

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
Санкт-Петербургский горный университет

Кафедра материаловедения и технологии художественных
изделий

МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫЕ

МАТЕРИАЛЫ

Методические указания к курсовой работе
для студентов бакалавриата направления 22.03.01

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
2021

УДК 620.22 (073)

МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ: Методические указания к курсовой работе / Санкт-Петербургский горный университет. Сост.: *О.Ю. Ганзуленко*. СПб, 2021. 23 с.

Методические указания охватывают основные разделы дисциплины, относящиеся к металлическим машиностроительным материалам, в соответствии с учебным планом и рабочей программой курсовая работа выполняется студентами в первом семестре прочтения дисциплины. Предложены варианты задач для выполнения расчетов и анализа характеристик материалов, широко применяемых в машиностроении, темы рефератов и библиографический список рекомендуемой литературы.

Предназначены для студентов бакалавриата направления 22.03.01 «Материаловедение и технологии материалов» по профилю «Материаловедение и технологии новых материалов» всех форм обучения.

Научный редактор проф. *Е.И. Пряхин*

Рецензент д-р. физ-мат. наук *С. И. Марков* (ООО "Испытательный центр конструкционных и строительных материалов")

© Санкт-Петербургский
горный университет, 2021

МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

***Методические указания к курсовой работе
для студентов бакалавриата направления 22.03.01***

Сост.: *О.Ю. Ганзуленко*

Печатается с оригинал-макета, подготовленного кафедрой
материаловедения и технологии художественных изделий

Ответственный за выпуск *О.Ю. Ганзуленко*

Лицензия ИД № 06517 от 09.01.2002

Подписано к печати 11.03.2021. Формат 60×84/16.
Усл. печ. л. 1,3. Усл.кр.-отт. 1,3. Уч.-изд.л. 1,1. Тираж 75 экз. Заказ 171.

Санкт-Петербургский горный университет
РИЦ Санкт-Петербургского горного университета
Адрес университета и РИЦ: 199106 Санкт-Петербург, 21-я линия, 2

ВВЕДЕНИЕ

Целью выполнения курсовой работы является решение конкретных инженерных задач, которые применяются при расчетах по выбору материала для изготовления реальных деталей машиностроительных конструкций, определение структурного класса сталей и сплавов в зависимости от комплекса легирования, принципов и особенностей маркировки материалов различных классов, выбору технологии их изготовления и обработки для обеспечения качественной работы в условиях эксплуатации.

Выполнение курсовой работы призвано способствовать закреплению, углублению и обобщению теоретических знаний в рамках изучения дисциплины «Машиностроительные материалы», дополнительно к изучению дисциплин «Теория и технология термической и химико-термической обработки», «Технология получения изделий в машиностроении», а также полученных студентами знаний ранее при изучении дисциплин «Химия», «Физика», «Сопrotивление материалов», «Механические и физические свойства материалов», «Теория строения материалов», и т.д.

Основной задачей выполнения курсовой можно считать получение студентом навыков самостоятельного пользования справочной и научно-технической литературы, изучение действующих норм и стандартов, а также умение применять современные технологические средства и вычислительную технику при проведении расчетов, при создании текстовой и графической документации.

ТЕМАТИКА И ОЦЕНКА КУРСОВОЙ РАБОТЫ

Тематика курсовой работы определяется особенностями изучаемой дисциплины «Машиностроительные материалы» и необходимостью охвата большей части содержания. Курсовая работа состоит из 5-ти отдельных самостоятельных составных частей (заданий), 4 из которых - расчётные контрольные задания, представляемые на проверку преподавателю (напрямую или по электронной почте), а 5-е – является заданием на самостоятельное написание текстовой реферативной работы, представляемой к публичной защите перед аудиторией одногруппников и аттестационной комиссией на оценку.

Оценка выставляется по результатам защиты реферата, полноты раскрытия тематики реферата, ответов студентом на дополнительные вопросы преподавателя и аудитории, правильности выполнения всех 5-ти составных частей курсовой работы, корректности ее оформления.

ЗАДАНИЯ НА КУРСОВУЮ РАБОТУ

Задание № 1

Привести полную письменную расшифровку марок машиностроительных материалов в соответствии с выбранным вариантом таблицы 1, указать номера ГОСТов, а при необходимости сопоставить старую и новую маркировку.

Номер варианта выбирается по сумме двух последних цифр шифра, либо по номеру в списке группы, а четный или нечетный вариант – по предпоследней цифре шифра.

Таблица 1

№ вари-анта	МАРКИ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ								
	0	40ХНМА	70С3ХМВА	АС30ХМ	18ХГТ	12Х12Н2ВМФ	16К	ЖС3	ВАД23
1 чет.	БСт3кп	08Х20Н14С2	Р18	СЧ 25	ХВСГ	АМг3	ВТ9Л	МЛ5	
1 неч.	16Г2АФ	Р0М2Ф3	ВСт5СП	СЧ 45	БрОФ6,5-0,15	15	Д18	МА19	
2 чет.	11Х11Н2В2МФ	8Х4В9Ф2-Ш	У11	ВЧ 45	БрА10Мц2Л	АМ5	ВТ1-0	МА14	
2 неч.	08Х17Т-Ш	Р6М5Ф2К8	ШХ19	КЧ 65-3	ЛК80-3	В95оч	ВТ22	МЛ8	
3 чет.	25ХГСА	БрОЦ4-3	ВК6	КЧ 55-4	37Х12Н8Г8МФБ	АМг61	ОТ4-0	МА1	
3 неч.	95Х18-Ш	50ХГ	Р0М3Ф2	АЧС-6	БрКМц3-1	АК7	ВТ20	МЛ10	
4 чет.	45ХН3МФА	20пс	ШХ9	АЧС-4	БрО4Ц7С5	ВК12	ОТ4-1	МА5	
4 неч.	08Х18Т1	У10А	30пс	ВЧ 45	БрО6Ц6С3	АК7ч	ПТ-3В	МА20	
5 чет.	10Х17Н13М2Т	Н18К9М	35ХГФ	АЧК-1	БрА7Мц15Ж3Н2Ц2	ВТ5-1	АЛ33	МЛ19	
5 неч.	Р12	13Х14НВ2ФР	Ст5пс3	СЧ 18	ЛЦ38Мц2С2	АМг2	ВТ3-1	МА11	
6 чет.	Ст5Гпс3	25Х13Н2	50Х	АЧВ 1	ЛС63-2	АМц	ВТ5	МА12	
6 неч.	ШХ15-Ш	07Х25Н13	ТТ7К12	КЧ 30-6	БрАЖНМц9-4-4-1	20Х	ВТ14	МА20	
7 чет.	8Х4В9Ф2-Ш	ШХ15-ВД	ЛА77-2	СЧ 10	16Х11Н2ВМФ	Д16	ВТ6Л	МА18	
7 неч.	У16А	20Х12ВНМФ	25сп	ВЧ 80	ЛО70-1	5ХНМ	ОТ4	МА1	
8 чет.	45Х22Н4М3	У12	ВСт2пс2	ВЧ 100	5ХНМ	АЛ25	ВТ14	МА2	
8 неч.	31Х19Н9МВБТ	3Х2В8Ф	45	КЧ 45-6	БрСу3Н3Ц3С20Ф0,2	Р9	ВТ16	МЛ5	
9 чет.	12ГН2МФАЮ	30Х3МФ	40ХФ	Т15К6	Н16К12М5Т2Ю	ВАД23	ВТ6	МА19	
9 неч.	12Х18Н9Т-ВИ	ШХ15ГС	ВТ20Л	АЧВ-5	ЛЦ38Мц2С2	АК12	40ХН	МА18	
10 чет.	18Х2Н4МФА	40Х13	15кп	7Х3	03Х13АГ19	60С2	ВТ9	МА14	
10 неч.	38ХН3МФА	3Х2В8Ф	Р12	АЧВ-2	ЛЖМц59-1-1	АД31	ВТ22	МЛ19	
11 чет.	12Х2Н4А	ВСт3пс	08кп	9ХС	БрО5Ц5С5	АК7Ц9	ОТ4-1	МА2	
11 неч.	ХН60ВТ	Р6М5	У13А	АЧК-2	ЛС59-1	Д18	ВТ15	МЛ10	
12 чет.	09Г2ФБ	ХН35ВТ	65Г	ХВГ	ЛЦ38Мц2С2	АМг6	ВТ6	МА18	
12 неч.	38Х2МЮА	ВСт4пс2	50Г	АЧС-3	Р6М5К5	Л68	ПТ-3В	МА14	
13 чет.	18ХГСН2МВ	18ХГТ	16Г2А	08Ю	БрОФ7,0-0,2	ВАД23	ОТ4-	МЛ8	

	А		Ф				1	
13 неч.	36X18H25C 2	BCr2кп	КЧ80- 1,5	БрБ2	БрАЖН10-4-4	АЛ2	ВТ9	МА1 8
14 чет.	12Г2СМФ	38ХНХМА	А40Г	40ХФЛ	70С2ХА	01420	ВТ5- 1	МЛ5
14 неч.	40ХМФА	P0M3Ф2	А40ХЕ	ВЧ 80	БрА7Мц15Ж3Н2 Л2	ВАД23	ВТ5	МЛ8
15 чет.	BCr5Гпс2	ХН77ТЮР	40Х2АФ Е	АС 40	10Х14Г14Н4Т	В95	ВТ20	МЛ1 0
15 неч.	09Г2С	P6M5Ф2К8	30Х13	ВТ14Л	БрА9Ж4Н4Мц1	АМг 6	СЧ45	МА2 1
16 чет.	15ХСНД	ШХ15-Ш	110Г13 Л	0Н9А	БрАЖНМц9-4-4- 1	АК6	ВТ14	МЛ8
16 неч.	09Х16Н4Б	BCr3Г	ШХ6	СЧ30	ЛЦ23АбЖ3Мц2	Д16Ч	ВТ16	МЛ1 9
17 чет.	30ХГС-Ш	09Г2ФБ	08Фкп	А40ХЕ	03Х13АГ19	АК8	ВТ6с	МА1 4
17 неч.	45ХНЗМФ- Ш	У10	Т15К6	ВЧ 70	ЛАМц77-2-0,05	АЛ23	ВТ5	МА1 8
18 чет.	4Х5МФС	ХВГ	А35Г2	МЛ5пч	45Х14Н14В2М	АК4- 1	ОТ4- 1	У8А
18 неч.	40ХНМА	70С3ХМВА	АС30Х М	18ХГТ	12Х12Н2ВМФ	16К	ЖС3	ВАД23

Задание № 2

Вычислить величину предела текучести горячекатаной стали с феррито-перлитной структурой, химический состав которой (в % по массе) содержит: **0,12%С; 0,3%Si; 1,5%Mn; 0,02%N; 0,2%Cu; 0,05%P; 0,1 %V.**

Варианты значений объемной доли дисперсных частиц карбонитридов f и их диаметры D указаны в таблице 2 и выбираются в соответствии с комбинацией последних цифр шифра зачетки студента для формирования индивидуального задания.

Таблица 2

Вариант	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
$f \times 10^3$	0,5	0,7	0,9	1,2	1,5	1,8	2,0	2,2	2,5	3,0	По последней цифре шифра
D , нм	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	По предпоследней цифре шифра

В процессе подготовки ответа на задание № 2 следует вспомнить и принимать во внимание некоторые общие металлургические понятия.

Прочность феррита сильно зависит от диаметра зерна d . Эта зависимость определяется соотношением Холла-Петча:

$\sigma_{\tau} = \sigma_0 + K_y \cdot d^{-1/2}$, где σ_0 - напряжение трения в решетке или предел текучести в отсутствии сопротивления со стороны границы зерна, т.е. предел текучести монокристалла, а K_y - коэффициент, характеризующий вклад границ зерен в упрочнение. Значение σ_i феррита зависит от твердорастворного упрочнения, плотности дислокаций, наличия дисперсных частиц, а K_y - от наличия примесей внедрения в твердом растворе, блокировки дислокаций примесями, угла разориентировки границ зерна. Для низкоуглеродистого феррита сталей технической чистоты значения K_y составляет 0,57...0,73 МПа·м^{1/2}, а для железа высокой чистоты 0,16...0,19 МПа·м^{1/2}. Таким образом, эффективность зернограницного упрочнения определяется степенью измельчения зерна т.е. чем меньше размер зерна, тем выше должна быть прочность феррита.

На предел текучести ферритно-перлитной стали оказывает влияние как природа (химический состав и качество выплавки), так и вся термическая деформационная предыстория твердого раствора – феррита, т.е. влияние оказывают напряжения трения в решетке α -железа σ_0 , твердорастворное упрочнение $\Delta\sigma_{тр}$, доля упрочнения за счет образования перлита $\Delta\sigma_{п}$, доля упрочнения за счет деформационного упрочнения $\Delta\sigma_{д}$, доля упрочнения за счет дисперсионного упрочнения $\Delta\sigma_{ду}$, а произведение $K_y \cdot d^{-1/2}$ представляет собой долю упрочнения за счет зернограницного упрочнения $\Delta\sigma_3$. Каждая из этих составляющих вносит свою долю в упрочнении стали.

Для большинства сталей и сплавов действует принцип аддитивности отдельных механизмов упрочнения, т.е. вклады отдельных механизмов в общее упрочнение суммируются, поэтому значение предела текучести можно рассчитать по формуле:

$$\sigma_{\tau} = \sigma_0 + \Delta\sigma_{тр} + \Delta\sigma_{п} + \Delta\sigma_{д} + \Delta\sigma_{ду} + \Delta\sigma_3, \quad (1)$$

где σ_0 – напряжение трения решетки α -Fe; $\sigma_{тр}$ – вклад твердорастворного упрочнения; $\sigma_{п}$ – упрочнение за счет образования перлита; $\sigma_{д}$ – деформационное упрочнение; $\sigma_{ду}$ – упрочнение дисперсными частицами избыточных фаз (дисперсионное упрочнение); σ_3 – зернограницное упрочнение.

Напряжение трения решетки, или напряжение Пайерлса-Набарро определяется свойствами решетки и сопоставимо с напря-

жением, которое должно быть преодолено дислокациями при движении их в очень крупных зернах, или, что более точно, с пределом текучести монокристаллов чистых металлов.

Напряжение трения решетки:

$$\sigma_0 = 2G \cdot 10^{-4}, \text{ МПа} \quad (2)$$

где $G = 84\,000$ МПа – модуль сдвига α -Fe.

Твердорастворное упрочнение обычно связывают в первую очередь с различием атомных диаметров растворителя и легирующих элементов. Атомы легирующих элементов, располагаясь вокруг покоящихся дислокаций, могут осуществлять их закрепление или оказывать сопротивление перемещению дислокаций, затрудняя их движение. Оба эффекта требуют повышения напряжения для пластической деформации. Закрепление дислокаций обуславливает появление площадки текучести на диаграмме растяжения. Сопротивление движению дислокаций не изменяет форму кривой деформации, но сдвигает ее к более высоким значениям напряжений при равной деформации.

В разбавленных твердых растворах, к которым относится большинство сталей, может быть принята линейная зависимость упрочнения от концентрации легирующих элементов. Твердорастворное упрочнение особенно эффективно при введении элементов внедрения. Такое действие углерода и азота объясняется асимметричным искажением кристаллической решетки и сильным взаимодействием атомов этих элементов с дислокациями, обусловленным осаждением на них растворенных атомов.

Упрочнение феррита за счет образования твдого раствора при легировании вычисляется в предположении аддитивного вклада элементов:

$$\sigma_{mp} = \sum k_i c_i, \text{ МПа}, \quad (3)$$

где c_i – содержание элемента в феррите, k_i – коэффициент упрочнения феррита.

При оценке упрочнения феррита по формуле 3 следует учитывать не общее содержание этого элемента в стали, а только кон-

центрацию легирующего элемента, растворенного в феррите. В области малых концентраций наибольшее упрочняющее влияние оказывают (С+N) и фосфор, тогда как хром, находящийся в феррите, в наименьшей степени упрочняет железо.

Основными легирующими элементами, целиком входящими в состав феррита и определяющими его твердорастворное упрочнение, являются не карбидообразующие элементы Si, Ni, Cu, слабый карбидообразователь Mn, который не образует самостоятельных карбидов, а также в небольших количествах (до 0,02 %) [С+N]. Такие карбидообразующие элементы, как Nb, V, Ti, находятся в связанном состоянии в специальных карбидах, Al полностью связан либо в нитридах, либо в неметаллических включениях, Cr и Mo распределены между карбидами и ферритом, но их влияние на упрочнение феррита невелико вследствие их малой концентрации.

При расчете $\Delta\sigma_{т.р.}$ следует принять, что содержание С и N (в сумме) в феррите составляет 0,03%; Si, Mn, P целиком растворены в феррите; Cu образует самостоятельную фазу и не участвует в упрочнении; V и остальное количество С и N входят в состав карбонитрида.

Таким образом, при расчете $\Delta\sigma_{т.р.}$ необходимо учитывать, что:

- содержание **С и N** (в сумме) в феррите составляет 0,03%;
- **Si, Mn, P** целиком растворены в феррите, а **Cu** образует самостоятельную фазу и не участвует в упрочнении;
- **V** и остальное количество **С и N** входят в состав карбонитрида.

Значения коэффициентов k_i (в МПа/1 % по массе) для расчётов по формуле (3) приведены в таблице 3:

Таблица 3

Элемент	C+N	P	Si	Ti	Al	Cu	Mn	Cr	Ni	Mo	V
k_i^{Φ} , МПа/1% (по массе)	4670	690	85	80	60	40	35	30	30	10	3

Упрочнение за счет перлита в низколегированных сталях

$$\sigma_n = 2.4Q_n, \text{ МПа}, \quad (4)$$

где $Q_{\text{п}}$ – объемное содержание перлита в стали, %.

Содержание объемной доли перлита находим, пользуясь правилом отрезков на диаграмме железо-цементит. При расчете количества перлита по формуле (4) следует принять, что содержание углерода в перлите (вследствие легирования Mn) составляет **0,7%**.

Упрочнение металлов при пластической деформации, или *дислокационное упрочнение* обусловлено образованием новых дислокаций и увеличением их плотности. Это приводит к тому, что перемещению дислокаций начинают препятствовать сами же дислокации.

Дислокационное упрочнение определяется плотностью дислокаций:

$$\Delta\sigma_{\delta} = KGb\rho^{1/2}, \text{ МПа}, \quad (5)$$

где K – параметр, равный произведению ориентационного фактора Шмида и параметра, характеризующего величину междислокационных взаимодействий; b – вектор Бюргера дислокаций в решетке α – Fe ($b = 0,25$ нм); ρ – плотность дислокаций (для горячекатаной стали можно принять $\rho = 10^9$ см⁻²).

Величина коэффициента K для сталей с ферритной основой в 1,5-2,5 раза меньше, чем для аустенитных сталей. Поэтому аустенитные стали в результате пластической деформации при одинаковой плотности дислокаций получают значительно большее упрочнение по сравнению с ферритными сталями. Для сталей на ферритной основе с учетом ориентационного множителя коэффициент K принимают равной **0,5**.

Принято считать, что упрочнение дисперсными частицами, или *дисперсионное упрочнение*, имеет наибольшее значение для цветных металлов, в частности для дуралюминов, сплавов на основе кобальта, никеля, меди. Однако, в последние годы разработаны новые сплавы на основе железа, прочность которых в значительной мере определяется дисперсионным твердением. Широкое применение нашли микролегированные конструкционные стали и мартенситостареющие стали.

Микролегированные конструкционные стали содержат небольшие количества Ti, V, Zr, Nb, которые образуют с углеродом и азотом твердые дисперсные частицы карбонитридов. Растворенный

в железе алюминий образует с азотом твердые частицы AlN.

Частицы второй фазы действуют как препятствия движению дислокаций в кристаллической решетке.

Механизм упрочнения феррито-перлитных сталей обусловлен тем, что деформация начинается в феррите, а перлитные колонии препятствуют движению дислокаций. Чем больше перлитной составляющей, чем выше ее дисперсность и меньше расстояние между отдельными пластинками цементита, тем выше степень упрочнения.

Дисперсионное упрочнение зависит от размера D , нм, и объемной доли f частиц:

$$\Delta\sigma_{dy} = 13 \cdot 10^3 \frac{f^{1/2}}{D} \ln\left(1.5 \frac{D}{f^{1/2}}\right), \text{ МПа} \quad (6)$$

Уменьшение размеров зерен способствует росту предела текучести. Движущиеся дислокации не могут пройти через границы зерен, и передача деформации происходит методом эстафеты — путем возбуждения дислокационных источников, расположенных по другую сторону границ.

При расчете доли дисперсионного упрочнения $\Delta\sigma_{dy}$ следует учитывать, что в формуле (6) диаметр частиц D указан уже в нанометрах (т.е. **пересчёта в метры не требуется**).

Зернограничное упрочнение определяется размером действительного зерна феррита, а влияние величины зерна на предел текучести может быть описано уравнением Холла - Петча:

$$\Delta\sigma_3 = k_y d_\phi^{-1/2}, \text{ МПа} \quad (7)$$

где k_y — коэффициент Холла-Петча для феррито-перлитных низкоуглеродистых сталей равен $0,65 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$; d_ϕ — размер зерна феррита.

Коэффициент k_y для аустенитных сталей имеет примерно вдвое меньшую величину, чем для феррито-перлитных сталей. Кроме того, благодаря фазовой перекристаллизации стали с ферритной основой имеют значительно меньший размер зерен.

Размер зерна феррита d_ϕ зависит от размера зерна аустенита и наличия частиц карбонитридных фаз.

В сталях легированных сильными карбидообразующими

элементами, средний размер ферритного зерна примерно в два раза меньше аустенитного:

$$d_{\phi} = \frac{d_A}{2}, \text{ м}, \quad (8)$$

где d_A – размер аустенитного зерна определяется количеством и размерами частиц карбонитридов:

$$d_A = \frac{4}{3} \cdot \frac{D}{2f}, \text{ м}. \quad (9)$$

Задание № 3

По данному химическому составу нержавеющей стали (таблица 4) определить ее структурный класс. Назначить режим термической обработки стали, привести уровень механических свойств. Указать область применения стали.

Номер варианта выбирается по сумме двух последних цифр шифра или по порядковому номеру в списке группе (принцип выбора варианта согласуется для всей группы единым на занятии с преподавателем).

Для определения структурного класса нержавеющей стали необходимо воспользоваться структурной диаграммой А. Шеффлера, которая может быть построена по данным, приведенным в таблице 5 и иметь габаритные размеры поля $\approx 100 \times 100$ мм.

Общий вид структурной диаграммы А. Шеффлера для коррозионностойких сталей представлен на рисунке 1.

Таблица 4

Номер варианта	Химический состав стали, % (ост. Fe)									
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Nb	Ti	N	Al
0	0,004	0,6	0,3	13,0	-	-	-	-	-	-
1	0,25	0,8	0,8	12,0	-	-	-	-	-	-
2	0,20	0,8	0,8	17,0	2,0	-	-	-	-	-
3	0,08	0,8	0,8	17,0	-	-	-	0,4	-	-
4	0,15	1,0	1,5	30,0	1,5	-	-	-	0,25	-
5	0,12	0,8	1,8	18,0	8,5	-	-	-	-	-
6	0,07	0,6	0,8	14,0	8,5	-	-	-	-	0,9
7	0,05	0,8	0,0	22,0	6,0	2,5	-	0,4	-	-
8	0,10	0,8	15,0	17,0	-	-	-	-	0,35	-
9	0,02	0,8	2,0	17,0	11,0	-	-	-	-	-
10	0,03	0,6	0,8	16,0	15,0	3,0	0,5	-	-	-
11	0,40	0,8	0,8	14,0	-	-	-	-	-	-
12	0,10	1,0	0,5	26,0	-	-	-	0,7	-	-
13	0,07	0,8	1,5	18,0	13,0	-	1,0	-	-	-
14	0,10	0,7	2,0	17,0	12,0	-	-	0,6	-	-
15	0,10	0,5	14,0	14,0	4,0	-	-	0,5	-	-
16	0,06	0,6	0,8	23,0	6,0	-	-	0,4	-	-
17	0,11	0,8	10,0	16,0	4,0	-	-	-	0,2	-
18	0,08	0,5	9,0	19,0	2,5	-	-	0,3	-	-

В расчётной части ответа на задание № 3 следует учесть, что при определении структурного класса стали с помощью диаграммы Шеффлера необходимо вычислить эквиваленты хрома ($Cr_{\text{экв}}$) и никеля ($Ni_{\text{экв}}$), которые характеризуют суммарное действие ферритообразующих и аустенитообразующих элементов в стали, соответственно, и подсчитываются по формулам:

$$Cr_{\text{экв}} = \%Cr + 1,4*\%Mo + 1,5*\%Si + 0,5*\%Nb + 2,0*\%Ti, \quad (10)$$

$$Ni_{\text{экв}} = \%Ni + \%Co + 0,5*\%Mn + 30*\%C + 30*\%N + 0,3*\%Cu, \quad (11)$$

где символы химических элементов обозначают их массовые доли, а числа – коэффициенты их активности.

Таблица 5

Точки	Координаты точек	
	Cr _{экв} , %	Ni _{экв} , %
A	2,6	0
B	0	7,5
C	7,5	0
D	34,5	30
E	12	0
F	40	9
G	20,5	2,8
H	0	19
K	26,4	4,7
L	0	25,5

Подсчитанные значения никелевого и хромового эквивалентов для заданной марки стали следует нанести на соответствующие координатные оси построенной структурной диаграммы. Из точек с полученными координатами структурных эквивалентов на осях восстановить перпендикуляры к осям, а по точке их пересечения определить структурный класс, к которому принадлежит данная марка стали.

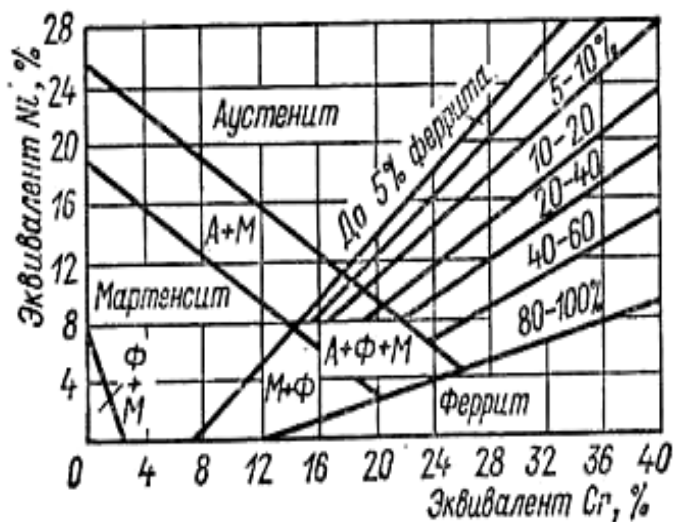


Рис. 1. Діаграма Шеффера

Знання хімічного складу та структурного класу сталі дозволяє орієнтовно вибрати її марку, назначити режим термічної обробки деталі (изделия), а також вказати рівень механічних властивостей та корозійної стійкості за даними, наведеними в літературних джерелах з рекомендованого списку.

Задання № 4

Дати визначення та привести приклади позначення межі пластичності, швидкості пластичності, визначення довготривалої міцності та приклад позначення межі довготривалої міцності (див. нижче розділ методических вказівок).

Використовуючи дані таблиці 6, графічно визначити **100**-годинну довготривалу міцність заданого (номером варіанта) жаропрочного матеріалу сплаву. Вибрати марку жаропрочного матеріалу, що відповідає вимогам.

Побудувати залежність довготривалої міцності від часу випробування при заданій (номером варіанта) температурі випробування T , °C та температурі на 100 градусів нижче заданої, т.с. ($T - 100$), °C.

Охарактеризовать и сравнить жаропрочные свойства материалов с заданными и полученными в результате расчетов свойствами, указать рекомендуемые режимы термической обработки и оптимальное структурное состояние, привести примеры областей применения жаропрочных материалов.

Номер варианта выбирается по сумме двух последних цифр шифра или по порядковому номеру в списке группе.

Таблица 6

Номер варианта	Температура испытания, T, °C	Разрушающее напряжение, σ , МПа, при длительности испытания τ , ч.	
		$\tau=20$	$\tau=50$
0	600	525	480
1	850	435	390
2	650	800	670
3	700	295	275
4	700	415	365
5	700	455	435
6	700	1095	955
7	750	200	145
8	800	345	290
9	850	525	415
10	900	290	245
11	900	325	245
12	900	480	390
13	950	130	110
14	950	265	230
15	1000	150	120
16	1000	250	220
17	1050	175	140
18	1100	110	107

При составлении ответа на задание № 4 необходимо учесть, что зависимость «напряжение – время» в двойных логарифмических координатах становится прямолинейной, поэтому следует начертить координатные оси зависимости « $\lg \sigma - \lg t$ » с габаритными размерами поля не менее, чем 140 x 140 мм. Для наиболее точных результатов расчетов рекомендуется строить графика этого задания на миллиметровой бумаге или же использовать специальную программу для построения графиков.

Для заданной вариантом температуры $T_{исп}$ можно вычислить

$\lg\sigma_{20}$ и $\lg\sigma_{50}$, а также $\lg\tau_{20}$ и $\lg\tau_{50}$ и по 2-м точкам провести прямую с экстраполированием в обе стороны, по которой для $\lg\tau_{100}$ можно найти $\lg\sigma_{100}$ и искомое σ_{100} , а также σ_{1000} σ_{10000} и т.д.

Для жаропрочных материалов разрушающее напряжение является функцией температуры и времени, причем для каждого данного значения разрушающего напряжения (нагрузки) выражение

$$\sigma(T) = T(20 + \lg\tau) = \text{const}, \quad (12)$$

где T – температура испытания (в °К), τ – время до разрушения образца, ч.

Используя это выражение можно определить время до разрушения при том же значении напряжения и какой-либо другой температуре испытания, т.е. при заданном σ_{20} приравнять $T(20 + \lg\tau_{20}) = (T - 100)(20 + \lg\tau_1)$, откуда найти τ_1 при σ_{20} и $(T - 100)$, а также найти τ_2 при σ_{50} и $(T - 100)$ соответственно.

Построить зависимость « $\lg\sigma - \lg\tau$ » для температуры $(T - 100)$ °С и по полученным данным значения предела длительной прочности можно также подобрать соответствующий материал.

Данные для выбора марки жаропрочного сплава по известным свойствам имеются в литературных источниках из рекомендуемого библиографического списка.

Задание № 5

Написать, представить на проверку и публично защитить реферативную работу на тему указанную в таблице 7.

Номер варианта выбирается по номеру списка группы, или, если имеются предпочтения к другой тематике, можно пересогласовать тему реферата из предложенного списка с преподавателем.

Таблица 7

№ варианта	ТЕМЫ РЕФЕРАТОВ
1.	Преобразования при отпуске закаленной легированной стали. Дисперсионное упрочнение закаленной легированной стали.
2.	Классификация и маркировка чугунов. Основные свойства и особенности маркировки легированных чугунов. Области применения в машиностроении

3.	Цементуемые и азотируемые стали, стали для нитроцементации и поверхностной закалки ТВЧ, их области применения в машиностроении.
4.	Классификация и маркировка литейных и деформируемых сплавов на алюминиевой и магниевой основе. Области применения в машиностроении.
5.	Низколегированные стали с повышенной прочностью и высокопрочные. Области применения в машиностроении.
6.	Металлургическое качество сталей. Классификация примесей. Методы очистки стали от вредных примесей и газов. Области применения в машиностроении.
7.	Особенности формирования структуры горячекатаных, термоулучшающих и термоупрочняемых сталей.
8.	Низкоуглеродистые ферритно-перлитные стали. Структура и свойства легированного феррита. Упрочнение ферритно-перлитных сталей при легировании. Области применения в машиностроении.
9.	Влияние легирующих элементов на критические точки железа и стали.
10.	Стали с карбонитридным упрочнением, особенности их легирования и обработки. Области применения в машиностроении.
11.	Классификация, маркировка, виды упрочняющей обработки и области применения литейных и деформируемых сплавов на медной основе.
12.	Подшипниковые стали общего и специального назначения. Классификация, маркировка, виды упрочняющей обработки. Области применения в машиностроении.
13.	Классификация, маркировка, виды упрочняющей обработки и области применения литейных и деформируемых сплавов бериллия.
14.	Коррозионностойкие (нержавеющие) стали ферритного и ферритно-мартенситного классов. Классификация, маркировка, легирование и термическая обработка. Области применения в машиностроении.
15.	Коррозионностойкие (нержавеющие) стали мартенситного и аустенитного классов. Классификация, маркировка, легирование и термическая обработка. Области применения в машиностроении.
16.	Пружинные стали общего и специального назначения. Классификация, маркировка, легирование и термическая обработка. Области применения в машиностроении.
17.	Жаростойкость, жаростойкие (окалиностойкие) стали и сплавы. Области применения в машиностроении.
18.	Стали для глубокого холода и криогенной техники.
19.	Машиностроительные стали для холодной штамповки и вытяжки.
20.	Жаропрочность и жаропрочные стали и сплавы. Области применения в машиностроении.

21.	Пружинные (в том числе теплостойкие, коррозионностойкие и немагнитные) материалы. Классификация, маркировка, легирование и термическая обработка. Области применения в машиностроении.
22.	Классификация, маркировка, виды упрочняющей обработки и области применения литейных и деформируемых сплавов на титановой основе. Области применения в машиностроении.
23.	Фазы и фазовые превращения в легированных сталях.
24.	Влияние легирования на прокаливаемость стали, термоулучшающие стали. Области применения в машиностроении.
25.	Низко- и среднелегированные теплостойкие (теплоустойчивые до 580-600°C) стали. Классификация, маркировка, структура и свойства. Области применения в машиностроении
26.	Износостойкость и износостойкие материалы в машиностроении.
27.	Влияние легирующих элементов на устойчивость переохлажденного аустенита к распаду. Диаграммы распада переохлажденного аустенита.
28.	Высоколегированные теплостойкие (до 600-620°C) стали. Классификация, маркировка, структура и свойства. Области применения в машиностроении.
29.	Высокопрочные и износостойкие стали. Области применения в машиностроении.
30.	Мартенситно-стареющие стали. Классификация, маркировка, легирование и обработка. Области применения в машиностроении.
31.	Стали строительные, арматурные и повышенной обрабатываемости (автоматные).
32.	Особенности, примеры маркировки и термообработки автоматных, шарикоподшипниковых и быстрорежущих сталей.

При написании ответа-реферата на задание № 5 необходимо соблюдать определенную последовательность и объём письменного изложения материала, а при составлении плана устного доклада выдерживать временные интервалы изложения (см. ниже таблицу № 8). Общий объём реферата должен составлять не менее 12 страниц. Время устной защиты реферата не должно превышать 8-10 минут.

Таблица 8

№ п/п	Название темы доклада (раздела, подраздела, пункта)	Кол-во страниц	Время доклада, мин.
1	Название темы доклада. Постановка задачи	0,50	0,5
2	Состав и маркировка. Привести марку и полный химический состав материала по ГОСТ. Определить роль и характер влияния каждого легирующего элемента на структуру и свойства. Определить структурный класс материала, объяснить принцип определения класса	1,5	1,5
3	Структурное состояние в исходном (равновесном) состоянии и после упрочняющей обработки. Объяснить механизм влияния структурных изменений на свойства	1,5	0,5
4	Технология упрочняющей обработки: описать и объяснить назначение каждой стадии техпроцесса	2,0	1,0
5	Уровень механических и физических характеристик до и после упрочняющей обработки	1,5	1,0
6	Влияние внешних воздействий: описать и объяснить причину устойчивости материала против них	0,5	0,5
7	Области практического применения материалов данного класса: привести названия или виды деталей, условия их эксплуатации, подобрать материалы-аналоги и заменители	1,5	1,5
8	Дефекты структуры: виды и возможные причины их появления, способы их предотвращения или устранения	1,5	1,5
9	Заключение: общая характеристика возможностей материала данного класса и перспектив его применения	0,5	0,5

Оформленный текст реферата студент представляет на получение рецензии преподавателю не позднее, чем за 10 дней до срока публичной защиты, исправляет замечания, после чего допускается к публичной защите. Также для защиты реферата необходимо подготовить презентацию.

Рекомендуемый библиографический список

1. *Пряхин Е.И.*: Материаловедение – ФГУП НТЦ "Информрегистр" Регист. Свид. № 38852, номер гос. Регистрации обязательного экз. Электронного издания - 0321500216 26.01.2015, 30 п.л.
2. *Солнцев Ю.П., Пряхин Е.И.* Материаловедение: Учебник для вузов. Изд. 4-е, перераб. и доп. - СПб.: ХИМИЗДАТ, 2007. 784 с.: ил.
3. *Солнцев Ю.П.* Специальные материалы в машиностроении: Учебник / Солнцев Ю.П., Пряхин Е.И., Пирайнен В.Ю. // СПб: Издательство «Лань», 2019. 664 с.: ил.
4. *Арзамасов, Б.Н.* Материаловедение: учебник для вузов по направлению подгот. и спец. в обл. техники и технологии / Арзамасов Б.Н., Макарова В.И., Мухин Г.Г. и др. – 4-е изд., стер. – М: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. 646 с.: ил.
5. Металлы и сплавы: справочник / В.К. Афонин, Б.С. Ермаков, Е.Л. Лебедев [и др.]; под ред. Ю.П. Солнцева СПб.: НПО «Профессионал», НПО «Мир и Семья», 2003. 1092 с.
6. Марочник сталей и сплавов / В. Г. Сорокин, А. В. Волосникова, С. А. Вяткин и др; Под общ. ред. В. Г. Сорокина. – М.: Машиностроение, 1989. 640 с.
7. *Ляхтин Ю.М., Леонтьева В.П.* Материаловедение: Учебник для высших технических учебных заведений. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1990. 528 с.
8. *Гуляев А.П.* Металловедение: Учебник для вузов, 6-е изд., перераб. и доп. – М.: Металлургия, 1986. 544 с.
9. Специальные стали. Учебник для вузов. Гольдштейн М. И., Грачев С. В., Векслер Ю. Г. – М.: Металлургия, 1985. – 408 с.
10. *Химушин Ф.Ф.* Жаропрочные стали и сплавы / Издание 2-е, перераб. и доп. // М.: Металлургия, 1969. – 752 с.
11. *Белов, В.А.* Металловедение сварки конструкционных сталей : учебное пособие / В. А. Белов, В. Ю. Турилина, С. О. Рогачев. – Москва : МИСИС, 2019. – 134 с. – ISBN 978-5-907061-64-4. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/128987> (дата обращения 12.10.2020)
12. *Богодухов, С.И.* Курс материаловедения в вопросах и ответах : учебное пособие / С. И. Богодухов, А. В. Синюхин, Е. С. Козик. – 4-е, изд. – Москва : Машиностроение, 2014. 352 с. – ISBN 978-

5-94275-750-2. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/63212> (дата обращения 12.10.2020)

13. *Галимов, Э.Р.* Современные конструкционные материалы для машиностроения : учебное пособие / Э. Р. Галимов, А. Л. Абдуллин. – 3-е изд., стер. – Санкт-Петербург : Лань, 2020. 268 с. – ISBN 978-5-8114-4864-7. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/126707> (дата обращения 12.10.2020)

14. *Лилеев, А.С.* Фазовые равновесия и структурообразование : Превращения в твердом состоянии в металлах и сплавах : учебное пособие / А. С. Лилеев, Е. С. Малютина, А. С. Старикова. – Москва : МИСИС, 2010. 88 с. – ISBN 978-5-87623-385-1. –Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/117154> (дата обращения 12.10.2020)

15. <http://www.profprokat.ru/content/view/1313> (дата обращения 12.10.2020)

16. http://www.naukaspb.ru/spravochniki/Demo%20Metall/2_12.htm (дата обращения 12.10.2020)

17. <https://mash-xxl.info/page/213112173177032220155018104183181032178057252178/> (дата обращения 12.10.2020)

18. <https://viam.ru/alloys> (дата обращения 12.10.2020)

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
Тематика курсовых работ.....	4
Задания на курсовую работу.....	4
Задание № 1.....	4
Задание № 2.....	5
Задание № 3.....	12
Задание № 4.....	15
Задание № 5.....	17
Рекомендуемый библиографический список.....	21