

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
**«Владимирский государственный университет
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»
(ВлГУ)**

Институт машиностроения и автомобильного транспорта

Кафедра технологии функциональных и конструкционных материалов

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
к практическим работам по дисциплине
«ТЕОРИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ»
для направления подготовки
22.04.02 «Металлургия» (уровень магистратуры)

Составитель:
Л.В. Картонова

Владимир – 2018 г.

УДК 620.22

Рецензент:

*Кандидат технических наук,
доцент кафедры «Технология машиностроения»
Жданов Алексей Валерьевич*

Методические указания к практическим работам по дисциплине «Теория и технология термической обработки» для направления подготовки 22.04.02 «Металлургия» (уровень магистратуры)/ Владим. гос. ун-т; Сост.: Л.В.Картонова. Владимир. 2018. - 30 с.

Содержит методические указания к практическим работам по дисциплине по дисциплине «Теория и технология термической обработки». Разработано для студентов ВлГУ, обучающихся по направлению 22.04.02 «Металлургия» (уровень магистратуры)

Библиогр.: 20 назв.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Целью дисциплины «Теория и технология термической обработки» является формирование теоретических и практических знаний в области термической обработки, научных основ выбора видов и режимов термической обработки в условиях производства для достижения требуемых свойств.

В результате освоения данной дисциплины у студентов формируются основные общекультурные, общепрофессиональные и профессиональные компетенции, отвечающие требованиям ФГОС ВО к результатам освоения ОПОП ВО по направлению 22.04.02 «Металлургия» по программе подготовки «Прогрессивные технологии плавки и литья специальных сплавов».

Таблица 1. Требования к результатам освоения программы магистратуры

Код	Требования к результатам освоения программы магистратуры
ОК-11	Готовность использовать фундаментальные знания в профессиональной деятельности
ОПК-9	Способность проводить экспертизу процессов, материалов, методов испытаний
ПК-1	Способность управлять реальными процессами обогащения и переработки сырья, получения и обработки металлов

В результате освоения дисциплины «Теория и технология термической обработки» обучающийся должен демонстрировать следующие результаты образования:

Знать: физическую сущность явлений, происходящих в материалах в условиях производства под воздействием внешних факторов (нагрева, охлаждения и др.), их влияния на структуру, а структуры на свойства современных металлических материалов (ОК-11); научные основы выбора видов и режимов термической обработки в условиях производства для достижения требуемых свойств (ОПК-9; ПК-1).

Уметь: приобретать новые знания и умения; использовать фундаментальные знания в профессиональной деятельности (ОК-11); назначать обоснованные режимы термической обработки для достижения требуемых свойств (ОПК-9; ПК-1).

Владеть: способностью проводить экспертизу процессов, материалов, методов испытаний (ОПК-9), приемами основных видов термической и химико-термической обработки (ОК-11, ПК-1).

Практические занятия являются формой групповой аудиторной работы в небольших группах для освоения практических навыков с целью формирования компетенций, необходимых для освоения основной образовательной программы.

В таблице 2 приведен перечень, выполняемых работ.

Таблица 2. Перечень тем практических занятий

№ п/п	Наименование практических занятий	Формируемые компетенции
1.	Установление технологических параметров охлаждения деталей при закалке и выбор закалочной среды	ОК-11; ОПК-9; ПК-1
2.	Металловедение и термическая обработка алюминиевых сплавов	ОК-11; ОПК-9; ПК-1
3.	Металловедение и термическая обработка медных сплавов	ОК-11; ОПК-9; ПК-1
4.	Металловедение и термическая обработка титановых сплавов	ОК-11; ОПК-9; ПК-1
5.	Металловедение и термическая обработка никелевых сплавов	ОК-11; ОПК-9; ПК-1

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 1

Определение технологических параметров охлаждения деталей при закалке и выбор закалочной среды

Цель работы: изучить особенности термической обработки конструкционных легированных сталей общего и специализированного назначения, причины возникновения дефектов, возникающих при термической обработке, и меры их предупреждения.

Задания

1. Изучить особенности термической обработки сталей общего и специализированного назначения.
2. Изучить причины возникновения дефектов, возникающих при термической обработке сталей общего и специализированного назначения.
3. Изучить меры предупреждения дефектов, возникающих при термической обработке сталей общего и специализированного назначения.
4. Определить группу, область применения, химический состав, влияние легирующих элементов указанной преподавателем стали (приложение 1).
5. Назначить оптимальную термическую обработку с указанием режимов и охлаждающих сред, определить достигаемые механические свойства. Описать протекающие при этом превращения.
6. Описать дефекты, возникающие при термической обработке в указанной стали, и меры их предупреждения.
7. Ответить на контрольные вопросы.
8. Составить отчет.

Общие положения

Термической обработкой можно получить желаемые свойства стали за счет изменения ее внутреннего строения и структура. Термическая обработка состоит из ряда процессов, сопровождающихся нагревом, выдержкой и охлаждением, и характеризуется следующими режимами: температурой нагрева, скоростью нагрева, временем выдержки и скоростью охлаждения.

Согласно классификации А.А. Бочвара в зависимости от фазовых (структурных) превращений все процессы термообработки стали можно разделить на четыре группы.

Первая группа включает в себя процессы нагрева металла и сплавов для устранения неустойчивого состояния (наклепа), возникающего вследствие предварительной обработки методами холодной пластической деформации. Данная группа видов термообработки основана на процессах возврата, рекристаллизации и гомогенизации (отжиг первого рода).

Вторая группа характеризуется тем, что для получения устойчивого состояния сплава нагревают выше температуры превращения с последующим медленным охлаждением. Этот вид термообработки основан на фазовых превращениях (отжиг второго рода).

К третьей группе относятся процессы нагрева сплава выше температуры фазовых превращений с последующим быстрым охлаждением (закалка). При этом фиксируется переохлажденное неустойчивое состояние.

Четвертая группа включает в себя процессы нагрева закаленных сплавов ниже температуры фазового превращения с последующей выдержкой и охлаждением для получения устойчивого состояния. Данная группа видов термообработки основана на процессах распада структур после закалки (отпуск).

На основе классификации А. А. Бочвара Комиссией по стандартизации Совета Экономической Взаимопомощи были разработаны классификация видов и разновидностей термической обработки металлов и сплавов и соответствующая терминология.

Согласно данной классификации, термическую обработку подразделяют на

- собственно термическую обработку (термическое воздействие на металл или сплав): отжиг 1-го рода, отжиг 2-го рода, закалку с полиморфным превращением, закалку без полиморфного превращений, отпуск и старение. Эти виды термической обработки относятся и к сталям, и к цветным металлам и сплавам;
- химико-термическую обработку (сочетание термического и химического воздействия);
- деформационно-термическую обработку (сочетание термического воздействия и пластической деформации).

К отжигу 1-го рода относятся рекристаллизационный (низкий) отжиг, диффузионный отжиг (гомогенизация), отжиг для снятия внутренних напряжений; к отжигу 2-го рода – полный отжиг, неполный отжиг, изотермический отжиг, нормализационный отжиг (нормализация).

Выделяют закалку с полиморфным превращением и закалку без полиморфного превращений. В зависимости от температуры нагрева в сталях различают полную и неполную закалку.

Химико-термическая обработка включает в себя следующие процессы: цементация, азотирование, нитроцементация, цианирование, борирование, силицирование, алитирование и хромирование.

Деформационно-термическая обработка подразделяется на термомеханическую ТМО (деформация осуществляется до превращения) и механико-термическую обработку МТО (деформация осуществляется после превращения).

В процессе закалки при охлаждении из-за разницы температур по сечению и неодинакового времени протекания фазовых превращений в разных участках металлических деталей возникают внутренние напряжения, которые подразделяют на:

- *Внутренние напряжения первого рода* возникают между отдельными зонами сечения и между различными частями детали (зональные термические напряжения). Данный вид напряжений зависит от скорости охлаждения.

- *Внутренние напряжения второго рода*, возникающие между отдельными фазами (внутри зерна или между соседними зернами) вследствие того, что у них разные коэффициенты линейного расширения, или из-за образования новых фаз, имеющих неодинаковые объемы (структурные или фазовые напряжения).
- *Внутренние напряжения третьего рода* возникают внутри объема порядка нескольких элементарных ячеек кристаллической решетки. При этом наблюдаются упругие искажения кристаллической решетки.

При термообработке вследствие изменения удельного объема стали при фазовых превращениях в процессе закалки и в результате изменения размеров и форм деталей под действием термических и структурных напряжений возникает деформация деталей, возможно образование трещин.

Величина удельного объема зависит от химического состава сплава, прокаливаемости и скорости охлаждения.

Прокаливаемость оценивается величиной критического диаметра. Под критическим диаметром понимают максимальный диаметр сечения образца сквозной закалки в определенной охлаждающей среде.

Для снижения структурных напряжений необходимо замедлить скорость охлаждения ниже точки M_n и избегать перегрева стали.

В зависимости от технологии выполнения закалку можно проводить следующими способами:

1. *Закалка в одном охладителе* – самый простой и распространенный способ закалки, который применяется для несложных деталей. Детали погружают в охладитель до их полного остывания. В качестве охладителя применяют воду (для углеродистых сталей) и минеральные масла (для легированных сталей). Данный способ закалки приводит к возникновению значительных внутренних напряжений. Крупные детали можно охлаждать струей воды (*струйчатая закалка*), что предотвращает образование паровой рубашки и обеспечивает более глубокую прокаливаемость, чем простая закалка в воде.

2. *Закалка с подстуживанием* проводится с целью уменьшения внутренних напряжений: детали перед погружением в закалочную среду выдерживают на воздухе, «подстуживают», что требует высокой квалификации термиста.

3. *Прерывистая закалка или закалка в двух охладителях* также позволяет снизить внутренние напряжения: детали сначала охлаждаются в воде до 300-350°C, а в мартенситном интервале температур следует более медленное охлаждение в масле или на воздухе. Недостатком данного способа закалки является трудность определения времени пребывания детали в первом охладителе и хорошей отладки процесса. Прерывистую закалку можно применять для инструмента, изготовленного из высокоуглеродистых сталей. Данный способ также требует высокой квалификации термиста.

4. *Ступенчатая закалка* производится быстрым погружением нагретых деталей в горячую среду, например в расплавленный металл с температурой немного выше мартенситной точки. После небольшой выдержки для выравнивания температуры по всему сечению следует медленное охлаждение на воздухе до обычной температуры. При таком способе закалки снижаются внутренние напряжения первого рода, поэтому уменьшаются закалочная деформация и коробления. Ступенчатую закалку используют для мелких деталей из углеродистой стали, поскольку у крупных деталей скорость охлаждения в зоне малой устойчивости аустенита может быть недостаточной.

5. *Изотермическая закалка*: в отличие от ступенчатой закалки выдержка продолжается до полного распада аустенита. При этом способе закалки образуется бейнитная структура, отличающаяся высокой твердостью при несколько меньшей хрупкости, чем у мартенсита.

Выбор оптимального способа закалки определяется составом стали, формой и размерами детали. Чем сложнее деталь и чем больше различие в сечениях детали, тем большие внутренние напряжения возникают в ней при охлаждении.

Закалочная среда определяет скорость охлаждения при закалке. В таблице 3 приведены скорости охлаждения в различных средах [19, с. 272].

Таблица 3. Скорость охлаждения сталей в различных закалочных средах, °C/с

Закалочная среда	Интервал температур, °C	
	650 – 550	300 – 200
Вода, 18 °C	600	270
Вода, 50 °C	100	270
10%-ный раствор NaOH в воде	1200	300
10%-ный раствор NaCl	1100	300
Минеральное масло	100 – 150	20 – 50
Спокойный воздух	3	1
Полимерная закалочная среда ПК-2	300 – 550	50 – 100
Полимерная закалочная среда ВП-3	300 – 550	50 – 100

Неправильно проведенная закалка может вызвать различные дефекты.

- *Деформация, коробления и трещины* возникают в результате действия внутренних напряжений. При конструировании термически упрочняемых деталей необходимо придать им наиболее технологическую форму без острых углов, резких переходов и т.п. Более сложные по форме детали целесообразно изготавливать из легированных сталей.

- *Недостаточная твердость* закаленной детали объясняется недогревом или недостаточно интенсивным охлаждением.

- *Образование мягких пятен* может объясняться также следствием недостаточного прогрева или недостаточно интенсивного охлаждения, кроме этого возникновение данного вида дефектов может быть вызвано неоднородностью исходной структуры или нарушением технологии процесса.

- *Повышенная хрупкость* обычно появляется в результате закалки от слишком высоких температур (перегрева), что вызывает значительный рост зерен аустенита.

- *Окисление и обезуглероживание* поверхности наблюдается при нагреве в печах (плазменных или электрических) без контролиро-

емой атмосферы. Устранение или уменьшение этого дефекта достигается нагревом в солях, а также использованием термических печей с контролируемой искусственной атмосферой.

Содержание отчета

1. Название, цель работы и задание.
2. Задание (приложение 1) по варианту, указанному преподавателем.

Контрольные вопросы

1. Сравните действие полного и неполного отжига на структуру и свойства углеродистых сталей.
2. Что такое нормализация? В чем заключается отличие нормализации от полного отжига?
3. Сравните действие полной и неполной закалки на структуру и свойства углеродистых сталей.
4. Какое химическое действие при высокой температуре оказывает окружающая среда на металл?
5. Какие охлаждающие среды вы знаете?
6. Что такое прокаливаемость? Каким образом увеличить прокаливаемость?
7. Какими способами можно проводить закалку? Чем отличается изотермическая закалка от ступенчатой?
8. Какие дефекты возникают при закалке? Что вызывает повышенную твердость стали?
9. Как предотвратить окисление и обезуглероживание поверхности стали?
10. Приведите примеры технологических приемов уменьшения деформации при термической обработке.
11. Что такое улучшение? Какие стали подвергаются улучшению?
12. Какие виды химико-термической обработки вы знаете?

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 2

Металловедение и термическая обработка алюминиевых сплавов

Цель работы: изучение металловедения и оптимальной термической обработки алюминиевых сплавов.

Задания

1. По литературным источникам изучить влияние примесей на свойства алюминиевых сплавов.
2. Для указанного преподавателем алюминиевого сплава определить группу сплава и его химический состав. Описать влияние примесей и легирующих элементов для указанного сплава. Показать диаграммы состояния данных примесей и легирующих элементов с алюминием.
3. Описать область применения данного сплава.
4. Изучить возможную термическую обработку для данного сплава, описать её, указать достигаемые механические и технологические свойства.
5. Сделать заключение об оптимальных режимах термической обработки для указанного сплава.
6. Описать дефекты, возникающие при термической обработке в указанном сплаве и меры их предупреждения.
7. Ответить на контрольные вопросы.
8. Составить отчет.

Общие положения

Сплавы на основе алюминия обладают высокими механическими свойствами и малой плотностью, что обеспечивает значительную удельную прочность

$$\sigma_{\gamma} = \frac{\sigma_B}{\gamma},$$

где γ – удельный вес.

Удельный вес, как известно, определяется следующим произведением:

$$\gamma = \rho g,$$

где ρ – плотность, г/см³; g – ускорение свободного падения, $g = 9,81$ м/с².

Количество легирующих элементов и их сочетание зависит от назначения сплавов.

Все сплавы алюминия можно разделить на

- деформируемые сплавы, предназначенные для получения полуфабрикатов (прутков, профилей, труб, листов и т.п.), поковок, штампованных заготовок;

- литейные сплавы, предназначенные для фасонного литья.

Разновидностью деформируемых сплавов являются спеченные сплавы, получаемые методами порошковой металлургии.

Деформируемые и литейные сплавы подразделяют на

- сплавы, неупрочняемые термической обработкой,
- сплавы, упрочняемые термической обработкой.

Химический состав и свойства наиболее применяемых алюминиевых сплавов приведены в табл. 4 [19, с. 496].

К литейным сплавам относятся сплавы на основе системы Al-Si (силумины). Для них характерны малые температурные интервалы кристаллизации и хорошие литейные свойства. Также в качестве литейных сплавов применяют сплавы на основе систем Al-Cu, Al-Mg, Al-Cu-Mg, Al-Cu-Mg-Ni, Al-Zn-Mg и другие сложные сплавы. Данные сплавы по составу близки к деформируемым, но, как правило, отличаются более высоким содержанием легирующих элементов (меди, магния), тугоплавких добавок (титана, никеля) и примесей (железа).

Двойные силумины относятся к числу термически неупрочняемых сплавов, поэтому обладают невысокими прочностными свойствами. Повышение прочности и пластичности таких сплавов достигается модифицированием структуры малыми добавками щелочных металлов, как правило в виде солей. Натрий обычно вводят в виде смеси солей: $2/3\text{NaF} + 1/3\text{NaCl}$. Присутствие натрия в системе Al-Si не только

приводит к резкому измельчению структуры кристаллов эвтектики. Но и вызывает сдвиг эвтектической точки в сторону более высоких концентраций кремния.

Таблица 4

Химический состав и свойства алюминиевых сплавов

Марка сплава	Содержание элементов, %				Режим термообработки	Механические свойства		
	Cu	Mg	Mn	Прочие		σ_b , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %
Литейные сплавы								
АК12 (АЛ2)	–	–	–	10 – 13 Si	Литье в землю	180	80	6
					Литье в кокиль	220	90	5
АК9 (АЛ4)	–	0,17 – 0,3	0,2 – 0,5	8 – 10 Si	Литье в землю (закалка – старение)	260	200	4
АМ5 (АЛ19)	4,5 – 5,3	–	0,6 – 1,0	0,15 – 0,35 Ti	Литье в землю (закалка – старение)	360	250	3
Деформируемые сплавы, не упрочняемые термической обработкой								
Амц	0,1	0,2	1,0 – 1,6	–	Отжиг	130	50	20
Амг2	0,1	1,8 – 2,6	0,2 – 0,6	–	Отжиг	190	100	23
Амг5	0,1	5,8 – 6,8	0,5 – 0,8	–	Отжиг	340	170	20
Деформируемые сплавы, упрочняемые термической обработкой								
Д1	3,8 – 4,8	0,4 – 0,8	0,4 – 0,8	–	Закалка + старение	400	240	20
Д16	3,8 – 4,9	1,2 – 1,8	0,3 – 0,9	–	Закалка + старение	440	330	18
В95	1,4 – 2,0	1,8 – 2,8	0,2 – 0,6	0,01 – 0,25 Cr 5 – 7 Zn	Закалка + старение	540	470	10
В96	2,0 – 2,6	2,3 – 3,0	0,3 – 0,8	8 – 9 Zn	Закалка + старение	750	720	7
АК6	1,8 – 2,6	0,4 – 0,8	0,4 – 0,8	0,7 – 1,2 Si	Закалка + старение	400	300	12

К деформируемым сплавам, неупрочняемым термической обработкой относятся сплавы системы Al-Mn и Al-Mg. Эти сплавы харак-

теризуются невысокой прочностью, ненамного превышающей прочность алюминия, но имеют высокую пластичность и коррозионную стойкость. Повышение прочности при некотором уменьшении пластичности достигается нагартовкой.

Наиболее применяемыми в деформированном виде среди алюминиевых сплавов, упрочняемых термической обработкой, являются дуралюмины. К ним относятся сплавы системы Al-Cu-Mg. Кроме этого в дуралюмины вводят марганец, а также присутствуют железо и кремний, которые являются постоянными примесями. Перечисленные компоненты образуют ряд растворимых соединений (CuAl_2 , фаза S (Al_2CuMg), Mg_2Si), вызывающих старение. Также в структуре присутствуют нерастворимые железистые и марганцовистые соединения.

Изделия из дуралюмина, как правило, подвергают закалке и естественному старению, так как оно обеспечивает более высокую коррозионную стойкость.

Следует иметь в виду, что необходимо соблюдать рекомендованную температуру нагрева под закалку во избежание пережога и обеспечить высокую скорость охлаждения.

Содержание отчета

1. Название, цель работы и задание.
2. Задание (приложение 1) по варианту, указанному преподавателем.

Контрольные вопросы

1. Какова классификация сплавов на основе алюминия?
2. Какие алюминиевые сплавы вы знаете? Их свойства.
3. Влияние примесей и легирующих элементов на свойства алюминиевых сплавов.
4. Каким образом упрочняют двойные силумины?
5. К какой группе сплавов относятся сплавы системы Al-Mn и Al-Mg? Как упрочняют данные сплавы?

6. Почему необходимо жестко соблюдать температуру закалки дуралюминов?
7. Какая структура образуется после закалки? Как при этом изменяются механические свойства?
8. Охарактеризуйте преимущества естественного старения дуралюмина.
9. Какие виды дефектов возникают при термической обработке алюминиевых сплавов?

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 3

Металловедение и термическая обработка медных сплавов

Цель работы: изучение металловедения и оптимальной термической обработки медных сплавов.

Задания

1. По литературным источникам изучить влияние примесей на свойства медных сплавов.
2. Для указанного преподавателем медного сплава определить группу сплава и его химический состав. Описать влияние примесей и легирующих элементов для указанного сплава. Показать диаграммы состояния данных примесей и легирующих элементов с медью.
3. Описать область применения данного сплава.
4. Изучить возможную термическую обработку для данного сплава, описать её, указать достигаемые механические и технологические свойства.
5. Сделать заключение об оптимальных режимах термической обработки для указанного сплава.
6. Описать дефекты, возникающие при термической обработке в указанном сплаве и меры их предупреждения.

7. Ответить на контрольные вопросы.
8. Составить отчет.

Общие положения

Сплавы на основе меди обладают хорошими механическими, технологическими и антифрикционными свойствами, устойчивы к коррозии.

По химическому составу медные сплавы классифицируют на

- латуни,
- бронзы,
- медно-никелевые сплавы.

Латунями называют сплавы на основе меди, в которых основным легирующим элементом является цинк. С повышением содержания цинка увеличивается прочность и пластичность. Относительное удлинение достигает максимального значения при 30-32% цинка, затем резко снижается. Технические латуни содержат до 40-45%. В зависимости от содержания цинка латуни подразделяют на α -латуни и $\alpha+\beta$ -латуни.

С целью повышения механических и технологических свойств, а также коррозионной стойкости латуни легируют Al, Fe, Sn, Si, Ni, Mn, Pb и др.

В промышленности применяются деформируемые и литейные латуни (табл. 5) [19, с. 524]. Латуни, особенно α -латуни, хорошо обрабатываются давлением, поэтому они широко применяются для получения листов, лент, профилей, штампованных заготовок и т.п. Литейные латуни мало склонны к ликвации, имеют хорошую жидкотекучесть и склонны к образованию концентрированной усадочной раковины. Это связано с узким интервалом между этими линиями ликвидус и солидус.

Таблица 5

Химический состав и механические свойства
некоторых марок латуней

Марка латуни	Структура	Содержание, %		$\sigma_{\text{в}}$, МПа	δ , %
		Cu	Легирующие элементы		
Деформируемые латуни					
Л90	α	88 – 91	–	260	45
Л80	α	79 – 81	–	320	52
Л62	$\alpha + \beta$	62 – 65	–	330	50
ЛС59-1	$\alpha + \beta$	57 – 60	0,8 – 1,9 Pb	400	45
ЛЖМц59-1-1	$\alpha + \beta$	57 – 60	0,6 – 1,2 Fe; 0,1 – 0,4 Al; 0,3 – 0,7 Sn; 0,5 – 0,8 Mn	450	50
ЛАЖ60-1-1	$\alpha + \beta$	58 – 61	0,75 – 1,5 Al; 0,75 – 1,5 Fe; 0,1 – 0,6 Mn	450	45
Литейные латуни					
ЛЦ16К4	$\alpha + \beta$	78 – 81	3,0 – 4,5 Si	300	15
ЛЦ40Мц3Ж	$\alpha + \beta$	53 – 58	3,0 – 4,0 Mn; 0,5 – 1,5 Fe	500	10
ЛЦ23А6Ж3Мц2	$\alpha + \beta$	64 – 68	4,0 – 7,0 Al; 2,0 – 4,0 Fe; 1,5 – 3,0 Mn	700	7

Медно-никелевые сплавы характеризуются особыми электротехническими свойствами, они высокой коррозионной стойкостью и имеют хорошие механическими свойствами, хорошо обрабатываются давлением, как в горячем, так и в холодном состоянии. В качестве конструкционных материалов медно-никелевые сплавы имеют ограниченное применение.

Бронзами называют все сплавы меди, кроме латуней и медно-никелевых сплавов. По химическому составу бронзы подразделяют на оловянные и безоловянные (специальные). Влияние олова на механические свойства меди аналогично влиянию цинка, однако пластичность начинает падать уже при 5%. Безоловянные бронзы принято подразделять по главному легирующему элементу (алюминиевые, кремнистые, свинцовые и т.п.). Для улучшения свойств бронзы подвергаются термической обработке: отжигу, закалке и отпуску или пластическому деформированию (нагартовка).

По технологии получения различают деформируемые (обрабатываемые давлением) и литейные бронзы (табл. 6 [19, с. 527]).

Таблица 6

**Химический состав и механические свойства
некоторых марок оловянных бронз**

Марка сплава	Содержание, %				σ _в , МПа	δ, %
	Sn	Zn	Pb	P		
Бронзы, обрабатываемые давлением						
БрОФ4-0,25	3,5 – 4,0	–	–	0,2 – 0,3	340	52
БрОФ6,5-0,15	6 – 7	–	–	0,1 – 0,25	400	65
БрОЦ4-3	3,5 – 4,0	2,7 – 3,3	–	–	350	40
Литейные бронзы						
БрО10Ф1	9 – 11	–	–	0,4 – 1,1	250	7
БрО5Ц5С5	4 – 6	4 – 6	4 – 6	–	180	4
БрО6Ц6С2	5 – 7	5 – 7	1 – 3	–	–	–

Содержание отчета

1. Название, цель работы и задание.
2. Задание (приложение 1) по варианту, указанному преподавателем.

Контрольные вопросы

1. Как классифицируются медные сплавы?
2. Влияние примесей и легирующих элементов на свойства меди и её сплавов.
3. Как влияет цинк на свойства латуней?
4. Какие бронзы относятся к специальным бронзами?
5. Возможная термическая обработка медных сплавов.
6. Какие виды дефектов возникают при термической обработке медных сплавов?

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 4

Металловедение и термическая обработка титановых сплавов

Цель работы: изучение металловедения и оптимальной термической обработки титановых сплавов.

Задания

1. По литературным источникам изучить влияние примесей на свойства титановых сплавов.
2. Для указанного преподавателем титанового сплава определить группу сплава и его химический состав. Описать влияние примесей и легирующих элементов для указанного сплава. Показать диаграммы состояния данных примесей и легирующих элементов с титаном.
3. Описать область применения данного сплава.
4. Изучить возможную термическую обработку для данного сплава, описать её, указать достигаемые механические и технологические свойства.
5. Сделать заключение об оптимальных режимах термической обработки для указанного сплава.
6. Ответить на контрольные вопросы.
7. Составить отчет.

Общие положения

Титановые сплавы обладают высокой удельной прочности и коррозионной стойкостью.

Промышленные титановые сплавы классифицируют по структуре: α -сплавы, псевдо- α -сплавы, $\alpha+\beta$ -сплавы, псевдо- β -сплавы и β -сплавы. Сплавы, имеющие структуру α -раствора, не охрупчиваются при термической обработке, однако они сравнительно малопластичны.

В-сплавы более пластичны, но наименее прочны, они не испытывают фазовых превращений при термической обработке. В структуре псевдо- α -сплавов присутствует небольшого количества β -фазы, что увеличивает их технологическую пластичность.

В промышленности в основном применяются $(\alpha + \beta)$ -сплавы, так как в них достигается наилучшее сочетание свойств. Данные сплавы прочнее, чем однофазные, хорошо обрабатываются давлением и поддаются термической обработке. Однако термическая обработка не особо эффективна для титановых сплавов, поэтому основным способом упрочнения в пределах сохранения структуры $(\alpha + \beta)$ -раствора является легирование. При этом титан легируют большим количеством α -стабилизаторов, например 5-7% алюминия, что позволяет ввести в большем количестве β -стабилизаторы (Mn, Cr, Mo, V и т.п.) и сохранить после охлаждения на воздухе структуру $(\alpha + \beta)$ -раствора. При содержании алюминия более 7% в титановых сплавах образуется соединение Ti_3Al , заметно снижающее пластичность.

Титановые сплавы классифицируются по способности упрочняться термической обработкой (упрочняемые и неупрочняемые). Упрочняющая обработка применима только для $(\alpha + \beta)$ -сплавов и состоит из закалки с последующим старением, но существенного упрочнения, как в сталях, в титановых сплавах не происходит. Упрочняющую обработку редко используют для крупных деталей в виду малой прокаливаемости, низкого значения вязкости разрушения и коробления деталей. Кроме этого титановые сплавы подвергают отжигу и химико-термической обработке (азотированию, силицированию).

Состав и свойства некоторых титановых сплавов приведены в табл. 7 [1, с. 258].

По технологии получения титановые сплавы подразделяют на деформируемые и литейные. Также титановые сплавы можно получать порошковой металлургией, но в виду высокой стоимости производства и плохой обрабатываемости сплавов, данный способ производства не получил широкого применения.

Таблица 7

**Химический состав и механические свойства некоторых
титановых сплавов**

Сплав	Химический состав, %				Механические свойства			
	Al	V	Mo	Прочие	σ_b , Мпа	$\sigma_{0,2}$, Мпа	δ , %	KCU, МДж/м ²
α-сплавы								
BT5	4,5 – 6,2	1,2	0,9	0,3 Zr	700 – 950	650 – 850	12	0,4
BT5-1	4,3 – 6,0	1,0	–	2 – 3 Sn	700 – 950	650 – 850	12	0,45
псевдо-α-сплавы								
OT4-1	1,5 – 2,5	–	–	0,7 – 2 Mn	600 – 750	470 – 650	30	0,5
OT4	3,5 – 5,0	–	–	0,8 – 2 Mo	700 – 900	550 – 650	18	0,5
BT20	5,5 – 7,0	0,8 – 2,5	0,5 – 2,0	1,5 – 2,5 Zr	950 – 1150	950 – 1150	8	0,45
($\alpha + \beta$)-сплавы								
BT6	5,3 – 6,8	3,5 – 5,3	–	–	1100 – 1150	1000 – 1050	15	0,3
BT14	3,5 – 6,3	0,9 – 1,9	2,5 – 3,8	0,3Zr	1150 – 1400	1080 – 1300	8	0,5
BT22	4,4 – 5,7	4,0 – 5,5	4,0 – 5,5	0,8 – 1,2 Cr	1100 – 1200	–	9	0,4

Примечания. 1. Псевдо- α -сплавы имеют структуру α -раствора с небольшим количеством β -фазы (1 – 4 %) вследствие легирования β -стабилизаторами (Mn, Mo, V и др.).
2. Свойства сплавов BT6, BT14, BT22 приведены после закалки и старения; остальных – после отжига.

Содержание отчета

1. Название, цель работы и задание.
2. Задание (приложение 1) по варианту, указанному преподавателем.

Контрольные вопросы

1. Какова классификация титановых сплавов по структуре? Что такое псевдо- α -сплавы?
2. Как влияют примеси и легирующие элементы на свойства титановых сплавов?

3. Как влияют легирующие элементы на полиморфизм титана?
4. Сплавы с какой структурой имеют наилучшее сочетание свойств?
5. Каким видам термической обработки подвергают сплавы на основе титана?
6. Почему не проводят упрочняющую термическую обработку для крупных деталей, изготовленных из сплавов на основе титана?
7. Какие виды дефектов возникают при термической обработке сплавов на основе титана?

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 5

Металловедение и термическая обработка никелевых сплавов

Цель работы: изучение металловедения и оптимальной термической обработки никелевых сплавов.

Задания

1. По литературным источникам изучить влияние примесей на свойства никелевых сплавов.
2. Для указанного преподавателем никелевого сплава определить группу сплава и его химический состав. Описать влияние примесей и легирующих элементов для указанного сплава. Описать область применения данного сплава.
3. Изучить возможную термическую обработку для данного сплава, описать её, указать достигаемые механические и технологические свойства.
4. Сделать заключение об оптимальных режимах термической обработки для указанного сплава.
5. Ответить на контрольные вопросы.
6. Составить отчет.

Общие положения

Промышленные сплавы на основе никеля разделяют на

- жаростойкие;
- жаропрочные;
- коррозионностойкие;
- специальные (с особыми физическими свойствами).

Легирование никеля хромом приводит к сильному повышению стойкости против окисления при высоких температурах, поэтому основой жаростойких сплавов является система Ni-Cr (нихромы). Минимальное количество хрома в таких сплавах 20...25%. Максимальная жаростойкость в сплавах никеля с хромом отмечается при 40% хрома.

Высокая жаростойкость сплавов системы Ni-Cr обусловлена образованием трех окисных слоев. Внешний слой состоит из оксида NiO, под которым образуется промежуточный слой шпинели NiCr_2O_4 , следующий оксидный слой – Cr_2O_3 , отличается малой скоростью роста.

Жаропрочные сплавы подразделяют на три подгруппы: деформируемые; литейные и дисперсно-упрочненные.

Согласно направлениям, указанным А.А. Бочваром, повышение жаропрочности достигается: холодной пластической деформацией (нагартовкой); сплавлением жаростойкой основы с компонентами, образующими твердые растворы; получением высокодисперсной смеси фаз; введением сплав компонентов, образующих новые твердые фазы, располагающуюся по границам зерен или по междендритным пространствам.

Введение алюминия в систему Ni-Cr сильно повышает жаропрочные свойства не только двойных, но и сложнолегированных никель-хромовых сплавов, однако при содержании алюминия более 3-4% ухудшается обрабатываемость давлением в виду снижения технологической пластичности.

Наиболее высокие жаропрочные свойства достигаются за счет комплексного легирования (Cr, Ti, W, Co, В и др.).

Общим принципом термической обработки жаропрочных сплавов на никелевой основе является определенная последовательность

операций, характерная для дисперсионно-твердеющих материалов: гомогенизирующий нагрев, быстрое охлаждение и старение при одной или нескольких температурах. При термообработке таких сплавов необходима точная регулировка температуры и контроль за однородностью температурного поля.

Содержание отчета

1. Название, цель работы и задание.
2. Задание (приложение 1) по варианту, указанному преподавателем.

Контрольные вопросы

1. Как классифицируют сплавы на основе никеля?
2. Как влияют примеси и легирующие элемент на свойства никелевых сплавов?
3. Опишите возможную термическую обработку сплавов на основе никеля.
4. Какие виды дефектов возникают при термической обработке сплавов на основе никеля?

Приложение

Задания к выполнению практических работ

Номер варианта	ПР 1	ПР 2	ПР 3	ПР 4	ПР 5
1	ШХ15	АМц6	Л70	ВТ35	ХН77ТЮ
2	38ХМЮА	АК5М2 (АЛ5)	БрБ2	ОТ4-1	ЖС3
3	110Г13	Д19	Л59	ВТ4	ХН70ВМТЮ
4	12Х2Н4А	В65	БрС30	ВТ18	ХН73МБТЮ
5	40Г	АМг5К (АЛ13)	Л060-1	ВТ16	ХН62ВМКЮ
6	38ХМЮА	АК7Ц9 (АЛ11)	Л96	ВТ23	ХН77ТЮР
7	110Г13	АМцС	БрКМц3-1	ВТ30	ЖС6
8	30Х9Н8М4Г2С2	АК8М (АЛ32)	БрА5	4201	ХН70ВМФТЮ
9	60С2	Д18	МН19	ВТ8	ЖС6К
10	Н18К9М5Т	В93	БрАЖН10-4-4	ВТ15	ХН55ВМТФКЮ

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Адаскин, Анатолий Матвеевич. Материаловедение в машиностроении: учебник для бакалавров/ А.М. Адаскин, Ю.С. Седов, А.К. Онегина, В.Н. Климов. – Москва: Издательство Юрайт, 2013. – 535 с.: ил. – (Серия: Бакалавр. Углубленный курс). – Библиогр.: с. 533-535. – ISBN 978-5-9916-2867-9
2. Волков, Георгий Михайлович. Материаловедение: учебник для технических вузов по немашиностроительным направлениям и специальностям / Г. М. Волков, В. М. Зуев. – Москва: Академия, 2008. – 398 с.: ил. – (Высшее профессиональное образование, Технические специальности). – Библиогр.: с. 394. – ISBN 978-5-7695-4248-0.
3. Геллер, Юлий Александрович. Материаловедение: учебное пособие для вузов/ Ю. А. Геллер, А. Г. Рахштадт; под ред. А. Г. Рахштадта. – Изд. 6-е, перераб. и доп. – Москва : Металлургия, 1989. – 456 с.: ил., табл. – Библиогр.: с. 452. – Предм. указ.: с. 453-455. – ISBN 5-229-00228-X.
4. Гуляев, Александр Павлович. Металловедение: учебник для втузов / А. П. Гуляев. – 6-е изд., перераб. и доп. – Москва: Металлургия, 1986. – 542 с.: ил., табл. – Библиогр. в конце гл. – Предм. указ.: с. 538-542.
5. Золоторевский, Вадим Семенович. Механические свойства металлов: учебник для вузов по специальности "Металловедение, оборудование и технология термической обработки металлов"/ В. С. Золоторевский. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – Москва: Металлургия, 1983. – 350 с.: ил., табл. – Библиогр.: с. 347. – Предм. указ.: с. 348-350.
6. Иванов, Генрих Павлович. Надежность материала в технических расчетах/ Г.П. Иванов, А.А. Худошин, В.С. Котельников, Ю.В. Кадушкин/ Под ред. Д.В. Бушенина. – Владимир: Издательство «Посад», 2002. – 128 с.: ил., табл. – Библиогр.: с. 124-125.
7. Картонова Л. В. Основы материаловедения металлических и неметаллических веществ/ Л. В. Картонова, В. А. Кечин. – Владимир: Владим. гос. ун-т им. А. Г. и Н. Г. Столетовых (ВлГУ), 2014. – 176 с. Издание на др. носителе: Основы материаловедения металлических и

неметаллических веществ [Электронный ресурс], ISBN 978-5-9984-0503-7.

8. Колачев, Борис Александрович. Металловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов : учебное пособие для вузов по специальности " Металловедение и технология термической обработки металлов"/ Б. А. Колачев, В. А. Ливанов, В. И. Елагин. – Изд. 3-е, испр. и доп. – Москва: МИСИС, 2001. – 414 с.: ил., табл. – Библиогр.: с. 412-413. – ISBN 5-8763-027-8

9. Лахтин, Юрий Михайлович. Материаловедение: учебник для вузов / Ю. М. Лахтин, В. П. Леонтьева. – 3-е изд., перераб. и доп. – Москва: Машиностроение, 1990. – 528 с.: ил. – (Для вузов). – Библиогр.: с. 520. – Предм. указ.: с. 521-523. – ISBN 5-217-00858-X.

10. Материаловедение: учебник для вузов/ Б. Н. Арзамасов [и др.]; под ред. Б. Н. Арзамасова. – Изд. 3-е, перераб. и доп. – Москва: Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана (МГТУ), 2001. – 646 с., [1] л. портр.: ил., табл. – (Учебник для технических вузов). – Библиогр.: с. 630-631. – Предм. указ.: с. 632-637. – ISBN 5-7038-1860-5.

11. Материаловедение и технология конструкционных материалов: учебник для вузов по направлению "Технология, оборудование и автоматизация машиностроительных производств" и "Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств"/ В. Б. Арзамасов [и др.]; под ред. В. Б. Арзамасова, А. А. Черепяхина. – 2-е изд., стер. – Москва: Академия, 2009. – 447 с. : ил., табл. – (Высшее профессиональное образование, Машиностроение). – Библиогр.: с. 442-443. – ISBN 978-5-7695-6499-4.

12. Материаловедение и технология металлов: учебник для вузов / Г. П. Фетисов [и др.]; под ред. Г. П. Фетисова. – Изд. 4-е, испр. и доп. – Москва: Высшая школа, 2006. – 862 с. – Авт. указаны на обороте тит. л. – Библиогр.: с. 849-854 . – ISBN 5-06-004418-1.

13. Материалы в машиностроении: выбор и применение: справочник в 5 т. / под ред. И. В. Кудрявцева. – Москва: Машиностроение, 1967. – Т. 1: Цветные металлы и сплавы / И. А. Алексахин [и др.]; под

ред. Л. П. Лужникова. – 1967. – 304 с. : ил. – Библиогр. в конце гл. – Предм. указ.: с. 292-304.

14. Мозберг, Рудольф Карлович. Материаловедение: учебное пособие для вузов / Р. К. Мозберг. – Изд. 2-е, перераб. – Москва: Высшая школа, 1991. – 448 с.: ил. – ISBN 5-06-001909-8.

15. Пикунов, Михаил Владимирович. Металловедение/ М.В.Пикунов, А.И. Десипри. – М.: Металлургия, 1980. – 256 с. – Библиогр.: с. 250-251. – Предм. указ.: с. 252-254.

16. Ржевская, Светлана Владимировна. Материаловедение: учебник для вузов в области техники и технологии/ С. В. Ржевская. – Изд. 4-е, перераб. и доп. – Москва: Логос, 2006. – 421 с.: ил. – Библиогр.: с. 414-415. – Алф. указ.: с. 406-413. – ISBN 5-98704-179-X.

17. Рогов, Владимир Александрович. Современные машиностроительные материалы и заготовки: учебное пособие для вузов по направлениям "Технология, оборудование и автоматизация машиностроительных производств", "Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств"/ В. А. Рогов, Г. Г. Позняк. – Москва: Академия, 2008 . – 330 с.: ил. – (Высшее профессиональное образование, Машиностроение). – Библиогр.: с. 324-325. – ISBN 978-5-7695-4254-1.

18. Сильман, Григорий Ильич. Материаловедение: учеб. пособие для вузов/ Г.И. Сильман. – Москва: Издательский центр «Академия», 2008. – 336 с. – Библиогр.: с. 330-331. – ISBN 978-5-7695-4255-8

19. Солнцев, Юрий Порфирьевич. Материаловедение: учебник для вузов по металлургическим, машиностроительным и общетехническим специальностям/ Ю. П. Солнцев, Е. И. Пряхин; под ред. Ю. П. Солнцева. – Изд. 3-е, перераб. и доп. – Санкт-Петербург: Химиздат, 2004. – 735 с.: ил., табл.,схемы. – (Федеральная целевая программа "Культура России") (Учебник для вузов). – Библиогр.: с. 733 -735. – ISBN 5-93808-075-4.

20. Химико-термическая обработка металлов и сплавов: справочник / Г. В. Борисенок [и др.]; под ред. Л. С. Ляховича. – Москва: Металлургия, 1981. – 424 с : ил. – Библиогр.: с. 404-419. – Предм. указ.: с. 420-422.

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	3
ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 1	
Определение технологических параметров охлаждения деталей при закалке и выбор закалочной среды	5
ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 2	
Металловедение и термическая обработка алюминиевых сплавов .	12
ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 3	
Металловедение и термическая обработка медных сплавов	16
ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 4	
Металловедение и термическая обработка титановых сплавов	20
ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 5	
Металловедение и термическая обработка никелевых сплавов	23
Приложение	26
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	27