

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»**
по программе
«Прогрессивные технологии плавки и литья специальных сплавов»
(уровень магистратуры)

Составитель:
Л.В. Картонова

Владимир – 2016 г.

УДК 620.22

Методические указания к практическим работам по дисциплине «Теория и технология термической обработки» для направления подготовки 22.04.02 «Металлургия» по программе «Прогрессивные технологии плавки и литья специальных сплавов» (уровень магистратуры)/ Владим. гос. ун-т; Сост.: Л.В.Картонова. Владимир. 2016. - 28 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» по программе «Прогрессивные технологии плавки и литья специальных сплавов» (уровень магистратуры).

Библиогр.: 30 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 усло-

виях 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 (ОК- 11; ОПК-9; ПК-1).

В таблице 2 приведен перечень, выполняемых работ.

Таблица 4. 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 медных сплавов	ОК-11; ОПК-9; ПК-1
3.	Металловедение и термическая обработка алюминиевых 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

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 1

Установление 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, указанной преподавателем стали (приложение 1).
5. Установить режимы оптимальную термическую обработку с указанием режимов и охлаждающих сред, определить достигаемые механические свойства. Описать протекаемые при этом превращения.
6. Описать дефекты, возникающие при термической обработке в указанной стали и меры их предупреждения.
7. Ответ на контрольные вопросы.
8. Составить отчет.

Общие положения

Цель любого процесса термической обработки состоит в том, чтобы нагревом до определенной температуры и последующим охлаждением вызвать желаемое изменение свойств из-за изменения строения металла (сплава).

Из-за разницы температур по сечению деталей при их охлаждении и неодинакового времени протекания фазовых превращений в разных участках детали в процессе закалки возникают *внутренние напряжения*.

Различают внутренние напряжения трех родов.

Внутренние напряжения первого рода – это зональные внутренние напряжения, возникающие между отдельными зонами сечения и между различными частями детали. Чем больше градиент температур по сечению и между различными частями детали, возникающий при термической обработке, тем большего значения достигают напряжения первого рода. Внутренние напряжения первого рода зависят от скорости охлаждения, их иногда называют *зональными термическими напряжениями*.

Внутренние напряжения второго рода возникают внутри зерна или между соседними зернами. Данного вида напряжения возникают между отдельными фазами вследствие того, что у них разные коэффициенты линейного расширения, или из-за образования новых фаз, имеющих неодинаковые объемы. Так как внутренние напряжения второго рода возникают между отдельными элементами структур, их также могут называть *структурными* или *фазовыми напряжениями*.

Внутренние напряжения третьего рода возникают внутри объема порядка нескольких элементарных ячеек кристаллической решетки. Примером служит инородный атом в твердом растворе, который создает вокруг себя упругие искажения кристаллической решетки.

Наиболее существенно влияние внутренних напряжений первого рода, так как только они способны вызывать коробление детали и трещины.

Напряжения, которые сохраняются в детали в результате охлаждения, называются остаточными. Любая закаленная сталь находится в структурно напряженном состоянии, поэтому последующий отпуск является необходимым средством для снятия остаточных напряжений.

Нагрев при отпуске увеличивает пластичность стали, что позволяет в отдельных объемах упругим деформациям превратиться в пластические, что уменьшает напряжения. Чем выше температура отпуска и чем больше его продолжительность, тем в большей степени снимаются напряжения. Отпуск при 550 °С практически полностью устраняет закалочные напряжения (исходные напряжения с 600 МПа уменьшаются до 50 – 100 МПа).

Выбор оптимального способа закалки определяется составом стали, формой и размерами детали. Чем сложнее форма термически обрабатываемой детали, тем тщательнее следует выбирать условия охлаждения, потому что чем сложнее деталь и чем больше различие в сечениях детали, тем большие внутренние напряжения возникают в ней при охлаждении.

В зависимости от технологии выполнения закалку можно проводить следующими способами:

1. *Закалка в одном охладителе* – самый простой способ закалки, который применяется для несложных деталей из углеродистых и легированных сталей. При этом деталь погружают в закалочную среду (вода, масло и т.п.), где она остывает до полного охлаждения. Иногда крупные детали охлаждают струей воды (*струйчатая закалка*). При этом способе не образуется паровая рубашка, что обеспечивает более глубокую прокаливаемость, чем простая закалка в воде.

2. *Закалка с подстуживанием* позволяет уменьшить внутренние напряжения, возникающие в детали при проведении закалки. При данном способе деталь не сразу погружают в закалочную среду, а некоторое время охлаждают на воздухе, «подстуживают», поэтому проведение такого способа закалки требует большого искусства термиста.

3. *Закалка в двух охладителях* (например, сначала в воде, потом в масле) позволяет быстро проходить интервал малой устойчивости аустенита, но при охлаждении его в зоне повышенной устойчивости, т.е. в мартенситном интервале температур, охлаждают медленно. Такой способ закалки позволяет снизить внутренние напряжения, но при этом трудно установить и определить время пребывания детали в первой охлаждающей среде, тем более что это время мало и исчисляется секундами. В двух охладителях охлаждают инструмент, изготовленный из высокоуглеродистых сталей. Этот способ также требует хорошей отладки процесса и высокой квалификации термиста.

4. *Ступенчатая закалка* проводится путем быстрого охлаждения в горячей среде (например в расплавленном металле). При данном способе деталь выдерживают в закалочной среде, имеющей температуру выше мартенситной точки для данной стали. При охлаждении и выдержке в этой среде закаливаемая деталь во всех точках сечения должна приобрести температуру закалочной среды. Затем следует окончательное, как правило, медленное охлаждение, во время которого и происходит закалка, т.е. превращение аустенита в мартенсит. При этом способе закалки снижаются внутренние напряжения первого рода, поэтому уменьшается и закалочная деформация.

5. *Изотермическая закалка* также производится в горячей закалочной среде, но в отличие от ступенчатой закалки выдержка продолжается до полного распада аустенита. При этом способе закалки образуется структура не мартенсита, а бейнита, отличающегося высокой твердостью при несколько меньшей хрупкости, чем у мартенсита. Изотермической закалке (как и ступенчатой) подвергают детали малых сечений.

Закалочная среда определяет скорость охлаждения при закалке. Сильнее всего охлаждают водные растворы солей и щелочей, затем холодная вода, еще медленнее – минеральные масла, горячая вода и эмульсии. Замедление охлаждения вызывает образование паровой рубашки и ее удержание в вязкой среде. Подбирая и комбинируя охлаждающие среды, можно добиваться различных скоростей охлаждения.

Дефекты, возникающие при закалке. Неправильно проведенная закалка может вызвать различные дефекты.

Деформация, коробления и трещины являются следствием напряжений. Медленное охлаждение при закалке в области мартенситного превращения – самый эффективный способ уменьшения напряжений и устранения дефектов этого вида. Мелкие детали, так же как и простые по форме, без острых углов и резких переходов, менее склонны к короблению. Поэтому при конструировании детали необходимо придать наиболее технологическую форму. Более сложные по форме детали целесообразно изготавливать из легированных сталей, закаливаемых в масле.

Недостаточная твердость закаленной детали объясняется недогревом (низкая температура в печи, недостаточная выдержка при правильной температуре в печи) или недостаточно интенсивным охлаждением. Повышение температуры в печи или увеличение времени выдержки в первом случае устраняет пониженную твердость закаленных деталей. Во втором случае следует применить более интенсивное охлаждение, т.е. во время закалки энергично перемещать деталь в закалочной жидкости или применять вместо простой воды соленую или подкисленную.

Образование мягких пятен может объясняться также следствием недостаточного прогрева или недостаточно интенсивного охлаждения. Но иногда мягкие пятна появляются из-за неправильно проведенной закалки, например, образование феррита в доэвтектоидных сталях при полной закалке показывает, что произошло подстуживание стали. Кроме того, образование мягких пятен может быть вызвано неоднородностью исходной структуры. В таких случаях рекомендуется проведение предварительной термической обработки (нормализации), создающей более однородную структуру.

Повышенная хрупкость – дефект, обычно появляющийся в результате закалки от слишком высоких температур (более высоких, чем это требуется), при которых произошел значительный рост зерен аустенита. Дефект обнаруживается механическими испытаниями по излому или по микроструктуре. Устраняют дефект повторной закал-

кой от нормальных температур для данной стали.

Окисление и обезуглероживание поверхности часто происходит при нагреве в плазменных или электрических печах без контролируемой атмосферы. Поэтому дают припуск на шлифование, что влечет удорожание и усложнение технологии изготовления термически обрабатываемых деталей. Контролируемая искусственная атмосфера в термических печах является способом устранения или уменьшения этого дефекта. Нагрев в солях также способствует уменьшению окисления и обезуглероживания.

Содержание отчета

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

Контрольные вопросы

1. Как выбрать температуру для полного отжига? С какой целью его применяют?
2. Что такое нормализация? В чем заключается отличие нормализации от полного отжига?
3. Какие стали подвергаются неполной закалке, а какие – полной?
4. Какое химическое действие при высокой температуре оказывает окружающая среда на металл?
5. Какие охлаждающие среды вы знаете?
6. Что такое закаливаемость?
7. Что такое прокаливаемость? Как можно увеличить прокаливаемость?
8. Какими способами можно проводить закалку? Чем отличается изотермическая закалка от ступенчатой?
9. Какие дефекты возникают при закалке? Что вызывает недостаточную твердость стали?

10. Как предотвратить окисление и обезуглероживание поверхности стали?
11. Приведите примеры технологических приемов уменьшения деформации при термической обработке.
12. Сущность превращений при отпуске. Как изменяются структура и свойства стали в связи с коагуляцией карбидной фазы при отпуске?
13. Чем отличаются отпускные структуры от одноименных структур, образующихся при распаде переохлажденного аустенита?
14. Что такое улучшение? Какие стали подвергаются улучшению?
15. Что такое обработка холодом? С какой целью ее проводят?
16. Что такое химико-термическая обработка? Какие процессы при этом протекают?
17. Что такое цементация? Какие виды цементации вы знаете?
18. Что такое азотирование?
19. Что общего и чем отличаются между собой нитроцементация и цианирование?
20. Что такое борирование, силицирование? Назовите их назначение и недостатки.
21. Для каких целей проводят диффузионное насыщение металлами?
22. Сущность и назначение процесса алитирования.
23. Сущность и назначение процесса хромирования.
24. Как влияют легирующие элементы на свойства стали?
25. Какие требования предъявляются к быстрорежущим сталям? Какой термической обработке подвергаются быстрорежущие стали?
26. Какие дефекты возникают в легированных сталях?

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 2

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. Ответ на контрольные вопросы.
8. Составить отчет.

Общие положения

Медные сплавы подразделяются на латуни, бронзы и медно-никелевые сплавы.

Латуни – сплавы меди с цинком содержат не более 45 % цинка с небольшим количеством других компонентов. Латуням присущи все положительные свойства меди (высокая электро- и теплопроводность,

коррозионная стойкость, пластичность) при более высокой прочности и лучших технологических свойствах.

В зависимости от числа компонентов различают простые (двойные) и специальные (многокомпонентные) латуни. Строение и свойства простых латуней зависят от содержания в них цинка.

Латуни, содержащие до 39 % цинка, имеют однофазную структуру (α -раствор), представляют собой твердый раствор цинка в меди. Они не упрочняются при термической обработке, так как при нагревании до температуры плавления их структура не изменяется, такие латуни пластичны, хорошо обрабатываются давлением в горячем и холодном состояниях.

Латуни, содержащие 40 – 45 % цинка, имеют двухфазную структуру ($\alpha + \beta$ -раствор), β -фаза представляет собой твердый раствор на основе химического соединения CuZn. Латуни, имеющие двухфазную структуру, обладают повышенной твердостью, хорошо обрабатываются давлением в горячем состоянии, но в холодном состоянии пластичность их невелика.

Применяются сложные латуни, в которые для изменения механических и химических свойств дополнительно вводят свинец, олово, кремний, алюминий: свинец улучшает обрабатываемость резанием, олово повышает коррозионную стойкость, кремний и алюминий повышают механические свойства.

По технологическим признакам различают литейные и деформируемые латуни.

Бронзы – это сплавы меди с оловом, алюминием, кремнием, свинцом, бериллием (в настоящее время бронзами называют все сплавы меди, кроме латуней и медно-никелевых сплавов). По химическому составу бронзы делятся на оловянные и безоловянные (специальные), а по технологическим свойствам – на обрабатываемые давлением (деформируемые) и литейные.

Сплавы меди с оловом – оловянные бронзы очень давно и широко применяются в промышленности благодаря высокой коррозионной стойкости и антифрикционным свойствам. Микроструктура литейной оловянной бронзы состоит из неоднородного твердого α -

раствора (твёрдого раствора олова в меди) и эвтектоида $\alpha + \text{Cu}_{31}\text{Sn}_8$. Темные участки неоднородного твёрдого α -раствора богаты медью, светлые – оловом, в эвтектоиде на светлом фоне соединения $\text{Cu}_{31}\text{Sn}_8$ видны темные точечные включения α -фазы.

В последнее время широко применяются безоловянные бронзы.

Медно-никелевые сплавы выделяют в отдельную группу. Данные сплавы могут использоваться в качестве конструкционных и электротехнических материалов.

Содержание отчета

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

Контрольные вопросы

1. Какими свойствами обладает медь?
2. Какие медные сплавы вы знаете? Их свойства.
3. Область применения медных сплавов.
4. Влияние примесей и легирующих элементов на свойства меди и её сплавов.
5. Возможная термическая обработка медных сплавов.
6. Какие виды дефектов возникают при термической обработке медных сплавов?

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 3

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. Ответ на контрольные вопросы.
8. Составить отчет.

Общие положения

Алюминиевые сплавы классифицируют *по технологии изготовления* (деформируемые, литейные и спеченные (порошковые)), *способности к термической обработке* (упрочняемые и неупрочняемые термической обработкой), *свойствам* (сплавы повышенной пла-

стичности, низкой прочности, нормальной прочности, высокопрочные, жаропрочные и др.).

Типичные представители деформируемых сплавов на алюминиевой основе – дуралюминий (Д1, Д16) и литейных – силумин АЛ2.

Силумины – литейные сплавы на основе алюминия с кремнием (4...13 %, иногда до 23 % Si) и некоторыми другими элементами (медь, марганец, магний, цинк, титан, бериллий).

Дуралюминий (дуралюмин) – сплав шести компонентов: алюминия, меди, магния, марганца, кремния и железа. Указанный сплав можно причислить к сплавам системы Al – Cu – Mg, кремний и железо являются постоянными примесями. Перечисленные компоненты образуют ряд растворимых соединений (CuAl_2 , фаза S, Mg_2Si) и нерастворимых (железистые и марганцовистые соединения). Структура дуралюмина в отожженном состоянии состоит из твердого раствора и вторичных включений различных интерметаллидных соединений.

Дуралюмин относится к сплавам, в которых не происходят полиморфные превращения при нагреве. Поэтому они могут подвергаться упрочняющей термической обработке, состоящей из закалки с последующим естественным и искусственным старением.

После закалки с оптимальных температур (500 °C) основное количество соединений CuAl_2 и Mg_2Si растворяется в алюминии, соединения железа не растворяются. Поэтому в закаленном состоянии структура состоит из алюминиевого твердого раствора (пересыщенного α -раствора) и нерастворимых включений соединений железа. Такая структура будет отличаться большей пластичностью, но меньшей твердостью и прочностью, т.е. в результате закалки дуралюмин становится мягким и пластичным. Старению предшествует 2 – 3-часовой инкубационный период, в течение которого сплав сохраняет высокую пластичность. Но полученный в результате закалки α -раствор является неустойчивым. Выдержка при комнатной температуре (естественное старение) или при искусственном повышении температуры (искусственное старение) приводит к изменениям в твердом растворе, ведущем в конечном итоге к выделению соединений (в сплавах, дополнительно легированных магнием, также выделя-

ется S-фаза – CuMgAl_2).

Дуралюмины после закалки подвергают естественному старению, так как оно обеспечивает получение более высокой коррозионной стойкости, но естественное старение продолжается в течение 5 – 7 сут. Длительность старения значительно сокращается при увеличении температуры до 40 особенно 100 °С, температура искусственного старения различных алюминиевых сплавов колеблется от 20 до 200°С.

Содержание отчета

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

Контрольные вопросы

1. Какими свойствами обладает алюминий?
2. Какие алюминиевые сплавы вы знаете? Их свойства.
3. Область применения алюминиевых сплавов.
4. Влияние примесей и легирующих элементов на свойства алюминия и его сплавов.
5. Особенности термической обработки алюминиевых сплавов.
6. Как изменяются механические свойства дуралюминов в результате закалки?
7. Чем отличается искусственное старение от естественного? Опишите свойства достигаемые при этих видах старения.
8. Какие виды дефектов возникают при термической обработке алюминиевых 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. Ответ на контрольные вопросы.
7. Составить отчет.

Общие положения

Титановые сплавы классифицируются по способу производства, структуре, механическим свойствам и способности упрочняться термической обработкой.

По способу производства титановые сплавы делятся на деформируемые и литейные. *По механическим свойствам* – нормальной прочности, высокопрочные, жаропрочные и повышенной пластично-

сти. По способности упрочняться термической обработкой различают упрочняемые и неупрочняемые титановые сплавы.

подавляющее большинство металлов образуют с титаном диаграммы состояния с эвтектоидным превращением. По структуре титановые сплавы делят на α -, ($\alpha + \beta$)- и β -сплавы. Все легирующие элементы по влиянию на полиморфизм титана можно разделить на три группы:

1) α -стабилизаторы (алюминий, галлий, индий, углерод, азот, кислород);

2) β -стабилизаторы (молибден, ванадий, хром, марганец, железо, медь, никель, кобальт);

3) нейтральные элементы (олово, цирконий, германий).

Наилучшее сочетание свойств достигается в ($\alpha + \beta$)-сплавах. Эти сплавы более прочны, чем однофазные, хорошо куются и штампуются, поддаются термической обработке.

Титановые сплавы подвергают термической обработке – отжигу, закалке и старению, химико-термической обработке (азотированию, силицированию). Упрочняющая обработка, состоящая из закалки с последующим старением, применима только для ($\alpha + \beta$)-сплавов. Сплавы, имеющие структуру α -раствора, нельзя упрочнить термической обработкой.

С целью повышения твердости, износостойкости и жаропрочности титановые сплавы могут подвергать азотированию. Азотирование проводят в газовой среде при температуре 900 °С, процесс длителен (до 50 ч). Для уменьшения хрупкости азотированного слоя заготовки подвергают вакуумному отжигу при 800 – 900 °С.

Превращения при закалке и старении в титановых сплавах похожи на соответствующие превращения в стали. Однако такого существенного упрочнения, как в сталях, в титановых сплавах не происходит.

Содержание отчета

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

Контрольные вопросы

1. Область применения сплавов на основе титана.
2. Какие сплавы на основе титана вы знаете?
3. Влияние примесей и легирующих элементов на свойства сплавов на основе титана.
4. Опишите влияние легирующих элементов на полиморфизм титана.
5. Какие элементы относят к α -стабилизаторами?
6. Какие элементы относят к β -стабилизаторами?
7. Термическая обработка сплавов на основе титана.
8. 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. Ответ на контрольные вопросы.

6. Составить отчет.

Общие положения

Промышленные сплавы на основе никеля можно разделить на следующие группы: жаростойкие; жаропрочные; коррозионностойкие и специальные (с особыми физическими свойствами).

Основой жаростойких сплавов является система Ni-Cr. Легирование никеля хромом приводит к сильному повышению стойкости против окисления при высоких температурах.

Критическое минимальное количество хрома, необходимое для существенного повышения жаростойкости никеля и никелевых сплавов, составляет 20...25% максимальная жаростойкость в сплавах системы Ni-Cr отмечается при 40% хрома. Сплавы никеля с хромом получили название нихромов.

Высокая жаростойкость сплавов никеля с хромом обусловлена образованием под тонким внешним слоем оксида NiO второго оксидного слоя Cr_2O_3 , отличающегося малой скоростью роста, а также промежуточного слоя шпинели $NiCr_2O_4$.

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

Для получения жаропрочности в жаростойкую матрицу вводят дисперсные частицы, что достигается введением в никель хромовые сплавы ($\sim 80\% Ni + 20\% Cr$) со структурой твердого раствора эле-

ментов - алюминий и титан, которые образует ограниченные твердые растворы с переменной, уменьшающейся с понижением температуры растворимостью.

Содержание отчета

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

Контрольные вопросы

1. Какими свойствами обладает никель?
2. Какие сплавы на основе никеля вы знаете?
3. Область применения сплавов на основе никеля.
4. Влияние примесей и легирующих элементов на свойства сплавов на основе никеля.
5. Опишите возможную термическую обработку сплавов на основе никеля.
6. 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	Л70	АМц	ВТ5	ХН77ТЮ
2	38ХМЮА	Бр2	АМ5 (АЛ19)	ОТ4	ЖС3
3	60С2	Л59	АК12 (АЛ2)	ВТ4	ХН70ВМТЮ
4	12Х2Н4А	ЛС59-1	В95	ВТ18	ХН73МБТЮ
5	40Г	Л060-1	Д1	ВТ6	ХН62ВМКЮ
6	40Х	Л96	АК9 (АЛ4)	ВТ22	ХН77ТЮР
7	110Г13	БрКМц3-1	АМг5	ВТ30	ЖС6
8	ШХ9	БрБ2	АК6	ВТ14	ХН70ВМФТЮ
9	18ХГТ	МН19	Д16	ВТ20	ЖС6К

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Адаскин, Анатолий Матвеевич.** Материаловедение в машиностроении: учебник для бакалавров / А.М. Адаскин, Ю.С. Семенов, 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. **Гелин, Феликс Давыдович.** Металлические материалы: Справочник. Минск: Высшая школа, 1987. – 368 с. – Библиогр.: с. 361. – Предм. указ.: с. 362-366.
4. **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.
5. **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.
6. **Дриц, Михаил Ефремович.** Технология конструкционных материалов и материаловедение: учебник для немашиностроительных специальностей вузов/ М. Е. Дриц, М. А. Москалев. – Москва : Высшая школа, 1990. – 447 с. : ил. – Библиогр.: с. 434-435. – Предм. указ.: с. 436-440. – ISBN 5-06-000144-X.
7. **Журавлев, Виталий Никанорович.** Машиностроительные стали: справочник/ В. Н. Журавлев, О. И. Николаева. – 4-е изд., перераб. и доп. – Москва: Машиностроение, 1992. – 480 с.: ил., табл. – Библиогр.: с. 470-474. – ISBN 5-217-01306-0.

8. **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.

9. **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.

10. **Кечин, Владимир Андреевич.** Цинковые сплавы / В. А. Кечин, Е. Я. Люблинский. – Москва: Металлургия, 1986. – 246 с. : ил., табл. – Библиогр.: с. 242-246.

11. **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

12. Композиционные материалы : справочник/ В. В. Васильев [и др.]; под общ. ред. В. В. Васильева; Ю. М. Тарнопольского. – Москва: Машиностроение, 1990. – 510 с.: ил., табл. – Библиогр. в конце гл. – Предм. указ.: с. 502-510. – ISBN 5-217-01113-0.

13. Конструкционные материалы: справочник/ Б. Н. Арзамасов [и др.]; под ред. Б. Н. Арзамасова.— Москва: Машиностроение, 1990.— 687 с.: ил., табл. — (Основы проектирования машин).— Библиогр. в конце гл. — Предм. указ.: с. 683-687 .— ISBN 5-217-01112-2.

14. **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.

15. **Лейкин, Абрам Ефимович.** Материаловедение. Учебник для для машиностроительных специальностей вузов/ А.Е. Лейкин, Б.И.Родин. – М.: Высшая школа, 1971. – 416 с.: ил. – Библиогр.: с.409.

16. Материаловедение. Технология конструкционных материалов: учебное пособие для вузов по направлению "Электротехника, электромеханика и электротехнологии"/ А. В. Шишкин [и др.]; под ред. В. С. Чередниченко. – 2-е изд., стер. – Москва: Омега-Л, 2006. – 752 с. : ил., табл. – (Высшее техническое образование). – Библиогр.: с. 719-720. – Предм. указ.: с. 721-742. – ISBN 5-365-00041-2.

17. 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.

18. 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. Черепашина. – 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.

19. 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.

20. 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.

21. **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.

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

23. **Плошкин, Всеволод Викторович.** Материаловедение: учебное пособие/ В.В. Плошкин. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательство Юрайт, 2011. – 463 с. – Серия: Основы наук. – Библиогр.: с. 496. – ISBN 978-5-9916-1222-7

24. Производство отливок из сплавов цветных металлов: учебник/ А.В. Курдюмов, В.Д. Белов, М.В. Пикунов и др.; под ред. В.Д. Белова. – 3е изд., перераб. и доп. – М.: Изд. Дом МИСиС, 2011. – 615 с. – ISBN 978-5-87623-573-2

25. **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.

26. **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.

27. **Рощин, Василий Ефимович.** Электрометаллургия и металлургия стали: учебник/ В.Е. Рощин, А.В. Рощин.– 4-е изд., перераб. и доп.– Челябинск: Издательский центр ЮУРГУ, 2013. – 572 с. – Библиогр.: с.571-572. – ISBN 978-5-696-04354-8

28. **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

29. **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.

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

Электронные ресурсы

1. Материаловедение и технология материалов: Учебное пособие / К.А. Батышев, В.И. Безпалько; Под ред. А.И. Батышева, А.А. Смолькина. - М.: НИЦ ИНФРА-М, 2013 - 288 с.: 60x90 1/16. - (Высшее образование: Бакалавриат). ISBN 978-5-16-004821-5 <http://znanium.com/bookread2.php?book=397679>

2. Материаловедение и технология материалов: Учебник / Г.П. Фетисов, Ф.А. Гарифуллин. - М.: НИЦ ИНФРА-М, 2014. - 397 с.: 60x90 1/16. - (Высшее образование: Бакалавриат). ISBN 978-5-16-006899-2, <http://znanium.com/bookread2.php?book=413166>

3. Металлография металлов, порошковых материалов и покрытий, полученных электроискровыми способами: Монография / В.Н. Гадалов, В.Г. Сальников, Е.В. Агеев, Д.Н. Романенко. - М.: НИЦ ИНФРА-М, 2016. - 468 с. - ISBN 978-5-16-009752-7. <http://znanium.com/bookread2.php?book=456122>

4. Материаловедение [Электронный ресурс]: учебное иллюстрированное пособие / Е.Г. Зарембо. - М.: УМЦ ЖДТ, 2009. - <http://www.studentlibrary.ru / book / ISBN9755999400475.html>

5. Материаловедение. Применение и выбор материалов [Электронный ресурс]: Учебное пособие / Солнцев Ю.П., Борзенко Е.И., Вологжанина С.А. – СПб.: ХИМИЗДАТ, 2007. – <http://www.studentlibrary.ru / book / ISBN9785938081406.html>

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	3
ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 1	
Установление технологических параметров охлаждения деталей при закалке и выбор закалочной среды	5
ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 2	
Металловедение и термическая обработка медных сплавов	12
ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 3	
Металловедение и термическая обработка алюминиевых сплавов ..	15
ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 4	
Металловедение и термическая обработка титановых сплавов	18
ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 5	
Металловедение и термическая обработка никелевых сплавов	20
Приложение	22
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	23