РЫБИНСКОЕ ОРДЕНА "ЗНАК ПОЧЕТА" УЧИЛИЩЕ ИМЕНИ В.И. КАЛАШНИКОВА-ФИЛИАЛ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ "ВОЛЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ВОДНОГО ТРАНСПОРТА

ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ СТУДЕНТОВ ЗАОЧНОЙ ФОРМЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ «МАТАРИАЛОВЕДЕНИЕ И ТЕХНОЛОГИЯ КОНТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ»

РЫБИНСК
2026

ВВЕДЕНИЕ

1. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1. Введение

Материалы и их роль в развитии технической цивилизации. Место дисциплины в решении проблем качества и надежности изделий. Общая характеристика и классификация материалов и сплавов.

1.2. Строение материалов

Атомно-кристаллическое строение металлов, типы кристаллических решеток. Кристаллографические направления и плоскости. Дефекты кристаллического строения и их влияние на свойства металлов. Теоретическая и реальная прочность металлов, способы упрочнения металлов и сплавов.

Кристаллизация и структура металлов и сплавов. Физическая природа кристаллизации. Формирование структуры металлов и сплавов при кристаллизации: дендритная кристаллизация, строение слитка. Понятие о макро- и микроструктуре материалов. Модифицирование сплавов.

Методы изучения строения материалов, оптическая и электронная микроскопия, рентгеноструктурный анализ.

1.3. Механические свойства материалов

Механические свойства металлов и сплавов, методы определения механических свойств: твердость, временное сопротивление (предел прочности), характеристики пластичности, ударная вязкость, предел выносливости. Теплостойкость, жаропрочность материалов, определение предела длительной прочности, предела ползучести.

Технологические свойства материалов: литейные, деформационные свойства, свариваемость, обрабатываемость резанием.

1.4. Деформация и разрушение

Упругая и пластическая деформация. Хрупкое и вязкое разрушение материалов.

Изменение свойств и структуры при деформации, возникновение наклепа. Холодная и горячая деформация.

Влияние нагрева на структуру и свойства деформированного металла. Возврат. Рекристаллизация, изменение структуры и свойств при рекристаллизации.

1.5. Теория сплавов

Компоненты и фазы в сплавах: твердые растворы и интерметаллиды, химические соединения металл-неметалл; фазово-структурный состав сплавов.

Диаграммы состояния сплавов, основные линии и их физический смысл. Типовые диаграммы состояния: для сплавов с неограниченной растворимостью в твердом состоянии, для сплавов с эвтектикой и ограниченной растворимостью в твердом состоянии.

Взаимосвязь «состав-структура-свойство». Влияние структуры на механические и технологические свойства сплавов.

1.6. Железо и его сплавы

Диаграмма «железо-цементит». Железо и сплавы на его основе. Стали: классификация, фазовые превращения, структура сталей в равновесном состоянии; влияние содержания углерода на структуру и свойства сталей.

Углеродистые конструкционные стали, углеродистые инструментальные стали. Автоматные стали.

Чугуны: белые, серые, высокопрочные, ковкие.

1.7. Термическая обработка металлических материалов

Теория термической обработки. Превращения в стали при равновесном нагреве и охлаждении: образование аустенита при нагреве и его распад при охлаждении стали. Диаграмма изотермического превращения аустенита.

Диффузионные процессы в металле. Влияние скорости охлаждения на структуру и свойства стали. Диффузионные и бездиффузионные превращения. Мартенсит. Превращение аустенита при непрерывном охлаждении стали.

Технология термической обработки стали. Виды и разновидности термической обработки: отжиг, нормализация, закалка, отпуск. Основные виды отжига, классификация по назначению. Закалка стали на мартенсит, структура и свойства закаленной стали, закалочные среды.

Отпуск стали: низкий, средний, высокий.

Термомеханическая обработка.

Поверхностная закалка. Лазерная обработка материалов.

Химико-термическая обработка, общая характеристика процессов и их назначение: цементация, азотирование, нитроцементация, ионное азотирование, диффузионное насыщение металлами.

Термическая обработка цветных сплавов: закалка на твердый раствор, естественное и искусственное старение.

Методика разработки технологического процесса термической обработки сплавов.

1.8. Конструкционные металлы и сплавы

Влияние легирующих компонентов на превращения в сталях, на стабильность феррита и аустенита, на структуру и свойства сталей. Классификация и маркировка легированных сталей.

Легированные конструкционные стали: строительные, улучшаемые, цементуемые, высокопрочные, пружинные, шарикоподшипниковые; их назначение, термическая обработка, свойства.

Стали, устойчивые против коррозии (нержавеющие), жаростойкие, теплостойкие, жаропрочные стали и сплавы. Износостойкие сплавы.

Номенклатура технических материалов в теплоэнергетике, их структура и основные свойства.

Новые металлические материалы. Порошковые материалы, спеченные сплавы, гранулируемые сплавы.

1.9. Инструментальные материалы.

Стали для измерительного инструмента, штамповочные стали и сплавы, универсальные инструментальные стали, высоколегированные быстрорежущие стали. Твердые сплавы и режущая керамика, сверхтвердые материалы, материалы абразивных инструментов. Полиморфные модификации углерода и нитрида бора.

1.10. Цветные металлы и сплавы, их свойства и назначение

Медные, алюминиевые, титановые, никелевые сплавы. Характеристика состава и свойств сплавов, маркировка, типовая термическая обработка, назначение.

1.11. Неметаллические материалы

Полимеры; строение, полимеризация и поликонденсация, свойства. Пластмассы: термопластичные, термореактивные, газонаполненные, эластомеры, пластмассы с порошковым наполнителем. Резины. Клеи, герметики.

Керамические материалы. Электротехнические материалы. Стекло: неорганическое и органическое, металлические стекла.

1.12. Композиционные материалы

Принципы создания композиционных материалов: матрица, армирующие компоненты; дисперсные, волокнистые, слоистые наполнители. Композиционные материалы на основе полимерной, металлической, керамической матрицы. Эвтектические композиционные материалы на алюминиевой, никелевой основе.

2. ПЕРЕЧЕНЬ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

2.1. Методы исследования строения полуфабрикатов и изделий.

2.2. Структура железоуглеродистых сплавов в равновесном состоянии.

2.3. Оценка качества термической и химико-термической обработки по стандартным шкалам микроструктур.

2.4. Разработка технологического процесса термической обработки сплавов.

3. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ИЗУЧЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

Успешное изучение дисциплины «Материаловедение» базируется на знаниях, полученных студентами ранее при изучении дисциплин «Физика», «Химия», «Сопротивление материалов». Данная дисциплина является основой для квалифицированного решения задач выбора материала и методов управления его структурой и свойствами, в решении проблем качества и надежности изделий.

4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1) Атомно-кристаллическое строение металлов.
2) Дефекты кристаллического строения металлов.
3) Методы изучения строения материалов.
4) Кристаллизация и структура металлов и сплавов. Физическая природа кристаллизации.
5) Механические свойства металлов и сплавов, методы определения механических свойств.
6) Технологические свойства материалов.
7) Пластическая деформация в металлах, возникновение наклепа.
8) Хрупкое и вязкое разрушение материалов.
9) Виды изломов, оценка свойств материалов по виду излома.
10) Возврат. Рекристаллизация, изменение структуры и свойств при рекристаллизации.
11) Компоненты и фазы в сплавах.

12) Типовые диаграммы состояния.
13) Диаграмма состояния «железо-цементит», фазовые превращения, структура сталей в равновесном состоянии.
14) Чугуны: белые, серые, высокопрочные, ковкие.
15) Теория термической обработки. Диаграмма изотермического превращения аустенита; образование аустенита при нагреве и его распад при охлаждении.
16) Диффузионные и бездиффузионные превращения. Мартенсит. Превращения при непрерывном охлаждении стали.
17) Углеродистые конструкционные и инструментальные стали.
18) Основные виды отжига, нормализация сталей.
19) Термическая обработка сталей: закалка на мартенсит, отпуск высокий, средний, низкий.
20) Термическая обработка цветных сплавов: закалка на твердый раствор, естественное и искусственное старение.
21) Поверхностное упрочнение материалов: поверхностная закалка, химико-термическая обработка, лазерная обработка.
22) Легированные стали: основные легирующие элементы, их влияние на структуру и свойства, классификация сталей.
23) Конструкционные легированные стали.
24) Стали, устойчивые против коррозии (нержавеющие), жаростойкие, теплостойкие, жаропрочные стали и сплавы.
25) Материалы, применяемые в теплоэнергетике.
26) Порошковые материалы, спеченные, гранулируемые сплавы.
27) Универсальные инструментальные стали, высоколегированные быстрорежущие стали. Твердые сплавы. Режущая керамика.
28) Цветные металлы и сплавы, их свойства и назначение, типовая термическая обработка.
29) Полимеры. Пластмассы: термопластичные, термореактивные.
30) Керамические материалы. Электротехнические материалы.
31) Композиционные материалы на основе полимеров, металлов, керамики.
32) Эвтектические композиционные материалы на алюминиевой, никелевой основе.

5. ВАРИАНТЫ КОНТРОЛЬНЫХ ЗАДАНИЙ

Вариант 1

1. Атомно-кристаллическое строение металлов.

2. Деформируемые сплавы на основе алюминия.
3. Конструкционная цементуемая сталь 12ХН3А, зубчатое колесо.

Вариант 2

1. Дефекты кристаллического строения, их влияние на свойства металлов.
2. Литейные сплавы на основе алюминия (силумины).
3. Конструкционная улучшаемая сталь 40ХН2МА, вал двигателя.

Вариант 3

1. Диаграмма изотермического превращения аустенита.
2. Химико-термическая обработка: нитроцементация, азотирование, ионное азотирование.
3. Жаропрочная (теплостойкая) сталь 11Х11Н2В2МФ, лопатка турбины.

Вариант 4

1. Механические свойства: твердость, временное сопротивление, характеристики пластичности материалов.
2. Химико-термическая обработка: диффузионное насыщение металлами.
3. Коррозионно-стойкая, износостойкая сталь 17Х17Н2 , плунжер.

Вариант 5

1. Механические свойства: ударная вязкость, предел выносливости.
2. Коррозионно-стойкие (нержавеющие) стали и сплавы.
3. Титановый высокопрочный сплав ВТ22, корпус.

Вариант 6

1. Пластическая деформация металлов, возникновение наклепа.
2. Пластмассы термопластичные, термореактивные, газонаполненные.
3. Жаропрочный никелевый сплав ХН55ВМТКЮ, лопатка турбины.

Вариант 7

1. Возврат и рекристаллизация в наклепанных металлах, изменение структуры и свойств при рекристаллизации.
2. Термическая обработка цветных сплавов: закалка на твердый раствор, естественное и искусственное старение.
3. Конструкционная цементуемая сталь 12Х2НВФМА, вал двигателя.

Вариант 8

1. Диаграмма состояния сплавов с эвтектикой и ограниченной растворимостью в твердом состоянии.

2. Конструкционные и инструментальные углеродистые стали.
3. Алюминиевый жаропрочный сплав АК4-1, лопатка компрессора.

Вариант 9

1. Улучшаемые и цементуемые конструкционные стали.
2. Сплавы на основе меди: латуни, бронзы.
3. Титановый сплав ВТ25У, диск компрессора.

Вариант 10

1. Диаграмма состояния «железо-цементит»: фазовые и структурные превращения, влияние содержания углерода на свойства сталей.
2. Технологические свойства материалов.
3. Алюминиевый деформируемый сплав АД31, лопасть вертолета.

Вариант 11

1. Чугуны белые, серые, ковкие и высокопрочные.
2. Жаропрочные сплавы на основе никеля: маркировка, общая характеристика, свойства, назначение.
3. Инструментальная сталь для режущего инструмента 9ХВГ, фреза.

Вариант 12

1. Упругая и пластическая деформация. Хрупкое и вязкое разрушение.
2. Виды отжига: классификация по назначению, влияние на структуру и свойства сплавов. Нормализация сталей.
3. Инструментальная сталь для измерительного инструмента 8ХФ, скоба.

Вариант 13

1. Типовые диаграммы состояния двойных сплавов.
2. Поверхностная закалка стали, прокаливаемость сталей.
3. Конструкционная самолетная сталь 30ХГСА, стойка шасси.

Вариант 14

1. Влияние легирующих компонентов на превращения в сталях, на стабильность феррита и аустенита.
2. Деформируемые сплавы на основе титана.
3. Высокомодульный алюминиевый сплав 1420.

Вариант 15

1. Классификация и маркировка легированных сталей.

2. Эвтектические композиционные материалы на алюминиевой и никелевой основе.
3. Конструкционная азотируемая сталь 38Х2МЮА, зубчатое колесо.

Вариант 16
1. Формирование структуры металлов и сплавов при кристаллизации.
2. Стали для штампового инструмента.
3. Рессорно-пружинная сталь 50ХГФА, пружина.

Вариант 17
1. Керамические материалы.
2. Технология закалки стали на мартенсит, структура и свойства закаленной стали; закалочные среды.
3. Штамповая сталь для горячего деформирования 4Х5В2ФС, штамп.

Вариант 18
1. Лазерная термическая и химико-термическая обработка.
2. Инструментальные быстрорежущие стали.
3. Жаропрочный деформируемый никелевый сплав ХН77ТЮР, диск.

Вариант 19
1. Отпуск стали: высокий, средний, низкий.
2. Твердые сплавы и режущая керамика.
3. Штамповая сталь для холодного деформирования Х12ВМФ, штамп.

Вариант 20
1. Литейные титановые сплавы.
2. Композиционные материалы на основе полимеров, металлов, керамики: принципы создания, свойства, назначение.
3. Быстрорежущая сталь Р6М5К5, фреза.

6. УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

6.1. Контрольная работа включает в себя два теоретических вопроса и технологическую разработку режима термической обработки для детали из данного материала.

6.2. Каждый теоретический вопрос должен быть изложен на 4–5 страницах и содержать 2–3 рисунка или схемы.

6.3. Структура выполнения технологической разработки:

– формулировка задания (материал, деталь);
– описание материала: назначение, химический состав, влияние легирующих элементов, свойства сплава;
– обоснование выбора технологии термической обработки;
– последовательность операций и схема технологического процесса;
– структура, механические свойства сплава после термической обработки; возможные дефекты, контроль качества.

6.4. В конце контрольной работы должны быть приведены ссылки на литературу.

7. ОБРАЗЕЦ ВЫПОЛНЕНИЯ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

7.1. Возврат и рекристаллизация в наклепанных металлах.

Возврат. При нагреве до температуры равной 0,2 – 0,3 $T_{ПЛ}$ происходит частичное снятие упругих искажений кристаллической решетки за счет перемещения атомов на расстояния не свыше межатомных. Твердость и прочность, при этом снижаются, приблизительно на одну треть от прочности наклепанного металла, а пластичность повышается. Это явление получило название отдых или возврат. Изменение механических свойств и структуры металла в зависимости от температуры нагрева $T_{ОТЖ}$ изображено на рис. 1 – 1. При возврате не отмечается каких-либо видимых изменений микро- и макроструктуры, процесс идет на дислокационном уровне.

Рекристаллизация. При дальнейшем повышении температуры и возрастании подвижности атомов развиваются процессы диффузии. В результате в деформированном металле зарождаются и растут новые недеформированные зерна – процесс называется рекристаллизация. Температура рекристаллизации связана с абсолютной температурой плавления соотношением: $T_{РЕКР} = 0,4\ T_{ПЛ}$. Это соотношение справедливо для технически чистых металлов. Примеси и легирующие элементы повышают температуру рекристаллизации сплавов до 0,45 – 0,55 $T_{ПЛ}$.

При рекристаллизации механические свойства полностью возвращаются к исходным, т. е. к тем, которые были до пластической деформации и наклепа: твердость и прочность снижается, а пластичность – повышается. Процесс рекристаллизации происходит в интервале температур: начало процесса рекристаллизации $T_Р^Н$, окончание процесса рекристаллизации $T_Р^К$ (рис. 1).

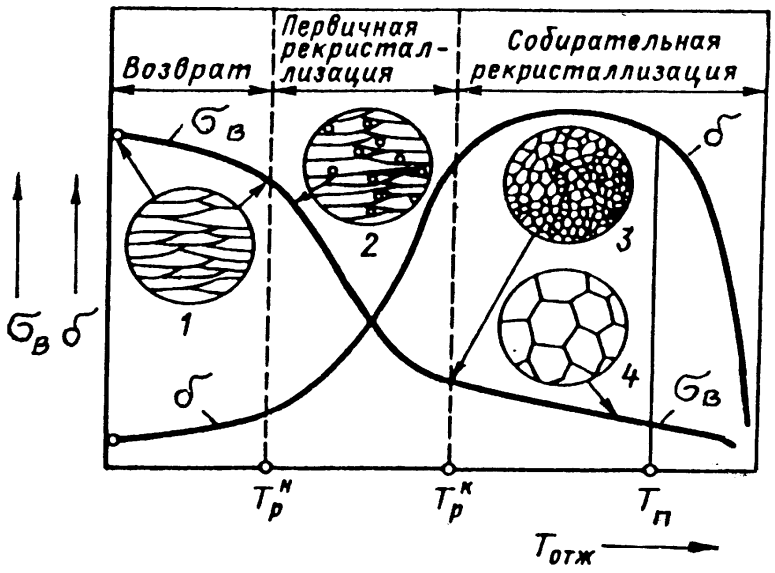


Рис. 1. Влияние температуры отжига на механические свойства и микроструктуру (1 – 4) холоднодеформированного металла:
1 – возврат; 2 – начало процесса рекристаллизации; 3 – окончание процесса первичной рекристаллизации; 4 – собирательная рекристаллизация

Изменение свойств при рекристаллизации обусловлено изменением структуры металла: на первой стадии в наклепанном металле с волокнистой структурой образуются мелкие недеформированные зерна (рис. 1 – 2). При температуре окончания рекристаллизации структура полностью состоит из мелких недеформированных зерен (рис. 1 – 3). Этот этап называют первичной рекристаллизацией. Затем по мере развития процесса происходит рост зерна – укрупнение отдельных зерен за счет более мелких. Эта стадия называется собирательной рекристаллизацией (рис. 1 – 4). При температурах выше $T_П = 0{,}6 – 0{,}7\ T_{ПЛ}$ происходит оплавление границ зерен, это явление называют *пережог*. Все механические свойства металла резко снижаются, происходит хрупкое разрушение с образованием камневидного излома.

Три фактора: степень предварительной деформации, температура нагрева и длительность выдержки наиболее сильно влияют на процесс рекристаллизации и определяют конечную величину зерна и механические свойства сплава.

7.2. Керамические материалы.

Керамика относится к основным материалам, оказывающим определяющее влияние на уровень и конкурентоспособность промышленной продукции. За короткое время, начиная с конца 60-х годов XX века, керамика произвела настоящую революцию в

материаловедении, став третьим промышленным материалом после металлов и полимеров. Экономия может быть достигнута за счет применения новых технологий, например, оптокерамики для передачи информации, и за счет снижения расхода дорогих и дефицитных металлов: титана, тантала в конденсаторах, вольфрама и кобальта в режущих инструментах.

Керамическая технология включает следующие основные этапы: получение исходных порошков с размером частиц до 1 мкм; процесс формования заготовки детали; спекание при температуре 2000–2200 °С; обработка и контроль изделий. Основным условием керамической технологии является получение практически готовых изделий, т. к. керамические материалы с трудом поддаются механической обработке. Для доводки поверхностей применяют алмазные круги, ультразвуковую и лазерную обработку. Общим недостатком керамики является низкая пластичность и соответственно низкая трещиностойкость.

Режущий керамический инструмент по комплексу свойств существенно превосходит традиционные материалы – быстрорежущие стали и твердые сплавы. Для изготовления режущего инструмента широко применяется керамика на основе оксида алюминия Al_2O_3 с добавками TiC, TiN, ZrO_2.

Оптокерамику для технологий передачи информации изготавливают на основе Al_2O_3, MgO, SiO_2, ZnS, это лазерные материалы, световоды, элементы оптической памяти, экраны дисплеев.

Конструкционная керамика допускает применение более высоких температур по сравнению с металлом и, поэтому, является перспективным материалом для двигателей внутреннего сгорания и газотурбинных двигателей. Для ответственных деталей газотурбинных двигателей, таких как камера сгорания, ротор турбокомпрессора, статор, используют нитриды и карбиды кремния Si_3N_4, SiC, которые сохраняют прочность на уровне 600 МПа при температурах до 1200–1400 °С при пластической деформации не более 1 % за 500 ч работы.

В ядерной энергетике применяют керамические материалы на основе оксидов и карбидов вора B_2O_3, B_4C в смеси с оксидами свинца и урана PuO_2, UO_2. Из них изготавливают футеровку реакторов, экранирующие материалы, поглотители нейтронов, контейнеры для захоронения радиоактивных отходов.

Ударопрочная броневая керамика обладает высокой твердостью, модулем упругости и температурой плавления при плотности в 2–3 раза меньшей по сравнению с плотностью металлов. Наиболее высокие

защитные свойства имеют материалы на основе карбида вора B_4C, но их применение сдерживается высокой стоимостью. Для массового производства наиболее перспективен сравнительно дешевый оксид алюминия Al_2O_3, керамику на его основе используют для защиты живой силы, сухопутной и морской техники.

При полете в плотных слоях атмосферы головные части ракет, космических кораблей, нагреваются до высоких температур. Материалы для тепловой защиты должны сохранять высокую прочностью при повышенных температурах 1200–1400 °С в сочетании с минимальными значениями коэффициента термического расширения, теплопроводности и плотности. Таким требованиям отвечают материалы на основе SiO_2, Al_2O_3.

7.3. Разработка технологического процесса термической обработки.

Задание: жаропрочная сталь 13Х14Н3В2Ф, лопатка турбины.

Описание материала.

Малоуглеродистая, высоколегированная, жаропрочная сталь. Химический состав: 0,13 % C; 14 % Cr; 3,1 % Ni; 1,9 % W; 0,25 % V. Сталь качественная: S не более 0,025 %, P не более 0,03 %. Сталь с содержанием 11 – 13 % Cr относится к мартенситно-ферритному классу. Комплексное легирование вольфрамом в сочетании с никелем и ванадием обеспечивает стали высокую прочность и жаропрочность.

Сталь рекомендуется для изготовления высоконагруженных деталей газовых турбин и паросиловых установок, в том числе, дисков, лопаток, длительно работающих при температурах до 550 – 600 °С. Длительная прочность стали 13Х14Н3В2Ф: $\sigma_{100\,ч}^{500\,°C} = 300$ МПа, $t_{раб} = 550°$ С.

Обоснование выбора технологии термической обработки.

Стали мартенситно-ферритного класса закаливают с температур 1000 – 1100 °С в масле или на воздухе; в процессе нагрева под закалку происходит растворение в аустените крупных карбидов. Структура после закалки – мартенсит. Отпуск проводят при 600 – 670 °С; температура отпуска выбирается равной или несколько выше рабочей температуры сплава, для обеспечения стабильности структуры при эксплуатации. После отпуска стали приобретают структуру мартенсита отпуска или троостита – это смесь легированного феррита и дисперсных карбидов, выделившихся при отпуске. Такая структура обеспечивает высокую прочность и жаропрочность стали.

Последовательность технологических операций при термической обработке и схема технологического процесса.

Технологический процесс термической обработки стали 13Х14Н3В2Ф:

1) Нагрев под закалку до 1050 °С, выдержка 20 мин.
2) Закалка с охлаждением в масле.
3) Высокий отпуск: нагрев до 600 °С, выдержка 2 ч.
4) Охлаждение на воздухе.

Схема технологического процесса термической обработки стали 13Х14Н3В2Ф приведена на рис. 2.

Свойства после термической обработки, дефекты и контроль.

Сталь 13Х14Н3В2Ф применяют для ответственных деталей, поэтому после термической обработки контролируют комплекс механических свойств: $\sigma_{0,2}$ = 720 МПа, $\sigma_в$ = 860 МПа, δ = 12 %, KCU = 0,3 МДж/м^2, $\sigma_{100\ ч}^{500\ °C}$ = 300 МПа. Структура после термической обработки – мартенсит отпуска, который представляет собой феррито-цементитную смесь, ориентированную по бывшему мартенситу (рис. 3).

Возможные дефекты – коробление детали. Для устранения дефектов такого типа можно предложить провести во время нагрева под закалку предварительную выдержку 15 мин при 850 °С для выравнивания температуры по сечению детали.

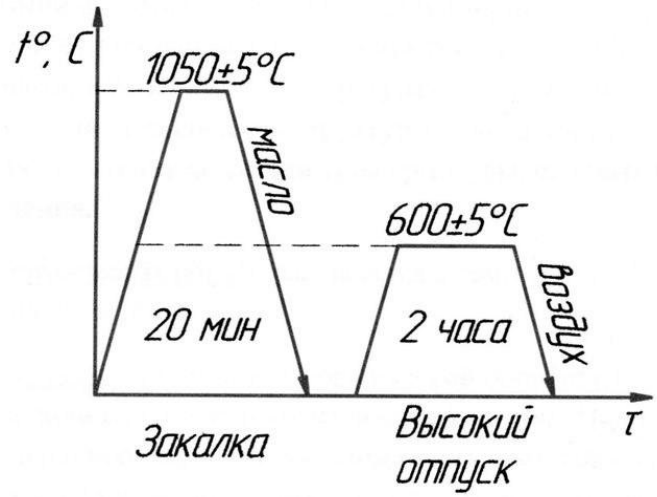


Рис. 2. Схема технологического процесса термической обработки жаропрочной стали 13Х14Н3В2Ф

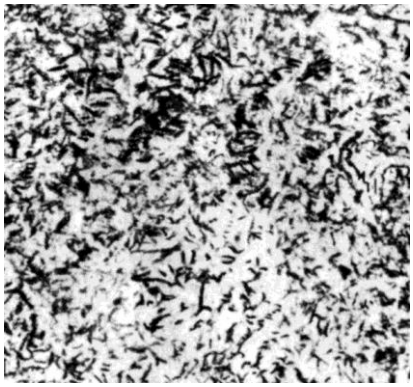


Рис. 3. Микроструктура стали 13Х14Н3В2Ф после термической обработки, ×500

8. ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ

Работа должна быть оформлена в соответствии с требованиями СТП 1.01-1.03 – 2002.

9. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная:

- Материаловедение и технология металлов / Г. П. Фетисов, М. Г. Карпман, В. М. Матюнин и др. – М.: Высшая школа, 2002. – 640 с.
- Материаловедение: Учебник для вузов / Б. Н. Арзамасов, В. И. Макарова, Г. Г. Мухин и др. / Под общ. ред. Б. Н. Арзамасова, Г. Г. Мухина. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2002. – 648 с.
- Воздвиженский В. М., Жуков А. А., Постнова А. Д., Воздвиженская М. В. Сплавы цветных металлов для авиационной техники: Учебное пособие. – Рыбинск: РГАТА, 2002. – 219 с.

Дополнительная:

- Колачев Б. А., Ливанов В. А., Елагин В. И. Металловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов – М.: Металлургия, 1999. – 414 с.
- Золоторевский В. С. Механические свойства материалов. – М.: Металлургия, 1983. – 350 с.
- Лахтин Ю. М., Леонтьева В. П. Материаловедение. – М.: Машиностроение, 1990. – 528 с.