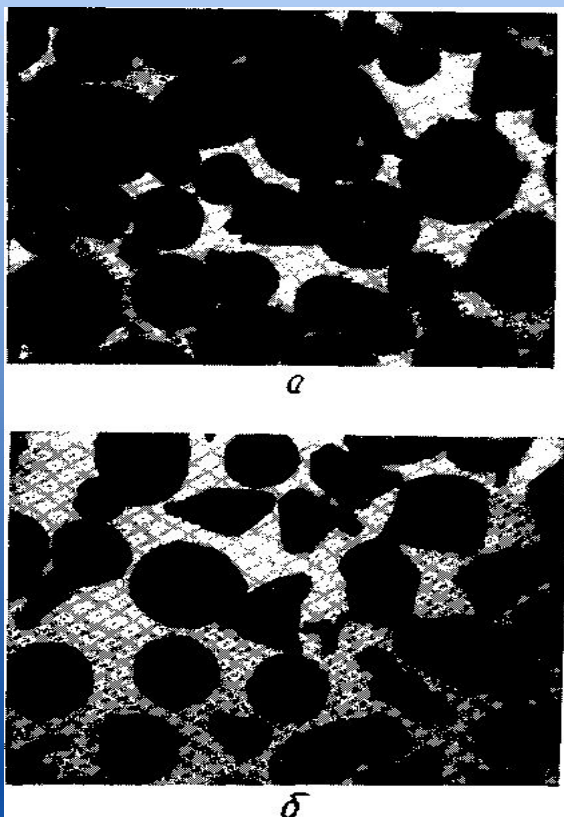


Рисунок 4- . Зависимость между диаметром сферической частицы фильтра и максимальным размером проходного отверстия

Таблица 19 - Некоторые свойства стальных металлокерамических фильтров

Размер частиц порошка, мм	Средний размер пор, мк	Плотность, г/см ³	Пористость, %	Проницаемость для дизельного топлива при 2 МПа, см ³ /мин/см ²
0,2-0,3	120	4,59-4,69	38,3-39,7	735-770
0,3-0,4	180	4,48-4,52	40,6-41,0	880-925
0,4-0,5	220	4,41-4,49	40,9-41,2	905-990
0,5-0,6	250	4,26-4,35	42,8-43,9	990-1035
0,6-0,7	300	4,32-4,38	42,3-43,1	1050-1100

Изделия, спеченные, указанным способом имеют высокую проницаемость, которая возрастает с увеличением размеров частиц порошка, тогда как пористость возрастает в меньшей степени. Для изготовления металлокерамических фильтров применяются обычно порошки сферической формы, изготавливаемые из коррозионноустойчивых металлов: бронзы, латуни, никеля, серебра, нержавеющей стали.



а — углеродистой стали марки 45;
б — хромоникелевой стали марки 1X18H9T

Рисунок 5 - Форма порошков,
полученных распылением
воздухом

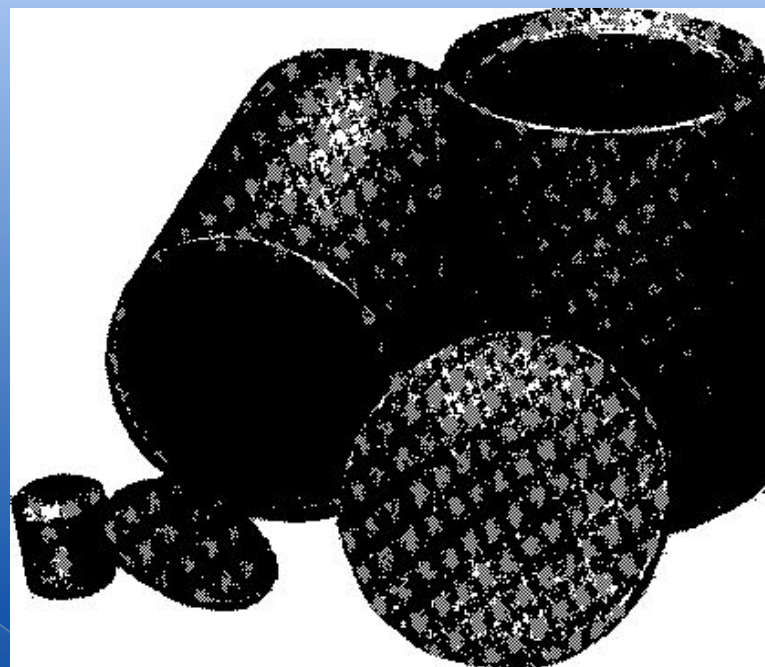


Рисунок 6 - Некоторые детали
металлокерамических фильтров

Применение металлокерамических фильтров

для улавливания катализаторной пыли в каталитических процессах с применением пылевидного катализатора

для равномерного распределения газа в газораспределительных решетках с кипящим слоем катализатора

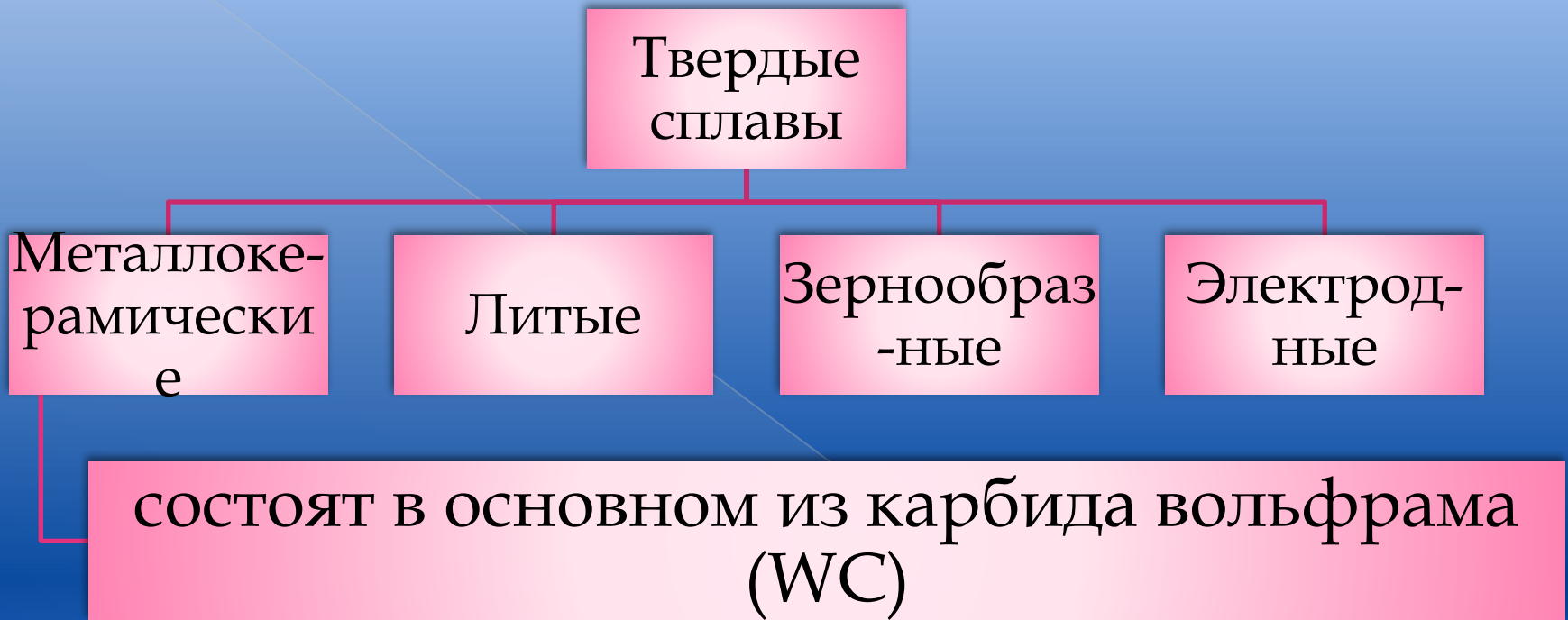
при эксплуатации подземных газохранилищ

. Очистка газа от пыли, масла и других механических примесей при перекачке газа по магистральным газопроводам

при окислении парафина во фтористый ангидрид

для отделения газа от твердых частиц в процессах синтеза трихлорсилана из хлористого водорода и кремния

9-лекция. Твердые сплавы



Твердые сплавы широко применяются для армирования быстроизнашивающихся рабочих поверхностей буровых долот.

Металлокерамические твердые сплавы.

Эти сплавы состоят в основном из карбида вольфрама (WC). Твердость карбида вольфрама очень высокая, но в то же время он очень хрупкий. Для применения карбида вольфрама в качестве материала для режущих инструментов порошок карбида вольфрама прессуют и спекают при высокой температуре (1400 °C) с порошком кобальта, при этом кобальт является пластичной связкой для карбида вольфрама.

Таблица 20 -Состав (масс. %) и твердость твердых сплавов (ГОСТ 3882–74)

Сплав	WC	TiC	TaC	Co	Твердость HRA
Вольфрамкобальтовые					
ВК3	97	—	—	3	89,5
ВК4	96	—	—	4	89,5
ВК6	94	—	—	6	88,5
ВК8	92	—	—	8	87,5
ВК10	90	—	—	10	87,0
Титановольфрамкобальтовые					
T30K4	66	30	—	4	92,0
T15K6	79	15	—	6	90,0
T5K10	85	5	—	10	88,5
Титанотанталовольфрамкобальтовые					
ТТ7К1 2	81	4	3	12	87,0
ТТ8К6	84	8	2	6	90,5
ТТ20К 0	71	8	12	9	89,0

Литые твердые сплавы и наплавочные материалы. В тех случаях, когда требуются наиболее высокая твердость и износостойкость (например, для оснащения рабочих поверхностей буровых долот в нефтяном бурении, для вставок в волоки для волочения проволоки) используют литые сплавы, целиком состоящие из твердых тугоплавких карбидов, в частности карбидов вольфрама.

Производство литых сплавов карбидов вольфрама основано на получении сплавов, близких по составу к эвтектическому:



Сплав эвтектического состава имеет:

- более низкую температуру плавления (2525 °С)
- весьма мелкозернистую структуру, что приводит к повышению эксплуатационных свойств.

Зернообразные твердые сплавы

СТАЛИНИТ

Сталинит представляет собой зернообразную массу (с величиной зерна до 1 мм) следующего состава: 8–10 % C, 16–20 % Cr, 13–17 % Mn, 3 % Si, остальное – железо.

Температура плавления сталинита 1300-1325 °C.

Структура сплава – аустенит с большим количеством карбидов, твердость более HRC 65.

ВОКАР

представляет собой зернообразную массу с величиной отдельных зерен 1–3 мм. Эта масса, состоящая из зерен вольфрама и углерода, при помощи электрической дуги наплавляется на поверхность детали в один, два или три слоя.

Химический состав вокара следующий: 9-10 % C; 85-87 % W; до 3 % Si, до 2 % Fe.

Применение твердых сплавов в нефтяной и газовой промышленности

Твердые сплавы широко применяются для *армирования* быстроизнашивающихся рабочих поверхностей буровых долот. При армировании лопастных долот применяется сплав *вокар*. Армирование выполняется при помощи электрической дуги, возникающей между угольным или графитовым электродом и вокаром, насыпанным на армируемую поверхность долота. Армирование может производиться последовательно в один, два или три слоя. Ограничиваются наплавкой в два слоя толщиной 4 – 6 мм. Армирование лопастных долот можно выполнять напайкой на перья или на ребро долота пластиной твердых сплавов ВК8. Припоем служат стержни из серого чугуна диаметром 6-12 мм и длиной 400 – 700 мм. Зубья долот армируют зернистым твердым сплавом – рэлитом (литыми карбидами вольфрама).

10-лекция. Медь и ее сплавы

- Медь — тяжелый металл (плотность $8,94 \text{ г/см}^3$) красно-розового цвета; находится в I группе Периодической системы, полиморфных превращений не имеет; кристаллизуется в гранцентрированной кубической решетке с параметром $a = 0,36074 \text{ нм}$.

Таблица 201- Физические свойства

меди

Атомный вес	Коэффициент линейного расширения, $\alpha \cdot 10^{-6}$	Температура плавления, $^{\circ}\text{C}$	Удельная теплоемкость, $\text{кал/см}^3\text{c}$	Температурный коэффициент электросопротивления, при $^{\circ}\text{C} \alpha \cdot 10^3$	Удельное электросопротивление, $\text{Ом.см.}10^6$
63,54	16,5	1083	0,0915	4,3	1,55

Механические свойства технической меди зависят от ее состояния.

- В *отожженном виде* медь весьма пластична:
 - $\delta \approx 50 \%$,
 - $\psi \approx 75 \%$,
 - $\sigma_{0,2} = 70 \text{ МПа}$,
 - $\text{НВ } 35, \sigma_{\text{в}} = 240 \text{ МПа}$.
- В *деформированном состоянии* пластичность меди понижается, но прочность повышается:
 - $\delta = 1 - 3 \%$,
 - $\psi \approx 35 \%$,
 - $\sigma_{0,2} = 380 \text{ МПа}$,
 - $\text{НВ } 120$,
 - $\sigma_{\text{в}} = 500 \text{ МПа}$

Примеси в меди можно условно разделить на три группы.

растворимые в
твердой меди:
Al, Fe, Ni, Sn, Zn,
Au, Ag, Pt, Cd, Sb,
As

- не уменьшают способность меди к пластической деформации, но снижают электропроводность и теплопроводность

свинец и висмут,
образуют с
медью
легкоплавкие
эвтектики по
границам зерен

- даже в тысячных долях процента резко ухудшают способность меди обрабатываться путем прокатки или волочения

сера, кислород,
фосфор и др

- образуют с медью хрупкие химические соединения, которые залегают по границам зерен.

Классификация медных сплавов

Латунь

- сплавы меди с цинком, а иногда с добавками небольшого количества некоторых других элементов

Бронза

- сплавы меди с оловом (бронзы оловянные), алюминием, кремнием, бериллием, свинцом (бронзы безоловянные).

Медно-никелевые сплавы

Мельхиор - двойные и более сложные сплавы меди (МНЖМц 30-0,8-1, МН19), в которых основным легирующим элементом является никель (до 30 %) - имеет хорошую коррозионную стойкость в различных агрессивных средах (морской воде, в органических кислотах, растворах солей), что обеспечивает ее широкое применение в морском судостроении, для разменной монеты, медицинского инструмента, деталей точной механики и химической промышленности, для изделий ширпотреба.

Нейзильбер сплавы системы медь- никель - цинк (Ni 5-35 %, Zn 13 - 45 %) МНЦ 15-20, МНЦС 17-18-1,8; имеют красивый серебристый цвет, хорошую коррозионную стойкость. Полуфабрикаты (листы, проволока, прутки) используют для производства приборов точной техники, технической посуды, медицинского инструмента

Куниали сплавы системы медь- никель-алюминий (МНА13-3, МНА6-1,5); отличаются высокими механическими свойствами и высокой упругостью; изготавливают полосы для получения деталей часовых механизмов, детали телефонной промышленности.

Манганин сплав системы медь-никель-марганец МНМц 3-12 имеет малую термоэлектродвижущую силу в контакте с медью, малый коэффициент электросопротивления. Изготавливают эталонные катушки электросопротивления и точные электроизмерительные приборы. Манганин пластичен и легко обрабатывается в холодном и горячем состояниях

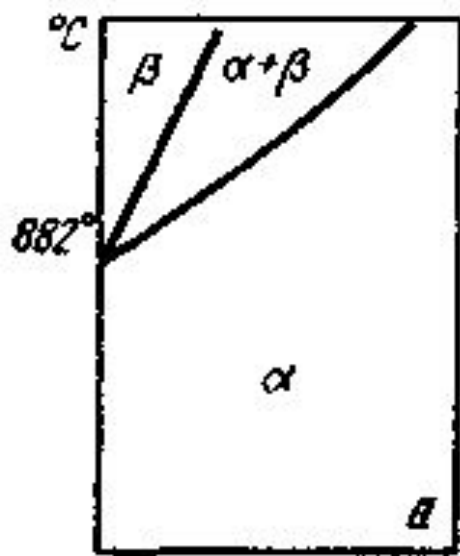
- На нефтеперерабатывающих и нефтехимических заводах медь и ее сплавы широко применяются для изготовления трубок теплообменной и конденсационно-холодильной аппаратуры, а также некоторой аппаратуры для производства смазочных масел и спиртов из нефтяных газов.
- Ниже описываются характерные виды коррозионного разрушения латунных трубок (ЛО 70-1) на нефтеперерабатывающих и нефтехимических заводах.
 1. При воздействии воды, охлаждающей трубчатые установки, на поверхности трубок появляются язвины и сквозные разъедания с относительно ровными краями. Металл разрушается из-за обесцинкования латуни.
 2. На наружной поверхности трубок, т. е. поверхности контакта с технологическим продуктом, наблюдается преимущественно равномерная коррозия в виде осадка.
- Медь и ее сплавы применяются при изготовлении оборудования для бурения и эксплуатации нефтяных и газовых скважин. Так, в качестве подшипников, различных втулок, направляющих седел, шестерен и многих других обычно небольших, но ответственных деталей буровых насосов, лебедок и другого бурового оборудования применяются бронзы.

1 лекция. Титан и его сплавы

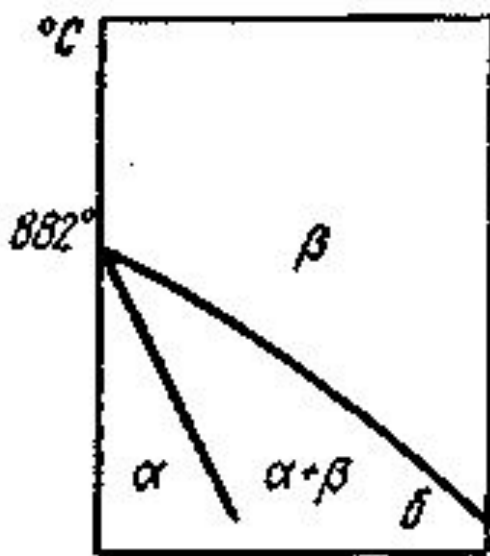
- *Титан* – металл серого цвета, с невысокой плотностью ($\gamma = 4,5 \text{ г/см}^3$), находится в IV группе Периодической системы Д. И. Менделеева, относится к переходным металлам. Титан является полиморфным металлом и существует в двух аллотропических формах – α и β . Температура полиморфного превращения $\alpha \leftrightarrow \beta$ равна $882 \text{ }^\circ\text{C}$. α - титан (ниже $882 \text{ }^\circ\text{C}$) имеет гексагональную решетку с периодами $a = 0,296 \text{ Нм}$, $c = 0,472 \text{ нм}$; β - титан (выше $882 \text{ }^\circ\text{C}$) имеет решетку объемноцентрированного куба ($a = 0,331 \text{ нм}$).

Таблица 21 - Физические свойства титана

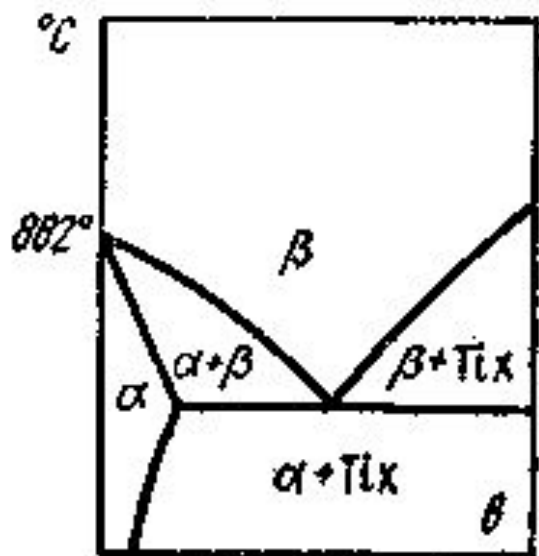
Атомный вес	Коэффициент линейного расширения, $\alpha \cdot 10^{-6}$	Температура плавления, $^\circ\text{C}$	Удельная теплоемкость, кал/см $^\circ\text{C}$	Температурный коэффициент электросопротивления, при $^\circ\text{C} \alpha \cdot 10^3$	Удельное электросопротивление, Ом.см.10 6
47,90	7,14	1725	0,036	4,25	47,5



Ti Al₂O₃;N₂



Ti Mo;V;Nb
Легированный элемент, %



Ti Cr; Mn; Fe; Si

Рисунок 7 - Влияние легирующих элементов на $\alpha \leftrightarrow \beta$

Таблица 22- Химический состав и механические свойства промышленных деформируемых сплавов титана

Марк а	Содержание элементов, (по массе) %	$\sigma_{в'}$, МПа	$\sigma_{0,2'}$, МПа	δ , %
α-сплавы				
BT5	Al 5	700-950	660-850	10-15
BT5-1	Al 5, Sn 2,5	750-950	650-850	10-15
$\alpha+\beta$-сплавы мартенситного класса				
BT3-1	Al 6, Mo 2,5, Si 0,2, Fe 0,5, Cr 2	1100-1200	1050-1100	12-14
BT6	Al 6, V 4	1100-1150	1000-1050	14-16
BT14	Al 4,5< Mo 3, V 1	1150-1400	1080-1300	6-10
Псевдо-β-сплавы				
BT16	Al 4, Cr 11, Mo 8	1300-1500	-	4-8

α -Сплавы. **Преимущества:** до 650 °С сохраняют достаточную прочность. До 1090 °С сопротивляются коррозии в атмосферной среде, загрязненной газами, что позволяет вести обработку давлением при более высоких температурах. Хорошо свариваются. После термической обработки охрупчивания не наблюдается.

Недостатки: пластичность листов при изгибе хуже, чем у β -сплавов; для горячей обработки давлением требуется более значительная мощность, чем для сплавов $\alpha + \beta$; невозможность получения высокопрочных сплавов; закалке и старению не подвергаются.

$\alpha+\beta$ -Сплавы. **Преимущества:** удвоенная прочность по сравнению с нелегированным титаном; хорошая пластичность, в частности при изгибе; легче куются, штамуются и прокатываются, чем сплавы α или β ; возможно упрочнение путем термической обработки.

Недостатки: чувствительность к термической обработке (при недостаточном контроле может наблюдаться охрупчивание); пластичность сварного шва хуже, чем у α -сплавов; сохраняют достаточную прочность лишь до 430 °С.

β-Сплавы.

Преимущества:

отличная

пластичность при всех видах штамповки (лист толщиной 0,7 мм может быть согнут без оправки до полного соприкосновения сторон); сохраняют достаточную прочность до 540 °С, для получения высокой прочности необходима термическая обработка.

Недостатки: весьма чувствительны к загрязнениям в процессе производства.

Чувствительны к загрязнению атмосферными газами при температурах выше 700 °С. Высокая прочность вызывает трудности при

Применение титановых сплавов

- для изготовления оборудования, подверженного действию сернистой коррозии и соленых вод.
- для изготовления труб при бурении на газ и нефть позволит значительно реже производить их замену.
- для нефти и нефтепродуктов с обкладками из тонкого листового титана, соединенного с основным металлом сваркой.
- Из титана изготавливают трубчатые теплообменники с трубками диаметром 25 мм и длиной 3 м, работающие в среде 15 %-ного раствора гипохлорита натрия.
- Титан пригоден для форсунок, работающих на морской воде, сеток фильтров, теплообменников, работающих в азотной кислоте.

12-лекция. **Алюминий и его сплавы**

Таблица 23 - Физические свойства алюминия

Атомный вес	Коэффициент линейного расширения, $\alpha \cdot 10^{-6}$	Температура плавления, $^{\circ}\text{C}$	Удельная теплоемкость, кал/см ³	Температурный коэффициент сопротивления, при $^{\circ}\text{C}$ $\alpha \cdot 10^3$	Удельное сопротивление, Ом.см. 10^6
26,97	23,1	660,2	0,214	4,0 - 4,3	2,62-2,83

Деформируемые алюминиевые сплавы, не упрочняемые термической обработкой. К ним относятся сплавы алюминия с марганцем или магнием, а также технический алюминий (АД, АД1, АДО). Из сплавов АМц и АМг изготавливают листы, прутки, проволоку. По характерным признакам эти сплавы делятся на сплавы:

- > повышенной пластичности,
- > конструкционные сплавы,
- > ковочные сплавы,
- > высокопрочные сплавы,
- > жаропрочные сплавы.

○ **Сплавы повышенной пластичности авиали (АВ) системы Al-Mg-Si**

- обладают хорошей свариваемостью, высокой пластичностью, коррозионной стойкостью. Закалку авиалией проводят при температурах 515 - 525 °С, затем сплавы подвергают естественному или искусственному старению (160-170 °С). Из сплавов АВ, АД31, АД33 получают листы, трубы, прессованные профили, и прочие полуфабрикаты, а также лопасти винтов вертолетов, кованые детали двигателей, рамы, двери, и т.д. Их особенностью является чувствительность к перерыву между закалкой и искусственным старением.

○ **Конструкционные алюминиевые сплавы системы Al-Cu-Mg**

(дуралюмины) - широко применяемые сплавы в различных областях техники (Д1, Д16, Д18, В65). Особенностью закалки дуралюминов является строгое соблюдение температурного режима: 505 ± 5 °С (для Д1) и 500 ± 5 °С (для Д16 и Д18). Дуралюмины широко применяются в авиации. Из них изготавливают лопасти воздушных винтов, (Д1), из Д16 - обшивки, шлангоуты, лонжероны самолетов. Сплавы Д18 и В65 являются основными заклепочными алюминиевыми сплавами.

- **Ковочные алюминиевые сплавы (АК) системы Al-Cu-Mg-Si.**
Обладают хорошей пластичностью и стойки к образованию трещин при горячей пластической деформации (АК6, АК8). Применяют после закалки с 505 ± 5 °С (АК8) и 520 ± 5 °С (АК6) и искусственного старения 160 - 170 °С в течение 12-15 часов. Из этих сплавов изготавливают штампованные и кованные детали сложной формы и средней прочности (подмоторные рамы, фитинги, крепеж, пояса лонжеронов, лопасти винтов вертолетов, бандажи вагонов). Оба сплава имеют низкую коррозионную стойкость и нуждаются в защите.
- **Высокопрочные алюминиевые сплавы системы Fe-Zn-Mg-Si (В95, В96).** Сплавы подвергают закалке с 460 - 470 °С в холодной или подогретой до 80 - 100 °С воде. Нагрев воды необходим для того, чтобы избежать растрескивания и коробления крупногабаритных полуфабрикатов. Последующее искусственное старение проводят при температурах 120 - 140 °С в течение 16-21 часов. Применяют для высоконагруженных деталей в самолетостроении, работающих при температуре до 100 °С (шлангоуты, лонжероны, силовые каркасы). Недостатками этих сплавов являются пониженная пластичность и коррозионная стойкость под напряжением.

- Литейные сплавы используют для изготовления различных деталей методами литья; в изложницы из разных материалов, по выплавляемым моделям, под давлением, способами прецизионного литья и т.д.

Литейные сплавы можно разделить на следующие группы:

Сплавы с наиболее высокими литейными свойствами, легированные кремнием. Они называются силуминами.

- Эти сплавы имеют низкую температуру литья, хорошую жидкотекучесть, наибольшую чувствительность к образованию литейных пор, но пониженные механические свойства

Сплавы с повышенными механическими свойствами

- легируются магнием и медью, литейные свойства ниже, чем у силуминов.

Устойчивые против нагрева (жаропрочные)

Таблица 24 – Химический состав литейных алюминиевых сплавов,
%

Система сплава	Сплав	Mg	Si	Mn	Cu
Al-Si (высококремнистые силумины)	АЛ2	–	10,0–13,0	–	–
	АЛ4	0,17–0,30	8,0–10,5	0,25–0,5	–
Al-Si-Cu (низкокремнистые силумины)	АЛ5	0,35–0,6	4,4–5,5	–	1,0–1,5
	АЛ6	-	4,5–6,0	–	2,0–3,0
Al-Mg (магналии)	АЛ8	9,5–11,5	–	–	–
	АЛ13	4,5–5,5	0,8–1,3	0,1–0,4	–
Al-Cu	АЛ7	–	–	–	4,0–5,0
	АЛ19	–	–	0,6–1,0	4,5–5,3
Al-Mg-Cu-Ni	АЛ1	1,25–1,75	< 0,7	Fe < 0,8; Ni 1,25– 1,75; Zn < 0,3	3,75–4,5
Al-Zn (цинковистый силумин)	АЛ11	0,1–0,3	6,0–8,0		–

Применение алюминия и его сплавов в нефтяной, нефтехимической и газовой промышленности.

- Применение алюминиевых сплавов в металлоконструкциях значительно снижает их вес.
- Деформируемые алюминиевые сплавы марок АМг5, АМг6Е, АВ, Д16 могут использоваться в конструкциях узлов буровых станков (рам, ограждений, укрытий, емкостей для топлива).
- Применение в бурении легкосплавных труб уменьшает потребление электроэнергии, талевых канатов, тормозных колодок, снижает себестоимость 1 м проходки.
- применение сплава Д16Т для изготовления бурильных труб методом прямого прессования на горизонтальном гидравлическом прессе с поршневой системой с усилием 3500 т.

13-лекция. Никель и его сплавы

- Основные свойства никеля:
 - высокая химическая стойкость,
 - тугоплавкость
 - большая прочность, сочетающаяся с высокой пластичностью.

Со многими элементами никель образует (в большом диапазоне концентраций) сплавы, обладающие ценными механическими и физическими свойствами.

Никель характеризуется весьма высокой коррозионной стойкостью. Скорость коррозии никеля на открытом воздухе $0,0025 - 0,025$ мм/год.

Обычными примесями в техническом никеле являются:

- **железо** (до 0,7 %),
- **кобальт** (до 1 %),
- **медь** (до 0,6 %),
- кремний (до 0,2 %),
- **углерод** (до 0,3 %),
- **серы и кислород.**

Применение никеля и его сплавов в нефтяной и нефтехимической промышленности

- Никелевые сплавы широко применяются при производстве труб, лент, проволоки
- Никель и его сплавы из-за высокой стоимости и дефицитности сравнительно редко применяются в нефтяной и нефтехимической промышленности. Они используются только там, где металл должен обладать высокой коррозионной стойкостью в сочетании с хорошими механическими свойствами, высокой жаростойкостью и т. д.
- Так, для защиты морских буровых оснований от коррозии применяются защитные футляры из монель-металла, предохраняющие от разрушения стальные сваи в зоне с переменным уровнем морской воды (зона прилива и отлива).

14-лекция. Свинец и его сплавы

- *Свинец (Pb)* — химический элемент IV группы периодической системы элементов Д. И. Менделеева
 - > Порядковый номер — 82,
 - > Атомный вес $A = 207,21$.
 - > Кристаллическая решетка — кубическая гранецентрированная с периодом $d = 4,4927$ Å.
 - > Свинец характеризуется большим удельным весом ($\gamma = 11,34$ г/см³).

Свинец принадлежит к числу легкоплавких металлов (температура плавления 327,3 °С), характеризуется *низкой прочностью и высокой пластичностью*. Чаще его используют для футеровки некоторых аппаратов, покрытия жести с целью защиты от радиоактивных излучений, для кабельных изделий и т. д.

Таблица 25 - Механические свойства свинца

Марка	Вид обработки	Механические свойства				
		$\sigma_{в}$, МПа	$\sigma_{т}$, МПа	δ , %	Ψ , %	НВ
С0	прокатка	11	5	68	92-100	3 - 4,8
С3	прессовка	15	-	-	-	-

Применение свинца в нефтяной, нефтехимической и газовой промышленности.

- В нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности свинец применяется как защитный, а в ряде случаев как конструкционный материал. Так, из свинца изготавливают охлаждающие змеевики, предназначенные для охлаждения раствора серной кислоты до температуры $25-60$ °С, и трубы коммуникаций для ее перекачки.
- Свинец применяется в холодильниках для раствора сернокислого алюминия. Как показала практика, свинцовая обшивка после трехлетней эксплуатации не требовала ремонта или замены.
- Листовой свинец толщиной 3–4 мм используют на нефтеперерабатывающих заводах для обшивки кислотных мешалок, изготавливаемых на углеродистой стали.

15-лекция. **Цементы и бетоны**

- **Цементом** называется минеральное вяжущее, содержащее соединения кальция и способное при затвердевании превращаться в высокопрочный камень.
- Водный раствор цемента с добавками песка, щебня (гравия) или других специальных заполнителей и инертных добавок носит название бетонной смеси. Отвержденная бетонная смесь называется **бетоном**.

Цемент

```
graph TD; A[Цемент] --> B[Романцемент]; A --> C[Портландцемент]; B --> D[продукт обжига глинистых или магнезиальных мергелей с содержанием свыше 20% глинистых примесей, обожженных не до спекания]; C --> E[представляет собой продукт спекания либо искусственных смесей, содержащих углекислый кальций и глину, либо естественных горных пород мергелей аналогичного состава];
```

Романцемент

продукт обжига глинистых или магнезиальных мергелей с содержанием свыше 20% глинистых примесей, обожженных не до спекания

Портландцемент

представляет собой продукт спекания либо искусственных смесей, содержащих углекислый кальций и глину, либо естественных горных пород мергелей аналогичного состава

- Бетоны, предназначенные для строительства резервуаров, могут быть изготовлены на основе различных цементов, стойких к воздействию нефти, нефтепродуктов и агрессивных вод. К таким цементам следует отнести сульфатостойкий портланд-цемент, сульфатостойкий пуццолановый портланд-цемент, ангидритоглиноземистый цемент, гипсоглиноземистый цемент, глиноземистый ангидритошлаковый цемент. Бетоны, из которых сооружаются резервуары, должны быть не только прочными, но и обладать высокой степенью плотности, во избежание проницаемости легких фракций хранимых жидкостей. Кроме того, высокая плотность обеспечивает бетонам морозостойкость и стойкость к воздействию агрессивных вод.