

РОСЖЕЛДОР
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Ростовский государственный университет путей сообщения»
(ФГБОУ ВО РГУПС)

Л.А. Кармазина, В.Н. Кротов, И.С. Морозкин

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ
НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

Учебно-методическое пособие
к практическим занятиям
и расчетно-графической работе

Ростов-на-Дону
2017

Рецензент – кандидат технических наук, доцент А.С. Шапшал

Кармазина, Л.А.

Материаловедение на железнодорожном транспорте: учебно-методическое пособие к практическим занятиям и расчетно-графической работе / Л.А. Кармазина, В.Н. Кротов, И.С. Морозкин; ФГБОУ ВО РГУПС. – Ростов н/Д, 2017. – 40 с.

Содержится обзор механических свойств металлов, необходимые характеристики всех видов сплавов, используемых в технике, и общие рекомендации по выбору материала для деталей железнодорожного транспорта. Приведены характеристики видов термической обработки и их влияние на свойства марки материалов, применяемых на практике для конкретных деталей.

Предназначено для практических занятий и самостоятельной работы студентов при выполнении расчетно-графической работы по дисциплине «Материаловедение на железнодорожном транспорте». Будет полезным для студентов, изучающих курс «Материаловедение на железнодорожном транспорте», а также для студентов старших курсов при выборе материалов для деталей подвижного состава и метода их ремонта или изготовления в курсовых и дипломных проектах.

Рекомендуется для студентов очной и заочной форм обучения специальности «Подвижной состав железных дорог».

Одобрено к изданию кафедрой «Технология металлов».

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Практическое занятие № 1. Механические характеристики металлов и сплавов, применяемых на железнодорожном транспорте</i>	4
<i>Практическое занятие № 2. Характеристики сплавов, используемых на железнодорожном транспорте</i>	6
<i>Практическое занятие № 3. Выбор метода упрочняющей обработки деталей железнодорожного транспорта</i>	19
<i>Практическое занятие № 4. Практика термической обработки стали</i>	23
<i>Библиографический список</i>	31
<i>Приложение А. Материалы, применяемые для отдельных деталей дизеля тепловоза и рекомендуемые методы обработки</i>	32
<i>Приложение Б. Материалы, применяемые для отдельных деталей вагонов и рекомендуемые методы упрочнения</i>	34
<i>Приложение В. Задания на расчетно-графическую работу</i>	36
<i>Приложение Г. План расчетно-графической работы</i>	39

МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

Все механические свойства материалов, характеризующие их поведение под нагрузкой, могут быть разделены на следующие три категории: механическая прочность, надежность и долговечность.

Механическая прочность

Прочность – способность противостоять внешним воздействиям без разрушения или деформации сверх допустимой меры. Прочность характеризуется пределом упругости ($\sigma_{0,2}$), пределом текучести (σ_s) и пределом прочности (σ_b). При динамическом воздействии прочность оценивается ударной вязкостью (KC), при знакопеременной нагрузке пределом выносливости (σ_R).

Вязкость – способность поглощать работу при деформации и разрушении. Вязкость – один из важнейших факторов, характеризующих способность металла сопротивляться динамическим и знакопеременным нагрузкам.

Пластичность – способность принимать остаточные деформации до разрушения. Пластичность характеризуется относительным удлинением (δ), относительным сужением (ψ) и важна для многих деталей.

Упругость – способность восстанавливать свою форму и размеры после прекращения действия внешних сил. Все детали механизмов и конструкций работают в пределах упругих деформаций.

Обобщающую роль играет такая характеристика, как твердость (HB , HRC , HV). Твердость и прочность связаны определенной зависимостью (для сталей $\sigma_b = 0,34 HB$). Твердость связана с пластичностью и вязкостью (чем выше твердость, тем менее пластичный и более хрупкий материал). В зависимости от метода обработки у одного и того же материала может быть получена различная твердость.

Для материалов, используемых в транспортных средствах, важной характеристикой является удельная прочность – отношение предела прочности σ_b к плотности материала ρ . У различных сплавов эта характеристика существенно отличается.

Второй категорией является **надежность** – способность противостоять хрупкому разрушению. Это комплекс характеристик, обеспечивающих надежную эксплуатацию деталей и конструкций. Надежность зависит от достаточной пластичности (δ и ψ) и ударной вязкости (KC). Очень важной характеристикой надежности является трещиностойкость материала – группа параметров, определяющих способность материала противостоять развитию трещины.

Оценку надежности производят по параметрам ударной вязкости KCU , KCV , KCT .

KCU – общая характеристика ударной вязкости, оцениваемая с помощью образцов с полукруглым надрезом.

KCV – та же характеристика, но оцениваемая при испытании образцов с острым надрезом, используется при выборе материалов для сосудов, работающих под давлением, трубопроводов и других ответственных конструкций.

KCT оценивается с помощью образцов, у которых ранее получена трещина усталостного типа и характеризует пригодность материала для особо ответственных конструкций (летательные аппараты, роторы турбин и т.п.). Надежность характеризуется также порогом хладноломкости, который определяет переход пластичного материала в хрупкое состояние при низких температурах. Порог хладноломкости оценивают в процессе ударных испытаний образцов, охлажденных до низких температур. Он является важной характеристикой для материалов, используемых в механизмах, работающих при отрицательных температурах (Крайний Север, Сибирь и т.п.).

Третья категория прочности – *долговечность*. Она характеризует способность материала сопротивляться постепенному разрушению в результате развития усталостных трещин или изнашивания, ползучести, коррозии и т.п. Долговечность оценивается циклической долговечностью и износостойкостью.

Циклическую долговечность определяют в процессе испытаний при знакопеременных нагрузках (σ_R). Показатель *R* характеризует асимметрию цикла нагрузки. По результатам испытаний оценивают долговечность, которая может быть неограниченной и ограниченной, в зависимости от величины действующих напряжений.

Износостойкость – способность оказывать сопротивление изнашиванию – процессу разрушения поверхности материала в результате отделения его частиц под воздействием сил трения. Изнашивание происходит в результате схватывания отдельных точек в узлах трения и отрыва их, разрушения в процессе трения продуктов коррозии, резания материала абразивными частицами, попадающими между поверхностями трения. Износ определяется по потере веса изнашивающимися деталями или изменению их размеров и геометрии. Как правило, процесс изнашивания комплексный. При подборе материала для конкретной детали необходимо устанавливать ведущий (основной) вид изнашивания. Подбор материала и упрочнение производятся с учетом этого ведущего вида изнашивания.

Таковы основные качественные категории материалов и характеристики, определяющих их свойства. Кроме характеристик механических свойств значительную роль играют технологические свойства: методы изготовления и упрочнения деталей. Металлические сплавы, у которых температурный интервал кристаллизации широкий, имеют плохие литейные свойства. Они склонны к значительной усадке, плохо заполняют литейную форму, часто имеют внутренние дефекты в виде пор, раковин и т.п. Хорошими литейными свойствами обладают сплавы с узким температурным интервалом и низкой температурой кристаллизации. К таким материалам относятся чугун, бронза, силумин, баббиты. Стали имеют малую жидкотекучесть и большую склонность к усадке. Получить из стали хорошую отливку сложно. К тому же литая стальная деталь всегда будет иметь меньшую прочность, чем кованая, так как в ней будут

внутренние дефекты (посторонние включения и усадочная пористость). По этой причине детали из стали преимущественно изготавливают методомковки, прокатки или штамповки. Обработка давлением повышает прочность стали и способствует более благоприятному внутреннему строению.

И, наконец, очень важным является экономический фактор: конструктор и технолог, стремясь снизить стоимость конструкции, выбирают для деталей наименее дорогие материалы и наиболее дешевые способы изготовления. Но дешевые материалы и методы изготовления не всегда обеспечат надежную и долговечную эксплуатацию механизма. Даже, наоборот, расходы на ремонт механизмов часто превышают первоначальную стоимость. Как правило, дешевый механизм дорог в ремонте. Выбирать же дорогие и надежные материалы и методы изготовления не всегда целесообразно, так как моральное старение механизма может происходить быстрее, чем его физическое старение. В результате приходится заменять устаревший, но еще годный к эксплуатации механизм. Это расточительно. Искусство инженера заключается в том, чтобы подобрать такие материалы и такие методы изготовления, которые обеспечат экономную работу механизма на протяжении всего периода его эксплуатации, до замены новым, более эффективным. Найти такую «золотую середину» очень сложная задача, но к ее решению должен стремиться каждый инженер.

Практическое занятие № 2

ХАРАКТЕРИСТИКИ СПЛАВОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

В технике используется большое разнообразие сплавов, имеющих различный химический состав, структуру и свойства. Основные из них – железоуглеродистые сплавы – стали и чугуны, а также цветные сплавы на основе алюминия, меди, олова, свинца и др.

СТАЛИ

Углеродистые стали

Это, как правило, более дешевые сплавы. По содержанию углерода стали делятся на доэвтектоидные, эвтектоидные и заэвтектоидные. По назначению – на конструкционные и инструментальные. Конструкционными условно считают стали, содержащие до 0,7 % углерода. Это – доэвтектоидные стали с феррито-перлитной структурой. Феррит мягок и пластичен, перлит более тверд, более прочен и менее пластичен. С увеличением содержания углерода количество феррита уменьшается, а содержание перлита увеличивается, то есть с повышением содержания углерода прочность и твердость стали растут, а пластичность снижается (рис. 1). Поскольку структура стали состоит из двух фаз – феррита и цементита, то согласно закону Курнакова свойства сплавов-смесей изменяется по линейному закону. Нарушение линейности у заэвтектоидных сталей объясняется спецификой структуры. Расположение цементита у заэвтектоидных

сталей по границам зерен перлита в виде тонких прослоек резко снижает пластичность и уменьшает прочность, так как разрушение происходит не по зерну перлита, имеющему заметную пластичность, а по границам, занятым тонкими и очень хрупкими прослойками цементита.

С достаточной для практики точностью по приведенной зависимости можно определять прочность конкретных марок сталей, или по известной прочности определять содержание углерода (а по нему марку) требуемой стали.

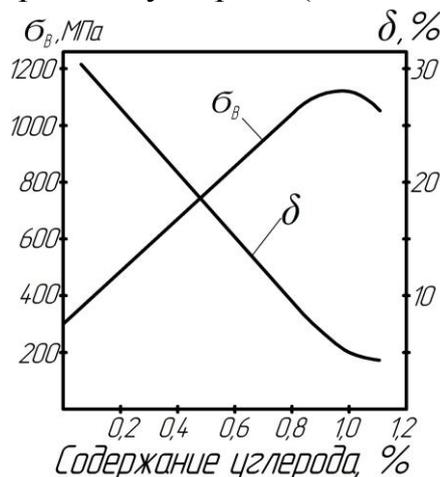


Рис. 1. Зависимость механических свойств углеродистых сталей после нормализации

Конструкционные стали подразделяют на стали обыкновенного качества (ГОСТ 380-2005) и стали качественные (ГОСТ 1050-2013).

Углеродистую сталь обыкновенного качества изготавливают следующих марок: Ст0, Ст1кп, Ст1пс, Ст1сп, Ст2кп, Ст2пс, Ст2сп, Ст3кп, Ст3пс, Ст3сп, Ст3Гпс, Ст3Гсп, Ст4кп, Ст4пс, Ст4сп, Ст5пс, Ст5сп, Ст5Гпс, Ст6пс, Ст6сп.

Буквы «Ст» обозначают «Сталь», цифры – условный номер марки в зависимости от химического состава, буква Г – марганец при его массовой доле в стали 0,80 % и более.

Качественные стали маркируются по содержанию углерода. Марка определяет среднее содержание углерода в сотых долях процента (сталь 05, 08, 10, 15, 20, 25 ... 70).

Стали обыкновенного качества и качественные разделяют по степени раскисления на спокойные, полуспокойные и кипящие. Соответственно в конце марки ставятся буквы *сп*, *пс*, *кп*. Так как большая часть сталей – спокойные, то буквы *сп* обычно опускают из марки.

Спокойные стали содержат меньше газов, меньше неметаллических включений. Их используют для деталей, испытывающих значительные динамические нагрузки.

Кипящие стали содержат уменьшенное количество углерода (как правило, не более 0,2 %) и почти не содержат кремния – Ст1кп, Ст2кп, Ст3кп, 05кп, 08кп, 10кп, 15кп. Они более пластичны, хорошо деформируются в холодном состоянии, поэтому из них прокатывают лист для холодной штамповки (глубокой вытяжки). Кипящие стали дешевле.

Полуспокойные стали занимают промежуточное положение между спокойными и кипящими. Они более дешевы, чем спокойные, у них меньше отход на усадочную раковину.

В конце марок сталей, предназначенных для деталей, изготавливаемых методом литья, ставят букву Л (20Л, 25Л).

По содержанию углерода конструкционные стали делятся на цементируемые (до 0,25 % С) и улучшаемые (более 0,3 % С). По прочности стали делятся на малопрочные (до 0,2 % С), средней прочности (0,3 ... 0,5 % С) и прочные (0,55 % С и более).

Мягкие, малопрочные стали идут на изготовление деталей, не испытывающих значительных напряжений, но работающих в условиях динамических нагрузок (рамы и кузова транспортных средств, фермы мостов, кранов и перекрытий).

Стали цементируемые идут на изготовление большой группы деталей, которые наряду со значительными динамическими нагрузками подвергаются износу, поэтому они должны сочетать в себе высокую вязкость сердцевины и значительную твердость поверхностного слоя. Это достигается насыщением поверхности углеродом до содержания 0,9...1 % на глубину 1,5...2,0 мм. Стали этой группы используют также для изготовления деталей невысокой прочности (втулки, штуцеры, болты, гайки, трубы и т.п.).

Стали средней прочности и прочные подвергаются термической обработке – улучшению (закалка с последующим высоким отпуском). После улучшения стали обладают значительной вязкостью и малой чувствительностью к концентраторам напряжений. Но, как и все углеродистые стали, они обладают пониженной прокаливаемостью, поэтому рекомендуются для деталей с небольшим сечением. Из сталей средней прочности изготавливают шатуны, коленчатые валы, зубчатые колеса, кулачки оси, маховики и т. п. Чем детали крупнее, тем выше в них должно быть содержание углерода. Такие детали после нормализации подвергают закалке с нагревом токами высокой частоты (ТВЧ). Это обеспечивает значительную твердость и износостойкость поверхности и высокую стойкость к динамическим нагрузкам сердцевины.

Стали прочные идут на изготовление деталей пружинно-рессорной группы. Эти детали подвергаются закалке и среднему отпуску. Структура их должна быть трооститная или троосто-сорбитная. Если изготавливаются детали, подвергающиеся только изнашиванию (скользуну, накладку и т.п.), то после закалки эти детали рекомендуется подвергать низкому отпуску для сохранения наибольшей твердости (HRC 62...64 ед.).

Стали обыкновенного качества часто используют как строительные, идущие на изготовление металлоконструкций.

Стали качественные в основном используются в машиностроении.

Основными недостатками конструкционных углеродистых сталей являются пониженная прочность, пониженная прокаливаемость и необходимость при закалке применять охлаждение в воде. Резкое охлаждение способствует появлению значительных внутренних напряжений и короблению деталей.

В инструментальных углеродистых сталях содержание углерода находится в пределах 0,7...1,3 %. Они маркируются по содержанию углерода в десятых долях процента У7, У8 ... У13 (ГОСТ 1435-99). У качественных конструкционных и инструментальных сталей, содержащих минимальное количество вредных примесей (серы и фосфора), в конце марки ставится буква А (стали 25А, 50А, У8А, У10А и т.д.). У инструментальных углеродистых сталей, как и у конструкционных, малая прокаливаемость (10...12 мм), поэтому из них изготавливают инструмент с поперечным сечением не более 25 мм.

Стали У7, У8, У9 обладают повышенной вязкостью, их применение для изготовления ударного инструмента: молотки, зубила, бородки, вырубные штампы и т.п. Стали У9, У10 обладают повышенной твердостью и достаточной вязкостью, их применяют для изготовления режущего инструмента, работающего при незначительных скоростях резания: сверла, резцы, фрезы, ножовочные полотна и т. п.

Стали У11, У12, У13 имеют самую высокую твердость после закалки, но у них очень низкая вязкость, поэтому их применяют для инструмента, работающего при малых скоростях резания и достаточно равномерных нагрузках: напильники, резьбонарезной инструмент, развертки и т. п.

Общим недостатком углеродистых инструментальных сталей является низкая теплостойкость. Уже при нагреве режущей кромки инструмента до температуры 230 °С начинает снижаться твердость, происходит деформация режущей кромки и возрастание ее нагрева. Это приводит к выходу инструмента из строя. Инструмент из углеродистых сталей может работать только при малых скоростях резания и применяется для обработки древесины, пластмасс и т. п.

Общим для всех углеродистых сталей являются снижение вязкости и повышение твердости при увеличении содержания углерода. Исходя из этого, следует подбирать материал для деталей и инструмента, работающих при определенных скоростях резания и нагрузках. То есть подбор материала должен производиться исходя из напряженного состояния детали (инструмента).

Легированные стали

Для улучшения механических свойств или получения новых, особых свойств в стали вводят легирующие компоненты. Наличие легирующих компонентов отражается в марке стали (ГОСТ 4543-2016) введением букв русского алфавита, присвоенных каждому легирующему компоненту: Х – хром, Н – никелю, К – кобальту, М – молибдену, Т – титану, В – вольфраму, С – кремнию, Г – марганцу, Д – меди, Б – ниобию, Р – бору, П – фосфору, А – азоту (если эта буква стоит в середине марки), Ф – ванадию, Ю – алюминию, Ч – редкоземельным элементам. После каждой буквы ставится цифра, соответствующая содержанию данного легирующего компонента в процентах (единица не ставится).

В марке конструкционных легированных сталей по ГОСТ 4543-2016 на первом месте стоит число, указывающее содержание углерода в сотых долях процента, затем ставятся буквы, присвоенные легирующим компонентам, и цифры, соответствующие содержанию этих компонентов.

В марках инструментальных легированных сталей содержание углерода указывают цифрой или числом, соответствующим содержанию углерода в десятых долях процента (единица или десятка иногда не ставится). В остальном маркировка совпадает с маркировкой конструкционных сталей. В конце марки как конструкционных, так и инструментальных легированных сталей (как и углеродистых) может стоять буква А, указывающая на повышенное качество стали за счет пониженного содержания серы и фосфора. При оценке качества легированных сталей следует исходить из влияния легирующих элементов на свойства стали.

Многие легирующие элементы растворяются в феррите и упрочняют его. Структура сталей содержит очень много феррита, поэтому прочность легированных сталей существенно выше прочности углеродистых сталей.

Ряд легирующих компонентов образуют карбиды (хром, вольфрам, молибден, марганец, ванадий и др.), которые повышают твердость стали. Бор, титан, ванадий, вольфрам снижает склонность к росту зерна и способствуют образованию мелкозернистой структуры. Используемые легирующие элементы оказывают следующее влияние на механические свойства:

Кремний – один из наиболее дешевых компонентов. Растворяясь в феррите, упрочняет его, повышает твердость, при содержании более 1 % снижает ударную вязкость, не вызывает явление отпускной хрупкости.

Марганец – тоже дешевый компонент, растворяется в феррите и цементите, упрочняет сталь, при содержании до 1 % повышает вязкость. Снижает критическую скорость закалки, увеличивает прокаливаемость, вызывает склонность к перегреву и к отпускной хрупкости. При термической обработке марганцовистых сталей требуемую твердость рекомендуется получать при закалке, подбирая скорость охлаждения.

Хром – растворяется в феррите и цементите, существенно увеличивает прокаливаемость, вызывает появление отпускной хрупкости. Мало влияя на прочность, хром при содержании до 1 % существенно повышает вязкость, при содержании более 2 % вязкость значительно снижается. Наибольшее влияние хрома проявляется при комплексном легировании хромом, кремнием и марганцем. Стали, содержащие хром, марганец и кремний, относят к группе «хромансиль». Стали этой группы широко используются для деталей механизмов, так как они обладают повышенной прочностью (\approx на 50 %), достаточной пластичностью и очень хорошими технологическими свойствами: ковкостью, свариваемостью, обрабатываемостью. Детали, изготовленные из сталей группы «хромансиль», при равной прочности имеют меньший вес, чем детали, изготовленные из углеродистых сталей с одинаковым содержанием углерода. Это особенно важно для кривошипно-шатунных механизмов, испытывающих значительные инерционные динамические нагрузки.

Очень благоприятное влияние на механические характеристики оказывает *никель*. Добавки никеля к хромистым сталям повышают вязкость и снижают склонность к хрупкому разрушению. Никель, как и хром, увеличивает прокаливаемость и вызывает склонность к отпускной хрупкости. Чтобы устранить этот

недостаток, вводят в стали вольфрам или молибден (до 1 %). Никель существенно снижает температуру перехода в хрупкое состояние.

На рис. 2 представлено влияние легирующих элементов на твердость и ударную вязкость феррита. Приведенные диаграммы обобщают сведения, приведенные ранее, и дают представление об изменении свойств легированных сталей в зависимости от содержания легирующих компонентов.

Вольфрам и молибден – дорогие и дефицитные карбидообразующие добавки, растворяющиеся в цементите, вводят их в сталь для получения мелкого зерна и увеличения прокаливаемости.

В конструкционные стали для измельчения зерна вводятся и такие карбидообразователи, как *титан* и *ванадий*. Их вводят в стали, содержащие хром, марганец и никель.

Высокая стоимость никеля заставила искать ему заменитель. Таким заменителем стал марганец, но марганец менее эффективен и вызывает склонность к перегреву. Для устранения склонности к перегреву в стали, содержащие марганец, вводят *титан* или *бор*. Так появилась группа цементируемых или улучшаемых сталей типа ХГТ и ХГР (например, стали 18ХГТ, 20ХГР), которые широко используются в машиностроении для изготовления зубчатых колес и других деталей, работающих в сложных напряженных условиях. Эти стали дешевле, чем с никелем, а по свойствам мало уступают им.

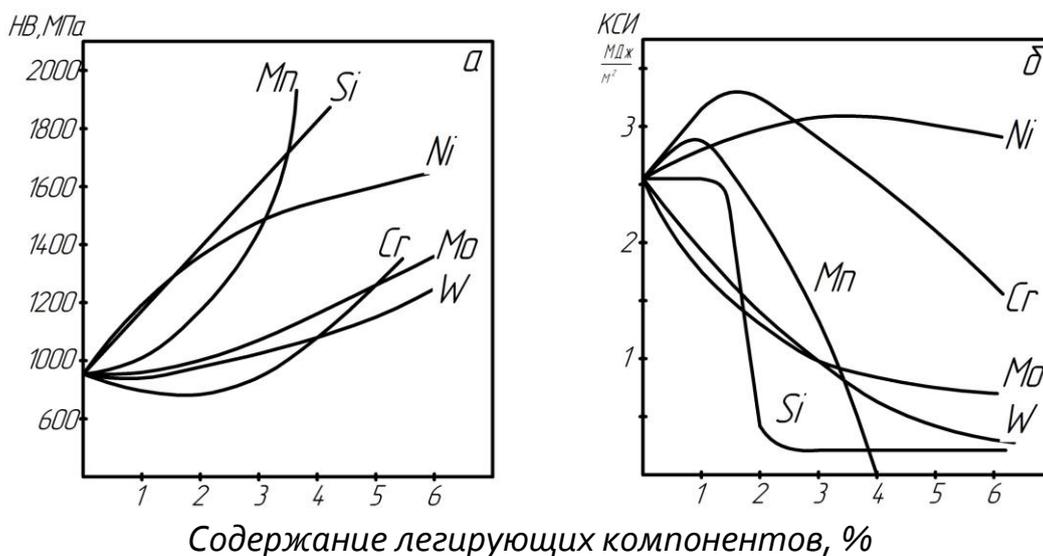


Рис. 2. Влияние легирующих элементов на свойства феррита:
а – твердость; б – ударная вязкость

Для повышения коррозионной стойкости в атмосферных условиях в стали, содержащие хром и никель, вводят медь до 0,3 % и фосфор. Таким образом были созданы строительные стали типа ХНДП (10ХНДП), используемые для обшивки кузовов подвижного состава и других конструкций, работающих на открытом воздухе.

Если речь идет о конструкционных легированных сталях с особыми свойствами, то выбор их должен производиться с учетом свойств, определяемых условиями работы: коррозионно-опасные жидкие среды, наличие окислитель-

ной атмосферы при высоких температурах, работа в условиях высоких температур и значительных нагрузок, интенсивное изнашивание и т.п.

Для каждой группы таких деталей рекомендуются определенные марки сталей, производимые по специальным техническим условиям.

Для деталей, работающих в агрессивных жидких средах, рекомендуются нержавеющие стали, в составе которых должно быть не менее 12 % хрома. Эти стали могут содержать никель, повышающий вязкость, титан или ниобий, устраняющий склонность к межкристаллитной коррозии.

Для деталей котельных и газотурбинных установок, работающих в контакте с высокотемпературной средой, содержащей избыточный кислород, применяют окислительноустойчивые стали, легированные кремнием, хромом и алюминием. Если же детали, кроме воздействия высокотемпературной газовой среды, испытывают значительные механические нагрузки, для них подбирают жаропрочные стали с добавками хрома, никеля, молибдена. Это – специальные стали аустенитного или карбидного классов, пригодные для работы при высоких температурах. Такие сплавы образуют группу крипоустойчивых сталей и сплавов. Главным видом разрушения деталей, изготавливаемых из этих сплавов, является ползучесть (крипп) – переход упругих деформаций в остаточные при высоких температурах в результате рекристаллизации. Основными критериями при выборе сталей являются: рабочая температура и величина действующих напряжений.

В группу износостойчивых сталей входят высокомарганцовистые стали аустенитного класса, обладающие высокой износостойкостью только при значительных удельных давлениях (зубья экскаваторов, щеки камнедробилок, траки гусениц, крестовины стрелочных переводов и т. п.).

К износостойчивым сталям следует отнести шарикоподшипниковые стали, разрушающиеся в результате образования питтингов (выкрашивание металла под влиянием контактно-усталостных напряжений). Повышение контактно-усталостной прочности этих сталей достигается введением хрома до 2 %, кремния и марганца. Хром способствует увеличению прокаливаемости, кремний и марганец – повышению прочности стали. В шарикоподшипниковых сталях строго регламентируется содержание неметаллических включений, способствующих образованию трещин усталостного типа. Особо важно это для подшипников качения, работающих при больших удельных нагрузках и высоких скоростях. Освобождение сталей от неметаллических включений достигается применением электрошлакового переплава. В конце марки таких сталей ставится буква Ш (ШХ15-Ш). Инструментальные стали могут быть низколегированными и высоколегированными, они применяются для изготовления режущего, штампового и измерительного инструмента.

Основными требованиями, предъявляемыми к сталям для режущих инструментов, являются теплостойкость (способность сохранять твердость при нагреве) и износостойкость. Последнее качество очень важно для точного инструмента: резбонарезного, зубонарезного, протяжек, разверток и т.п. Теплостойкость зависит от содержания легирующих элементов, растворяющихся в

аустените, а твердость износостойкость – от содержания карбидообразующих элементов (хрома, вольфрама, ванадия, титана, марганца). Теплостойкость низко и среднелегированных сталей достигает 270...300 °С. Эти стали не допускают высоких скоростей резания и требуют усиленного охлаждения при работе. Высоколегированные стали (быстрорежущие и им подобные) имеют теплостойкость на уровне 600 °С и допускают большие скорости резания. Наибольшей теплостойкостью (900...1000 °С) обладают твердые металлокерамические сплавы группы победит, на основе порошков карбидов вольфрама, титана, тантала и металлического кобальта, играющего роль цементирующей связки. Эти сплавы допускают высокие скорости резания, но не выносят ударных нагрузок, так как очень хрупки. Хрупкость тем выше, чем меньше кобальта. Для обработки резанием чугунов рекомендуется инструмент с пластинами из сплавов ВК (ВК3, ВК6, ВК8), а для обработки сталей – сплавы группы ТК и ТТК (Т15К6, Т30К10, Т5К10, ТТ7К12, ТТ8К6). Для более высоких скоростей резания рекомендуются сплавы, состоящие из кубического нитрида бора (КНБ), получаемые также методом спекания. У этих сплавов (эльбор, эльбор-Р, баразон) твердость приближается к твердости алмаза, а теплостойкость достигает 1200 °С.

Выбор материала для режущего инструмента производят с учетом перечисленных выше качеств и требований.

Для измерительного инструмента применяют, прежде всего, стали, обеспечивающие высокую износостойкость и постоянство формы и размеров в процессе службы. Стали должны мало деформироваться при термообработке. Используются для измерительного инструмента заэвтектоидные стали марок Х, ХГ, ХВГ, 9ХС. После термообработки инструмент подвергают искусственному старению (нагрев 120...140 °С в течение 24...48 ч). Скобы, шаблоны, линейки изготавливают также из мягких сталей (15, 20, 15Х, 20Х и т.п.) с последующей цементацией для обеспечения необходимой твердости и износостойкости. В этом случае объемные изменения, происходящие в поверхностном слое, практически не отражаются на размерах инструмента.

Штамповый инструмент может работать при обычной температуре (холодная обработка давлением) и при высокой температуре (горячая обработка давлением). К сталям для холодной штамповки предъявляются требования по прочности, износостойкости, в то же время у них должна быть достаточная вязкость. Для этих штампов применяют заэвтектоидные стали типа Х, ХВГ, 9ХС, ХВСГ и углеродистые У9, У10, У11, У12. Крупные штампы, которые должны иметь достаточную прокаливаемость, изготавливают из высокохромистых сталей Х12, Х12М, Х12Ф. Их термообработка близка к термообработке быстрорежущих сталей ($t_s = 1100...1170$ °С с последующим 4...6-кратным отпуском при 500...580 °С). Инструмент, работающий при ударах (зубила, бойки, гибочные штампы и т.п.) изготавливают из сталей с меньшим содержанием углерода и легирующих элементов (Х6ВФ, 4ХС, 6ХС, 4ХВ2С, 5ХВ2С, 6ХВ2С).

Стали для штампов горячей штамповки, работающих в значительно более сложных условиях, должны быть износостойкими, прочными, иметь значительную прокаливаемость и стойкость против термической усталости (разгаро-

стойкость) – способность сопротивляться частым сменам температуры без образования трещин на поверхности штампа. Это достигается, прежде всего, снижением содержания углерода до 0,3...0,6 %.

Молотовые штампы изготавливают из сталей 5ХНВ, 5ХНМ, 5ХНВС, 5ХГМ. Последние две стали имеют меньшую вязкость. Сталь 5ХНВС обладает меньшей прокаливаемостью, чем сталь 5ХНМ. Штампы для горячей штамповки обрабатывают на троостит или троостосорбит с твердостью *HRC* 35...45. Для горизонтально-ковочных машин штампы изготавливают из сталей 3Х2В8Ф, 4Х2В5МФ, 4Х5В2ФС, твердость которых после термообработки *HRC* не менее 45 ед. Подбор сталей необходимо проводить по соответствующей справочной литературе.

ЧУГУНЫ

Чугуны являются одним из распространенных конструкционных материалов, обладающих как высокими технологическими свойствами (хорошие литейные свойства), так и механическими характеристиками. Чугуны хорошо сопротивляются сжимающим нагрузкам, наличие в структуре графитных включений способствует поглощению вибраций, возникающих в работающем механизме. Высокая жидкотекучесть и малая усадка чугунов позволяют изготавливать детали дешевым методом – литьем. По этим причинам чугуны используются для изготовления станин, блоков, картеров, корпусов редукторов, коробок передач и других крупных деталей сложной формы.

По структуре чугуны могут быть белыми, серыми, модифицированными и ковкими.

Белые чугуны содержат углерод в виде цементита, имеют очень высокую твердость и очень хрупки. По этим причинам они как конструкционный материал не используются. Структура белого чугуна является промежуточной при получении ковкого чугуна. Наибольшее применение находят *серые чугуны*. Около 70 % литых деталей – из серых чугунов. У этих чугунов углерод полностью или частично выделился в виде графита. Графитные включения у серых чугунов имеют форму пластинок, вкрапленных в основу, которая в зависимости от степени графитизации может быть ферритной, феррито-перлитной или перлитной. Перлитно-цементитная структура обычно присутствует на поверхности отливок в виде отбеленной корки, если песчаная форма была очень сырой или кокиль мало подогрет. Чугун с такой структурой обрабатывать очень трудно, так как твердые цементитные включения тупят режущий инструмент. Включения графита могут рассматриваться как трещины в основной структуре, заполненные мягким и хрупким графитом, поэтому чугуны плохо сопротивляются растяжению и изгибу. На концах графитных включений возникают очаги разрушения. Ферритная основа очень мягкая, и чугун с такой основой тоже очень мягкий, но хрупкий. По этой причине ферритные серые чугуны, как правило, не применяются.

Чаще используют чугуны с феррито-перлитной основой. Чем больше перлита в структуре, тем чугун более тверд, более прочен и износостоек.

Наибольшая прочность и износостойкость у перлитных серых чугунов, обладающих к тому же хорошими антифрикционными свойствами. Феррито-перлитные чугуны применяются для отливки крупногабаритных деталей (стабилизаторы, блоки дизелей, картеры и т.п.). Перлитную структуру стремятся получить в деталях, работающих на трение: цилиндрические втулки, поршни, поршневые кольца, подшипники скольжения и т.п. Чугунные подшипники хорошо работают при больших нагрузках и небольшом числе оборотов. Включения графита впитывают смазку и обеспечивают чугунам высокие антифрикционные свойства.

Управляют структурой чугунов с помощью кремния и марганца. Кремний способствует графитизации. Чем его больше, тем больше выделяется графита, и чугун становится мягче. Кремний может быть в пределах 1...4 %. Марганец препятствует графитизации и способствует отбелу, поэтому содержание марганца в серых чугунах не превышает 1,5 %. Вводят марганец для уменьшения вредного влияния серы, делающей чугун вязким, плохо заполняющим форму.

Маркируются серые чугуны буквами СЧ и цифрами, соответствующими среднему пределу прочности при растяжении в кгс/мм²: СЧ10, СЧ15, СЧ25...СЧ45 (ГОСТ 1412-85). Марки СЧ10, СЧ15 соответствуют структуре ферритного чугуна, СЧ20, СЧ25 – феррито-перлитного чугуна, остальные – структуре перлитного чугуна.

Свойства чугуна зависят от количества, формы и размера графитных включений. Чем мельче графитные включения, тем выше прочность чугуна. Добиваются измельчения графитных включений модифицированием чугуна в ковше добавками силико-кальция, ферросилиция и т.п. Прочность таких чугунов выше (СЧ30, СЧ35, СЧ40, СЧ45). Если в качестве модификатора вводить магний, то графит приобретает форму шаровидных включений. Наличие шаровидного графита, при всех положительных качествах серых чугунов, сообщает чугуну более высокую прочность и заметную пластичность. Магниевые чугуны с шаровидным графитом относятся к группе высокопрочных чугунов. Маркируются они буквами ВЧ и числом, которое соответствует пределу прочности при растяжении в кгс/мм² (ГОСТ 7293-85). Марки чугунов ВЧ38, ВЧ42, ВЧ50 имеют феррито-перлитную основу с преобладанием феррита. В чугунах марок ВЧ60, ВЧ80, ВЧ120 в структуре преобладает перлит с незначительными включениями феррита. Высокопрочные чугуны применяются для изготовления сложных по конфигурации деталей, работающих в условиях очень больших динамических нагрузок, например, корпуса паровых турбин, лопатки направляющего аппарата насосов, коленчатые валы тепловозных дизелей и автотракторных двигателей. Такие валы намного дешевле стальных кованых или штампованных, а по работоспособности не уступают им.

В автотракторном и сельскохозяйственном машиностроении широко применяются ковкие чугуны, которые получают отжигом литых деталей, имеющих структуру белого чугуна. При отжиге цементит распадается с образованием графитных включений хлопьевидной формы, поэтому ковкие чугуны менее хрупкие и обладают заметной пластичностью. Маркируются ковкие чугуны

(ГОСТ 1215-79) буквами КЧ и двумя числами, значение которых такие же, как у высокопрочных чугунов.

Чугуны марок КЧ30-6, КЧ35-10, КЧ37-12 имеют феррито-перлитную структуру основы со значительным преобладанием феррита и называются ферритными ковкими чугунами. Чугуны марок КЧ45-7, КЧ60-3, КЧ80-1,5 являются перлитными ковкими чугунами с небольшим (менее 20 %) количеством феррита в структуре.

Ковкие чугуны применяются для отливки шестерен, шкивов, звездочек, звеньев цепных передач, корпусов коробок передач и редукторов, сантехнической арматуры и т.п. Ковкие чугуны в сравнении с серыми более пластичны (ферритные) и более прочные (перлитные), обладают герметичностью. Недостатком ковких чугунов является их высокая стоимость (из-за длительного дорогого отжига), к тому же структуру ковкого чугуна получают в отливках сравнительно небольших размеров, толщина стенок которых не должна превышать 50 мм.

ЦВЕТНЫЕ МЕТАЛЛЫ И СПЛАВЫ

Алюминиевые сплавы

Конструкционные алюминиевые сплавы делятся на литейные и деформируемые. Положительным качеством алюминиевых сплавов является их высокая удельная прочность (отношение предела прочности к плотности). К литейным сплавам относятся силумины. Они содержат 10...14 % кремния и являются эвтектическими или близкими к ним сплавами. Эвтектические сплавы жидкотекучи и хорошо заполняют литейные формы. В технике силумины используют для отливки поршней блоков и картеров двигателей, крышек и картеров коробок передач и редукторов, гарнитуры (ручки, полочки, крючки и т.п.) пассажирских вагонов и т.п. Для повышения жаропрочности силумины легируют магнием, марганцем, медью, титаном, никелем, хромом, цирконием.

Некоторые марки силуминов подвергаются термообработке: закалке ($t_n = 515...535$ °С) и старению при 150...180 °С. Прочность силуминов колеблется в пределах 13...36 кгс/мм², относительное удлинение – от 2 до 18 %. Силумины маркируют буквами АЛ (ГОСТ 1583-93).

Дюралюминий – деформируемый алюминиевый сплав, в котором кроме алюминия содержатся медь, магний, марганец и другие элементы. Дюралюминий подвергается термической обработке, значительно упрочняющей сплав. В результате термообработки удельная прочность дюралюминов достигает 23 кгс·см³/мм² и приближается к удельной прочности высокопрочных сталей (27 кгс·см³/мм²).

Дюралюминий широко используется в качестве конструкционного материала в авиастроении; на железнодорожном транспорте использование дюралюминия ограничивается экспериментальным вагоностроением. Маркируется дюралюминий буквой Д или АК и цифрой, являющейся порядковым номером сплава (ГОСТ 4784-97). Применяют в технике деформируемые алюминиевые сплавы, неупрочняемые термообработкой, типа АМг и АМц (с добавками магния или марганца). Эти сплавы очень пластичны, хорошо свариваются и обла-

дают коррозионной стойкостью. Прочность их составляет 13...34 кгс/мм², $\delta = 20...23$ %. Используют их в виде листов для обшивки или штамповки методом глубокой вытяжки.

Медь и ее сплавы

Техническая медь марок М00, М0, М1, М2, М3 содержит от 0,01 до 0,5 % примесей (ГОСТ 859-2001). Она является лучшим техническим проводником электрического тока, имеет высокую теплопроводность, обладает коррозионной стойкостью.

Техническая медь марок М0...М3 применяется для обмоток электрических устройств и для разного вида теплообменников (радиаторы, калориферы и т.п.). Для повышения прочности и износостойкости контактного провода электрифицированных дорог медь легируют кадмием (~ 1 %). Необходимо помнить, что холодная пластическая деформация меди существенно снижает пластичность и электропроводность. Для устранения этого явления проводится отжиг при температуре 550...600 °С в восстановительной атмосфере (для уменьшения окисления при нагреве).

В технике широко используются сплавы меди – латуни и бронзы.

Латуни в качестве основной добавки содержат цинк, кроме этого могут содержать олово, свинец, кремний, алюминий, никель, железо и др. Маркируют латуни буквой Л и числом, указывающим количество меди (Л96, Л64, Л60), остальное (до 100 %) – цинк (ГОСТ 15527-2004). Если латунь содержит дополнительные элементы, в марке добавляются начальные буквы названия этих элементов с указанием их количества в %: ЛАН 59-3-2. Марки литейных латуней могут записываться следующим образом: ЛЦ40Мц3А (в марке указывается элемент и его количество: цинк – 40 %, марганец – 3%, алюминий – 1 %, остальное – медь).

Латуни обладают высокой прочностью (до 45 кгс/мм²) и пластичностью (60 %), что позволяет обрабатывать их давлением при комнатной температуре. Двухфазные латуни (содержание цинка более 39 %) обрабатывают либо горячей обработкой давлением, либо детали изготавливают методом литья. Латуни коррозионностойки и более дешевы, чем медь. Для улучшения обрабатываемости резанием в латуни вводят свинец, облегчающий отделение стружки. Некоторые марки латуни имеют хорошие антифрикционные свойства. Из латуней изготавливают подшипники, водо- и паропроводную арматуру, листовая латунь идет на изготовление радиаторов, теплообменников и используется в электроаппаратуре в качестве электропроводящих элементов. Латуни обладают повышенной усадкой, поэтому при литье в них образуются значительные усадочные раковины.

Бронзы являются сплавами меди с другими элементами, включая цинк, но цинк не является основной добавкой. Маркируют бронзы буквами Бр с последующим указанием начальных букв названия примесей, входящих в состав бронзы, и цифр, соответствующих их содержанию (БрОЦСН 3-7-5-1,5,

БрАЖМц 9-3-1,5, БрБ2) (ГОСТ 5017-2006, ГОСТ 613-79). У литейных бронз марка может записываться несколько иначе: БрО4Ц4С17.

Основное преимущество бронз состоит в том, что у них высокие антифрикционные свойства и износостойкость. Бронзы применяют для изготовления втулок и вкладышей подшипников, сепараторов подшипников качения. Добавки никеля повышают твердость и прочность, алюминия – коррозионную стойкость и антифрикционность, фосфора – упругие свойства, свинца – антифрикционность и обрабатываемость резанием, цинк и олово улучшают литейные свойства, бериллий – повышает износостойкость и твердость. Добавки алюминия, никеля и железа повышают жаропрочность бронз, такие бронзы применяют для клапанов компрессоров, направляющих втулок, клапанов турбин и т.п. Бронзы типа ОЦСН применяют для втулок верхней головки шатуна дизеля тепловоза и втулок распределительного вала.

При выборе бронз руководствуются прежде всего условиями работы деталей и требованиями, предъявляемыми к ним.

Баббиты

Баббиты являются мягкими антифрикционными сплавами, которыми заливают подшипники скольжения механизмов. Чем тоньше слой баббита, тем выше его эксплуатационные свойства (обычно толщина заливки составляет 0,75...1,5 мм). Баббиты делятся на оловянистые, оловянно-свинцовые и безоловянистые. Оловянистые баббиты Б89, Б88, Б83 не содержат свинца (число в марке указывает содержание олова в процентах). Это очень хорошие баббиты, поэтому их заменяют более дешевыми оловянно-свинцовистыми и безоловянистыми баббитами типа Б16, Б10, БС, БК, БК2, БН (ГОСТ 1320-74, ГОСТ 1209-90). Олово часто заменяют сурьмой, никелем, кальцием, при этом основой сплава является свинец. Безоловянистые баббиты более дешевы, хотя и существенно уступают по антифрикционным свойствам оловянистым и оловянно-свинцовистым баббитам. Слой баббита на поверхности вкладыша или втулки удерживается за счет сил межмолекулярного сцепления. У безоловянистых баббитов это сцепление очень слабое и их укрепляют на поверхности трения за счет механического крепления в пазах, имеющих форму ласточкиного хвоста (для баббитов типа БК). Чтобы кальциевый баббит прилуживался, в него вводят до 2 % олова (БК2). Баббиты имеют высокую теплопроводность, хорошо смазываются смазкой и сопротивляются схватыванию. Чем быстрходнее механизм, тем выше должно быть содержание олова в баббите. Характеристикой баббита является допустимая нагрузочно-скоростная характеристика PV (P – давление на опору, V – скорость скольжения). Наибольшее значение PV у оловянистых баббитов.

ВЫБОР МЕТОДА УПРОЧНЯЮЩЕЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

Существенный резерв свойств заключен в методах упрочнения металла. Упрочнение деталей производится в процессе их обработки. Широко используются следующие методы упрочнения: термическая обработка, упрочнение наклепом, термохимическая обработка.

Значительно могут быть изменены свойства используемых материалов в процессе изготовления деталей. Известно, что после литья металлы имеют более низкие механические свойства, чем кованные или штампованные, т.к. у них много внутренних дефектов (поры, раковины, неметаллические включения). Поэтому если деталь может быть изготовлена разными методами, то следует отдавать предпочтение методу, обеспечивающему наиболее высокие свойства.

В большей степени могут быть улучшены свойства за счет применяемых на практике методов поверхностного или объемного упрочнения: термической обработки, термохимической обработки или упрочнения наклепом.

Объемная термическая обработка применяется при необходимости изменения свойств во всем объеме детали. Это достигается отжигом, нормализацией, закалкой и отпуском. Ниже приведена краткая характеристика каждого из этих методов.

Отжиг предусматривает нагрев выше критических температур A_{C3} или A_{C1} и последующее медленное охлаждение (с печью). Отжиг обеспечивает самую стабильную структуру с минимальной твердостью и минимальными внутренними напряжениями. Он позволяет уменьшить дендритную ликвацию, для этого температуру нагрева выбирается на уровне 1100...1200 °С и продолжительность нагрева достигает 10...15 ч (гомогенизирующий отжиг). Это очень дорогая обработка, поэтому ее применяют только для слитков, предназначенных для ответственных деталей. Гомогенизация приводит к значительному росту зерна, поэтому требуется дополнительная термообработка для устранения перегрева.

Для уменьшения размера зерна проводят отжиг с нагрева до температуры $t_n = A_{C3} + (30...50)$ °С. Для устранения внутренних напряжений, возникших при холодной пластической деформации металла (гибке, глубокой вытяжке, правке и т.п.), проводят рекристаллизационный отжиг $t_n = 600...650$ °С. Так как отжиг предусматривает охлаждение с печью, такая обработка оказывается дорогой: печь надолго занимается остывающими деталями, требуется дополнительная затрата тепловой энергии для разогрева остывшей печи – все это снижает производительность и повышает затраты на обработку. Поэтому отжиг всех видов применяют только тогда, когда поставленной цели нельзя достигнуть другим путем.

Нормализация проводится также при нагреве выше A_{C3} на (30...50) °С, но охлаждение производится на воздухе. Применяют нормализацию для устране-

ния перегрева. Для мягких сталей, содержащих не более 0,4 % углерода, нормализация заменяет отжиг. У сталей, содержащих более 0,4 % С, нормализация наряду с уменьшением размера зерна, вызывает некоторое повышение твердости и внутренних напряжений, так как приводит к образованию сорбитной или троосто-сорбитной структуры у заэвтектоидных сталей. Таким образом, она не может для этих сталей заменить отжиг. Нормализация – более дешевая обработка, чем отжиг, и применяется часто для стального литья и поковок с целью уменьшения размера зерна. Нормализация заэвтектоидных сталей способствует разрушению сплошной цементитной сетки на границах зерен и снижению хрупкости этих сталей. Нормализация – всегда полная термическая обработка, то есть $t_n = A_{C3} + (30...50) \text{ }^\circ\text{C}$.

Закалка – термическая обработка, цель которой заключается в получении наименее стабильной структуры с максимальной твердостью. Последнее является практической целью закалки. Температура нагрева выбирается для доэвтектоидных сталей равной $A_{C3} + (30...50) \text{ }^\circ\text{C}$, а для заэвтектоидных – $A_{C1} + (30...50) \text{ }^\circ\text{C}$, так как оставшийся в структуре цементит повысит твердость стали после закалки. Существенную роль при закалке играет скорость охлаждения. Для получения наибольшей твердости скорость должна быть не ниже критической. Углеродистые стали имеют достаточно высокую критическую скорость охлаждения и их закалка производится охлаждением в воде. Для легированных сталей, содержащих легирующие компоненты, которые снижают критическую скорость закалки (а это все компоненты, кроме кобальта), наибольшую твердость после закалки возможно получить при охлаждении в масле. Если сталь на максимальную твердость может быть закалена в воде или в масле, нужно выбирать ту среду, которая обеспечит меньшую скорость охлаждения, так как при этом в детали возникнут меньшие внутренние напряжения и меньше будет деформация. Охлаждение в масле углеродистых сталей не даст максимальной твердости и, в зависимости от содержания углерода, позволит получить троосто-мартенситную, трооститную или сорбитную структуру с соответствующей твердостью.

Отпуск применяется для снижения уровня внутренних напряжений, возникших в закаленной детали, и повышения стабильности структуры. В зависимости от температуры нагрева различают три вида отпуска. Низкотемпературный отпуск проводят при температуре 150...250 $^\circ\text{C}$ для уменьшения внутренних напряжений. Твердость после этого отпуска практически не изменяется. Низкий отпуск рекомендуется для режущего инструмента и деталей, у которых должна быть наибольшая твердость (кольца, шарики и ролики подшипников качения, ролики толкателей и т.п.).

Среднетемпературный отпуск выполняется при температурах 350...450 $^\circ\text{C}$. При этом отпуске значительно снижаются внутренние напряжения, несколько снижается твердость, до уровня $HB = 4000...4500 \text{ МПа}$. Средний отпуск рекомендуется для деталей, у которых при достаточно высокой твердости должна обеспечиваться упругость и достаточная вязкость (ударно-штамповый инструмент, пружины, рессоры, диафрагмы и т.п.).

Высокотемпературный отпуск проводится при нагреве 500...650 °С и обеспечивает практически полное устранение внутренних напряжений. Твердость снижается до уровня $HV = 2800...3500$ МПа (в зависимости от температуры). При повышении твердости и прочности обеспечивается наибольшая вязкость металла. Сочетание закалки с высоким отпуском называется улучшением стали. Улучшение рекомендуется для деталей, которые работают в условиях значительных динамических нагрузок (шатунны, кривошипы, валы и т.п.).

Необходимо помнить, что при одинаковой твердости после отпуска упругость, вязкость и пластичность металла будет выше, а износостойкость ниже, чем у только закаленной стали, так как структуры отпуска имеют зернистую форму карбидов в продуктах распада, а у закаленных структур карбиды имеют пластинчатую форму.

Так как легированные стали имеют большую устойчивость к нагреву, чем углеродистые, температуру отпуска для получения таких же результатов выбирают несколько выше (на 40...50 °С), чем у углеродистых сталей.

Методы поверхностного упрочнения металлов

В подавляющем числе случаев детали механизмов одновременно подвергаются изнашиванию и работают в сложных динамических условиях. Известно, что чем выше твердость, тем выше износостойкость, но ниже вязкость и динамическая прочность. Возникает необходимость обеспечить одновременно высокую твердость и высокую вязкость детали. Это может быть достигнуто при поверхностном упрочнении детали, в процессе которого тонкий поверхностный слой приобретает наибольшую твердость, а неупрочненная сердцевина остается вязкой, хорошо сопротивляющейся динамическим нагрузкам. В то же время поверхностное упрочнение значительно повышает усталостную прочность детали. Усталостные разрушения – наиболее частый случай выхода из строя деталей, работающих при знакопеременных нагрузках, а таких деталей в действующих механизмах очень много. Повышение усталостной прочности происходит в результате увеличения объема тонкого упрочняемого слоя и возникновения в нем остаточных сжимающих напряжений, которые уменьшают уровень действующих растягивающих напряжений, способствующих появлению и развитию трещин усталостного типа.

Применяют три группы методов поверхностного упрочнения: поверхностную закалку, термохимическую обработку и упрочнения наклепом.

Поверхностная закалка – процесс, заключающийся в закаливании поверхностного слоя на глубину 1,5...3 мм. Для этого осуществляется поверхностный нагрев до температуры закалки одним из известных способов: нагрев токами высокой частоты, в жидких средах, обеспечивающих интенсивный нагрев поверхностного слоя (в расплавленных солях или металлах), нагрев в электролите при пропускании постоянного тока или нагрев ацетиленокислородной горелкой. Продолжительность нагрева определяет глубину слоя, достигшего температуры закалки. После нагрева производится обычное охлаждение охлаждающими жидкостями. На практике чаще всего применяется

нагрев ТВЧ, обеспечивающий высокую производительность и требуемое качество слоя.

Термохимическая обработка заключается в нагреве упрочняемой детали в химически активной среде, содержащей элемент, которым насыщают поверхностный слой детали. Глубина насыщения зависит от свойств самого элемента и режима процесса. Необходимые свойства достигаются или только изменением химического состава поверхностного слоя (азотирование, борирование, хромирование, низкотемпературная нитроцементация), или дополнительной термообработкой после насыщения поверхностного слоя (цементация, высокотемпературная нитроцементация).

Для цементации и высокотемпературной нитроцементации применяют, как правило, стали, содержащие не более 0,25 % С. Азотированию и низкотемпературной нитроцементации подвергают чаще всего легированные стали, содержащие 0,35...0,45 % С, а также хром, молибден, алюминий, вольфрам, нитриды которых обладают очень высокой твердостью. Детали до насыщения азотом подвергают улучшению для повышения прочности «основания» для тонкого и хрупкого азотированного слоя.

Азотирование и нитроцементация, как и ряд других процессов повышают коррозионную стойкость деталей и применяются часто как декоративный процесс.

Упрочнение наклепом происходит за счет холодной пластической деформации поверхностного слоя детали при внешнем воздействии. Наклеп в основном применяют для повышения усталостной прочности детали, хотя при этом происходит повышение твердости поверхностного слоя в 1,5 раза.

На практике применяют упрочнение шеек осей подвижного состава накаткой закаленными роликами, прижимаемыми к поверхности шейки усилием $P = 2...4$ тс. Полированная поверхность ролика уменьшает шероховатость поверхности, а наклеп повышает усталостную прочность и твердость поверхностного слоя. Валы маленьких диаметров упрочняют накаткой стальными закаленными шариками.

Повышение усталостной прочности рессорных листов и пружин осуществляется дробеструйным наклепом. Этот процесс заключается в том, что поток отбеленной чугуновой или стальной дроби направляется на поверхность упрочняемой детали с большой скоростью (до 70...80 м/с). При ударе дробинок производится деформация и наклеп в месте удара. В результате обработки вся поверхность детали наклепывается, что приводит к повышению стойкости рессор и пружин к усталостному разрушению.

ПРАКТИКА ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ СТАЛИ

Практика термической обработки включает в себя выбор вида термической обработки стали и режима её проведения в зависимости от требуемых свойств (твёрдости, износостойкости, прочности и др.).

Существует четыре основных вида термической обработки: закалка, отпуск, отжиг и нормализация. Каждый из этих видов термической обработки обеспечивает получение тех или иных конкретных свойств, определяемых условиями работы детали или устройства.

Рассмотрим методы назначения режимов термической обработки для каждого из видов, исходя из химического состава металла и получения конкретных свойств.

Практика закалики стали

Практика закалики стали включает в себя выбор температуры нагрева, условий нагрева, скорости охлаждения и способа охлаждения.

Выбор температуры нагрева t_n . Температуру нагрева под закалку выбирают, исходя из необходимости получения мелкозернистого аустенита и наибольшей твёрдости стали после закалики. Структура доэвтектоидной стали феррито-перлитная, заэвтектоидной – перлитно-цементитная (рис. 1).

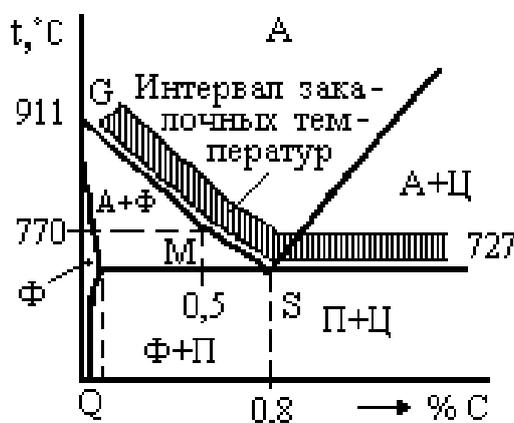


Рис. 1. Левый нижний угол «стального» участка диаграммы «железо – цементит»

При нагревании выше линии Ac_1 (PSK на диаграмме «железо – цементит») происходит превращение перлита ($П$) в аустенит (A). Кроме аустенита в структуре доэвтектоидной стали будет присутствовать феррит, заэвтектоидной стали – цементит. Наличие мягкого феррита снижает эффект закалики, а наличие твёрдого цементита повышает, так как твёрдость цементита выше твёрдости мартенсита, образующегося при закалике.

Таким образом, для получения высокой твёрдости после закалики доэвтектоидные стали следует подвергать полной закалике:

$$t_n = Ac_3 + (30...50) \text{ } ^\circ\text{C},$$

а заэвтектоидные стали – неполной закалке:

$$t_n = A_{C1} + (30...50) \text{ }^\circ\text{C}.$$

В этом случае у доэвтектоидных сталей нагрев выше линии *GSE* приведет к растворению феррита в аустените и получению однородного состава аустенита, а у заэвтектоидных сталей присутствующий в структуре цементит только повысит твердость после закалки.

Возникает вопрос о том, как определить температуру нагрева в градусах? Известно, что температура A_{C1} для всех сталей одинакова – $727 \text{ }^\circ\text{C}$, поэтому неполная закалка для всех углеродистых сталей проводится с одинаковой температурой $757...777 \text{ }^\circ\text{C}$. Температура A_{C3} для каждого содержания углерода своя, так как располагается на линии *GSE* диаграммы. Без большой погрешности участок диаграммы *GS* можно принять состоящим из двух прямолинейных отрезков *GM* и *MS*.

Например, участок *GM* занимает по концентрации 0,5 % углерода, а по температуре $(911 - 770) \text{ }^\circ\text{C} = 141 \text{ }^\circ\text{C}$. Значит, изменение концентрации на 0,1 % углерода изменяет температуру на $141 \text{ }^\circ\text{C} / 5 = 28 \text{ }^\circ\text{C}$.

Для стали, содержащей 0,3 % углерода $A_{C3} = 911^\circ - 28^\circ \cdot 3 = 827 \text{ }^\circ\text{C}$, а температура нагрева под закалку $t_n = 827^\circ + (30...50) \text{ }^\circ\text{C} = (857...877) \text{ }^\circ\text{C}$.

Аналогичным образом определяется температура нагрева и на участках *MS* и *SE*.

При определении температуры нагрева легированных сталей нужно учитывать влияние легирующих элементов на положение критических точек. Известно, что два элемента – марганец и никель снижают критические точки A_1 и A_3 , остальные элементы повышают эти же критические точки. Принято корректировать критические точки, увеличивая или уменьшая соответствующие критические температуры, рассчитанные по содержанию углерода, на $(30...50) \text{ }^\circ\text{C}$ на каждый легирующий элемент, содержащийся в стали.

Например, нужно назначить температуру закалки для стали 30ХНВА. Сталь содержит хром, вольфрам и никель.

Углеродистая сталь, содержащая 0,3 % углерода, имеет критическую температуру $A_{C3} = 827 \text{ }^\circ\text{C}$. Для легированной стали 30ХНВА точка A_{C3} с учетом легирующих компонентов составляет $827^\circ + 40^\circ - 40^\circ + 40^\circ = 867 \text{ }^\circ\text{C}$. Тогда температура нагрева под закалку $t_n = A_{C3} + (30...50) \text{ }^\circ\text{C} = 867^\circ + (30...50)^\circ = (897...917) \text{ }^\circ\text{C}$.

Определение продолжительности нагрева. В целях повышения производительности при нагреве стали для термообработки скорость нагрева должна быть высокой. Но высокая скорость нагрева способствует появлению значительных внутренних напряжений, так как при неравномерном нагреве активно нагреваемая поверхность будет увеличиваться в объёме в большей степени, чем сердцевина детали, поэтому могут образоваться внутренние трещины.

Медленный нагрев снижает уровень внутренних напряжений, но происходит активное выгорание углерода с поверхности детали. Обезуглероженная поверхность детали после закалки будет иметь низкую твердость, что тоже будет являться браком термообработки.

Продолжительность, а следовательно, и скорость нагрева в пламенных печах, применяемых в термических цехах, может быть рассчитана по формуле

$$\tau = 1,25 \cdot \alpha \cdot K \cdot d, \text{ мин,}$$

где 1,25 – коэффициент, учитывавший добавку времени, необходимую для выравнивания температуры по сечению детали;

α – удельное время нагрева, выбираемое в зависимости от формы поперечного сечения детали, мин/мм;

для круглого сечения $\alpha = 1$ мин/мм;

для квадратного сечения $\alpha = 1,5$ мин/мм;

для прямоугольного сечения $\alpha = 2$ мин/мм;

K – коэффициент, учитывающий плотность укладки деталей на поду печи (рис. 2);

d – геометрический размер детали в мм (для круглого сечения – диаметр, для квадратного – сторона квадрата, для прямоугольного сечения – размер меньшей стороны прямоугольника).

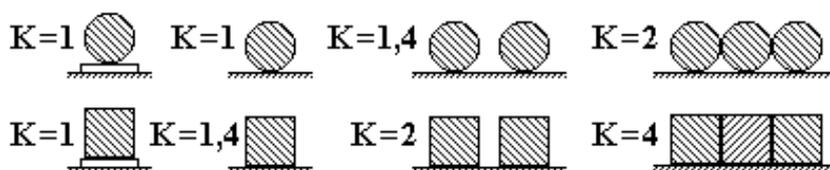


Рис. 2. Зависимость значения коэффициента K от укладки деталей

Пример. Рассчитать продолжительность нагрева одиночного резца сечением 35×25 мм, находящегося на поду печи:

$$\tau = 1,25 \cdot 2 \cdot 1,4 \cdot 25 = 87,5 \approx 88 \text{ мин.}$$

Для уменьшения обезуглероживания поверхности деталей при нагреве на практике применяют нагревательные печи с контролируемой атмосферой (нейтральной или восстановительной).

Выбор охлаждающей среды. Скорость охлаждения зависит от свойств охлаждающей жидкости. Для получения максимальной твердости и минимальных внутренних напряжений после закалки охлаждение должно происходить быстро в интервале температур $600 \dots 500$ °С, чтобы задержать распад аустенита в зоне его наименьшей устойчивости, и медленно ниже $300 \dots 350$ °С, так как при протекании мартенситного превращения происходят значительные объемные изменения. Они способствуют появлению фазовых внутренних напряжений, которые суммируются с термическими внутренними напряжениями, появляющимися в результате быстрого охлаждения. Суммарные внутренние напряжения могут привести к короблению и образованию трещин в закаленных деталях. На основании вышеизложенного возникает понятие об идеальной кривой охлаждения при закалке (рис. 3).

Каждая охлаждающая жидкость характеризуется своей охлаждающей способностью в двух температурных интервалах: 600...500 °С и ниже. Характеристика охлаждающих сред приведена в табл. 1.



Рис. 3. Положение идеальной кривой охлаждения на диаграмме изотермического распада аустенита

Таблица 1

Характеристика охлаждающей способности различных сред

Охлаждающая среда	Скорость охлаждения, °С/с, при температуре	
	600...500 °С	ниже 300 °С
Вода: +20 °С	600	270
+40 °С	400	270
+60 °С	200	270
Машинное масло	150	30
Растворы 10 % р-р солей	1000	300
10 % р-р солей	1200	300

Из приведенных данных следует, что вода является очень резким охладителем, но обеспечивает требуемую критическую скорость охлаждения (~270...300) °С/с. Нагрев воды ухудшает ее охлаждающую способность. Машинное масло – хороший охладитель, но не обеспечивает критическую скорость охлаждения углеродистых сталей. Масло пригодно для закалки таких легированных сталей, у которых критическая скорость закалки ниже, чем у углеродистых сталей. Растворение солей в воде повышает скорость охлаждения в интервале температур 600...500 °С и практически не изменяет ее в нижнем интервале. Растворы солей являются более резкими охладителями, чем вода. Таким образом, охладителя, обеспечивающего идеальные условия охлаждения при закалке, в настоящее время не существует.

Выбор способа закалки. На производстве используются следующие основные способы закалки (рис. 4):

1 Закалка в одном охладителе, чаще всего в воде. Такая закалка позволяет получить максимальную твердость закаленной стали, но при этом оказыва-

ются очень высокими внутренними напряжениями, которые приводят к браку. Этот способ закалки наиболее простой и наиболее распространенный.

2 Закалка в двух охладителях («через воду в масло»). Такую закалку применяют опытные термисты. Перенос из воды в масло должен быть очень быстрым, так как вода за доли секунды понижает температуру до t_1 . Если деталь будет перенесена в масло при более высокой температуре, может произойти распад аустенита с образованием троостита или бейнита, а это снизит твердость стали. Если же произойдет задержка охлаждения в воде, температура детали может понизиться ниже линии M_n , начнется мартенситное превращение и резко возрастут внутренние напряжения. Этот способ не обеспечивает получения стабильных результатов.

3 Ступенчатая закалка осуществляется погружением детали, нагретой до температур закалки, в ванну с расплавленным металлом (свинцом) или расплавленными солями. Температура ванны, выбирается в пределах 300...350 °С. Необходимо строго контролировать выдержку в ванне, чтобы не начался распад аустенита при пересечении С-образных кривых. Данный способ эффективен, обеспечивает стабильные результаты, но требует специального оборудования.

4 Изотермическая закалка применяется тогда, когда нужно получить в детали определенную структуру (сорбит, троостит или бейнит) и не требуется максимальная твердость. Деталь погружают, как в предыдущем случае, в ванну с расплавом солей или металла, температура которого выбирается в зависимости от требуемой структуры. Для сорбита – 600...650 °С, для троостита – 500...550 °С, для бейнита – 300...500 °С.

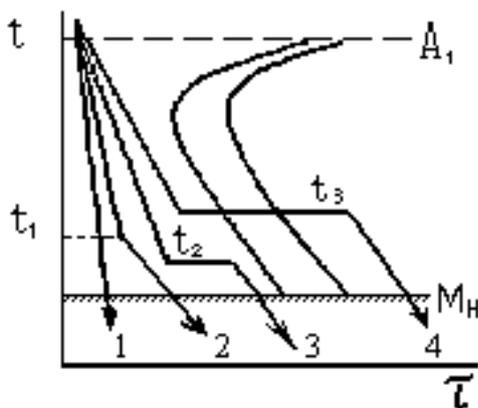


Рис. 4. Положение кривых охлаждения при различных способах закалки

Способ погружения детали в охлаждающую среду. От того как погружается деталь в охлаждающую среду, зависит степень коробления закаленной детали. При погружении детали ее нижняя часть соприкасается с поверхностью охлаждающей жидкости раньше. При этом происходит изгиб детали, который после закалки сохраняется (рис. 5, а). Чтобы не было коробления, деталь лучше погружать вертикально. Если деталь имеет несимметричный профиль (полукруглый напильник или коробчатая деталь), то условия охлаждения такой детали даже при вертикальном погружении будут неодинаковы и это приведет к ко-

роблению детали (рис. 5, б). В этом случае погружать деталь в жидкость следует под некоторым углом α . Величину угла погружения выбирают так, чтобы обеспечить равномерный отвод тепла по всему периметру сечения детали.

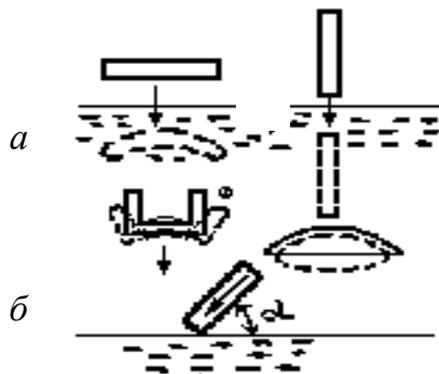


Рис. 5. Выбор способа погружения закаливаемой детали в охлаждающую среду

Практика отпуска стали

Закалённая деталь имеет высокий уровень внутренних напряжений, для снижения которых производят отпуск. На практике различают три вида отпуска: низкотемпературный, среднетемпературный и высокотемпературный.

Низкотемпературный (низкий) отпуск выполняют, нагревая закалённую деталь до температуры 150...250 °С. При таком нагреве твердость закалённой стали практически не изменяется, но существенно снижаются внутренние напряжения. Низкотемпературному отпуску обычно подвергают режущий инструмент и детали, твердость которых должна быть высокой (накладки скользунов, сухари и т.п.) – 60...64 HRC.

Среднетемпературный (средний) отпуск осуществляют, нагревая деталь до температуры 350...450 °С. Чаще всего температура такого отпуска равна 400...420 °С. Такой нагрев в значительной степени снижает внутренние напряжения, снижает твердость до твердости троостита 38...40 HRC. Применяют среднетемпературный отпуск для деталей, которые должны обладать упругостью (рессоры, пружины, мембраны и т.п.).

Высокотемпературный (высокий) отпуск происходит при нагреве деталей до температуры 550...650 °С. При этих температурах внутренние напряжения исчезают практически полностью, а твердость снижается до уровня твердости сорбита 22...30 HRC (HB 280...320 кгс/мм²). Высокотемпературному отпуску подвергают детали, которые наряду с повышенной твердостью и прочностью должны обладать высокой вязкостью (валы, оси, шатуны и т.п.).

Практика отжига и нормализация

Для получения равновесного состояния (наименьших внутренних напряжений, наилучшей обрабатываемости и наименьшей твёрдости), устранения ликвации, а также для уменьшения размера зерна применяют такие виды термической обработки, как отжиг и нормализация.

В зависимости от поставленной цели различают следующие виды отжига (рис. 6).

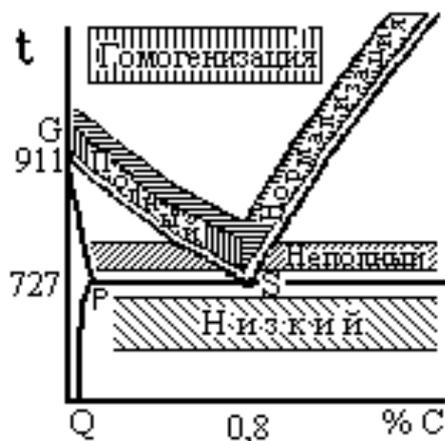


Рис. 6. Положение на диаграмме «железо – цементит» температурных интервалов различных видов отжига

Полный отжиг (на мелкое зерно) преследует основную цель – уменьшить размер зерна, полученный в результате предшествующей обработки. Известно, что зерно растёт при нагреве выше A_{C3} , поэтому выбор температуры нагрева является основным.

Температура нагрева при полном отжиге равна $t_n = A_{C3} + (30...50) \text{ }^\circ\text{C}$ для доэвтектоидных сталей. Для заэвтектоидных сталей полный отжиг не применяется. Скорость охлаждения на размер зерна аустенита влияния не оказывает, поэтому в целях повышения производительности нагревательных печей и экономичности процесса после такого нагрева охлаждение может происходить не с печью, как при отжиге, а на воздухе. То есть взамен отжига на мелкое зерно можно производить *нормализацию*.

Для малоуглеродистых конструкционных сталей этот метод не годен, так как охлаждение на воздухе не вызывает повышения твердости малоуглеродистой стали. У среднеуглеродистых конструкционных сталей нормализация способствует некоторому повышению твердости.

Неполный отжиг проводят для получения минимальной твердости и наилучшей обрабатываемости режущим инструментом. На твердость стали оказывает влияние скорость охлаждения, а не температура нагрева (если она превышает критическую), поэтому для неполного отжига температура может выбираться выше A_{C1} :

$$t_n = A_{C1} + (30...50) \text{ }^\circ\text{C}.$$

Неполный отжиг заэвтектоидной стали называют *сфероидизацией*, так как при этом получают в структуре зернистый перлит. Скорость охлаждения должна быть минимальной, поскольку чем ниже скорость охлаждения, тем ни-

же будет твердость. По этой причине охлаждение производят вместе с печью, отключив подачу топлива в нее. И только при достижении температуры 300 °С и ниже можно извлекать детали из печи. Естественно, такая обработка дороже полного отжига.

Гомогенизирующий (диффузионный) отжиг проводится для устранения ликвации, возникшей при получении литых слитков или деталей, и прежде всего устранения дендритной ликвации. Устраняется ликвация диффузией, активность которой зависит от температуры нагрева, поэтому температуру нагрева при этом виде отжига выбирают равной 1100...1200 °С. Выдержка при этой температуре должна быть большой, так как от этого будет зависеть результат диффузии. Обычно выдерживают 10...15 ч. Скорость охлаждения на результат диффузии влияния оказывать не будет, поэтому охлаждать можно на воздухе. Высокая температура нагрева будет способствовать интенсивному росту зерна. Для уменьшения размера зерна после гомогенизации рекомендуется проводить отжиг на мелкое зерно или нормализацию.

Низкий отжиг (для снятия внутренних напряжений) проводят для устранения внутренних напряжений, возникших в деталях в результате предшествующей обработки (в отливках, сварных изделиях, деталях после обработки резанием и др.). Отжиг стальных изделий для снятия напряжений проводится при температуре 160...700 °С с последующим медленным охлаждением с печью. Например, многие детали прецизионных станков (ходовые винты, высоконагруженные зубчатые колеса, червяки и др.) нередко проходят отжиг после основной механической обработки при 570...600 °С в течение 2...3 ч и после окончательной механической обработки для снятия шлифовочных напряжений при 160...180 °С в течение 2...2,5 ч. Отжиг для снятия сварочных напряжений проводится при 650...700 °С.

Рекристаллизационный отжиг – это нагрев холоднодеформированной стали до температур выше температуры рекристаллизации, выдержка при этой температуре с последующим охлаждением. Этот вид отжига применяют перед или после холодной обработки давлением и как промежуточную операцию для снятия наклепа между операциями холодного деформирования. Для углеродистых сталей с 0,08...0,2 % углерода, чаще подвергаемых холодной деформации (прокатке, штамповке, волочению), температура отжига составляет 680...700 °С, продолжительность нагрева – от 0,5 до 1,5 ч.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1 **Гуляев, А.П.** *Металловедение* / А.П. Гуляев. – М. : *Металлургия*, 1997. – 647 с.
- 2 **Лахтин, Ю.М.** *Материаловедение* / Ю.М. Лахтин, В.П. Леонтьева. – М. : *Машиностроение*, 1980. – 494 с.
- 3 *Металловедение и термическая обработка стали : справочник. В 3 т. Т. 1. Методы испытаний и исследования* / под ред. М.Л. Бернштейна, А.Г. Рахштадта. – М. : *Металлургия*, 1983. – 352 с.
- 4 **Геллер, Ю.А.** *Материаловедение. Методы анализа, лабораторные работы и задачи* / Ю.А. Геллер, А.Г. Рахштадт. – М. : *Металлургия*, 1984. – 384 с.
- 5 **Самоходский, А.И.** *Лабораторные работы по металловедению и термической обработке металлов* / А.И. Самоходский, М.Н. Кунявский. – М. : *Машиностроение*, 1981. – 174 с.
- 6 *Технология конструкционных материалов : терминологический справочник* / сост. П.А. Аверченко. – Киев : *Высшая школа*, 1984. – 112 с.
- 7 **Берлин, В.И.** *Транспортное материаловедение* / В.И. Берлин, Б.В. Захаров, П.А. Мельниченко. – М. : *Транспорт*, 1982. – 287 с.
- 8 *Материаловедение и технология конструкционных материалов для железнодорожной техники* / под ред. Н.Н. Воронина. – М. : *Маршрут*, 2004. – 454 с.
- 9 **Самойленко, А.М.** *Основы выбора материала и методы термообработки для деталей подвижного состава : учеб. пособие* / А.М. Самойленко. – Ростов н/Д : *РГУПС*, 1997.

**Материалы, применяемые для отдельных деталей дизеля тепловоза
и рекомендуемые методы обработки**

Наименование узла и детали	Материал (марка)	Рекомендуемая термическая обработка
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>
Блок дизеля Д49 Д50 10Д100	Сталь 20 СЧ20 20Г	
Коленчатый вал дизеля 2Д100, 10Д100 5Д49 М756 ЦД12	ВЧ60-2 30Х3МВФА 38ХН3МА 40ХВА	Нормализация и отпуск; Улучшение и азотирование; То же; Улучшение
Гильза (втулка) цилиндров дизеля 100 Д45, Д49 ЦД12, М756	СЧХМНД СЧХНД 38Х2МЮА	Стабилизирующий отжиг, азотирование; То же; Улучшение + фосфатирование + азотирование;
Поршни дизеля 2Д100 Д49 ПД1М	СЧ20 Сталь ЭИ415С+АК6 АК4	Отжиг при 550 °С
Поршневые кольца дизеля	СЧХН, СЧХМНД, ВЧХНМД, ВЧХНД	Гальваническое хромирование
Поршневые пальцы дизеля	18Х2Н4ВА, 20Х2Н4А, 12ХН3А, 27ХГР, 20ХГМ	Цементация или нитроцементация + закалка и низкий отпуск, дробеструйный наклеп
Шатуны дизеля	18Х2Н4ВА, 20Х2Н4А, 40ХФА	
Крышка шатуна	50ХФА, 40ХФА	Улучшение, дробеструйный наклеп
Болты шатуна	18Х2Н4ВА, 20ХН3А	Улучшение
Гайки болтов	40Х	Улучшение
Кулачковый вал	50Г, 45Х, 45ХФ	Улучшение + закалка ТВЧ
Впускные клапаны	40Х9С2, 40Х10С2М	Отжиг + закалка + старение при 700 °С
Выпускные клапаны	45Х13М3, 45Х14М14В2М, 55Х20Г9АН4М	Отжиг + закалка + старение при 700 °С

Окончание приложения А

<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>
Пружины клапанов	50ХФА	Закалка + средний отпуск
Корпус распылителя форсунки	18Х2Н4ВА	Цементация + закалка + отпуск 180 °С
То же	30Х3ВА (30Х3МБА)	Улучшение + азотирование
Игла корпуса распылителя форсунки	P18	Закалка + трехкратный отпуск при 560 °С
Подшипники коленчатого вала	БрОС8-12, БрОЦС-3-12-5 + БК2, или сталь + БрС30 (БрОС1-22)	Двухслойное

**Материалы, применяемые для отдельных деталей вагонов
и рекомендуемые методы упрочнения**

Наименование узла и детали	Материал (марка)	Рекомендуемая термообработка
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>
Рама вагона	09Г2Д	
Головка автосцепки	20ФЛ	Нормализация
Боковина тележки (литая)	Стали 20Л, 20ФЛ, 20ГФЛ	
Кольца подшипников качения	ШХ15СГ, 18ХГТ	Закалка + низкий отпуск Цементация + закалка + низкий отпуск
Листовые и пружинные ресурсы	50С2, 55С2, 60С2	Закалка + средний отпуск + дробеструйный наклеп
Клинья фрикционного аппарата	38ХС	Закалка + средний отпуск
Корпус поглощающего аппарата	30ГСЛ, 32Х06Л	Нормализация
Котлы цистерн и элементы опор цистерн	09Г2Д	
Котлы цистерн для пищевых продуктов	Двухслойная сталь БСт3сп + 12Х18Н10Т	
Котлы среднекислотных цистерн	Двухслойная сталь 20К + 10Х17Н13М2Т	
Котлы цистерн для перевозки капролактама	08Х22Н6Т	
Кузова пассажирских вагонов скоростных поездов	АМг6, 12Х13Г18Д	
Кузова новых пассажирских вагонов (рекомендуется)	Х14Г14Н3Т	
Корпус буксового подшипника скольжения	Ст.1, Ст.2, Ст.3 + армирование ЛМцС58-2-2	
Корпус буксы вагона	15Л, 20Л	
Крышка буксы	10кп	
Надрессорная балка тележки	25Л, 20ГЛ	
Детали автосцепки	20ФЛ, 20ГФЛ	
Предохранитель замка автосцепки	Г13ФЛ	
Тормозные цилиндры вагонов	СЧ15	

Окончание приложения Б

1	2	3
Триангели тормозной системы	09Г2Д, 09Г2ДС	
Пружины фрикционного аппарата	60С2ХФА	
Кондиционеры пассажирских вагонов	Л62, припой ПСр45	
Поршни дизеля холодильной установки	СЧ28	
Поршневой палец дизеля 4ДВ-224	20Г	Цементация, закалка
Коленчатый вал дизеля ЕМ4-15	45Г2	Нормализация, отпуск при 250 °С
Шатун дизеля 4ДВ-224	45Л	Нормализация
Цилиндровая втулка холодильного компрессора	СЧ21	
Шестерня масляного насоса	20Х	Цементация, закалка, низкий отпуск
Вкладыш холодильного компрессора	БрС30 + Б83	
Шатунный болт дизеля	37ХН3А	Улучшение
Припои, применяемые при ремонте автоматики и конденсаторов холодильных установок	ПОС60, ПОС40, ПОС30, Л62	
Каркас кузова вагона	10ХНДП	
Элементы крыши вагона	12ХГФД, 15ХСНД	
Обшивка кузова пассажирского вагона	Ст.3, 10Х14АГ15, 12Х13Г18Д, 10ХНДЛ	

Задания для расчетно-графической работы

Вариант	Деталь	Материал	Сечение, мм
1	2	3	4
1	Сверло спиральное	Сталь ХВГ	16
2	Пружина тарельчатая	Сталь 50ХГФА	4
3	Вал-шестерня	Сталь 40	24
4	Метчик	Сталь У11А	8
5	Мембрана диафрагменного насоса	Сталь 65Г	1
6	Вал редуктора	Сталь 30	16
7	Напильник	Сталь У12	4
8	Рессора листовая	Сталь 65С2ВА	9,5
9	Ось колесной пары	Сталь 45Г	102
10	Ножовочное полотно	Сталь 20ХГР	1
11	Пружина витая	Сталь 70С3А	2
12	Бандаж колесной пары	Сталь 65Г	64
13	Крейцмейсель	Сталь У7А	2,5
14	Лента фрикционной муфты	Сталь 65Г	12
15	Кольцо подшипника	Сталь 18ХГТ	4
16	Развертка	Сталь 11ХФ	9
17	Пружина пластинчатая	Сталь 60С2Н2А	10
18	Шестерня	Сталь 20ХГНТР	5
19	Фреза дисковая	Сталь Р9М4К8	4,5
20	Болт анкерный	Сталь 12Х18Н10Т	36
21	Крышка редуктора	Сталь 10	3
22	Сухарь	Сталь 8ХФ	44
23	Протяжка	Сталь 9Х5ВФ	8
24	Звездочка цепной передачи	Сталь 40ХН	8
25	Зенкер	Сталь Р6М5К5	7
26	Колесо храповое	Сталь 55	3
27	Винт ходовой	Сталь 40	25
28	Валок правильный	Сталь У9А	46
29	Траверса крюковой подвески	Сталь 38ХА	88
30	Поршневой палец	Сталь 12Х2Н4А	26

Продолжение приложения В

1	2	3	4
31	Резец	Сталь Р6М5	12
32	Скальпель	Сталь 40Х13	64
33	Плунжер	Сталь 15ХФ	1,4
34	Ролик подшипника	Сталь ШХ15	26
35	Шарик подшипника	Сталь ШХ20СГ	8
36	Шлицевый вал	Сталь 18Х2Н4МА	6
37	Ножницы по металлу	Сталь ХВСГФ	3,5
38	Толкатель	Сталь 18ХГТ	10
39	Пружина витая	Сталь 65Г	20
40	Лерка	Сталь ХВ	2
41	Резец строгальный	Сталь Р9	12
42	Штамп вырубной	Сталь 11Х4В2МФ3С2	28
43	Червяк редуктора	Сталь 20	6
44	Фрикционный диск	Сталь 85	5
45	Втулка предохранительной муфты	Сталь 40Х	16
46	Штамп прессовый	Сталь 9Г2Ф	14
47	Вал редуктора быстроходный	Сталь 12Х2Н4А	28
48	Пружина тарельчатая	Сталь 50ХГФА	2,4
49	Каток фрикционного вариатора	Сталь 60	64
50	Зубило	Сталь У8А	10
51	Дисковая деревообрабатывающая пила	Сталь 9ХФМ	2,5
52	Колесо зубчатое	Сталь 50	4
53	Рельс	Сталь М73Т	72
54	Шабер	Сталь У13А	4
55	Шестерня	Сталь 50	12
56	Пуансон просечного штампа	Сталь Х12ВМФ	24
57	Вал редуктора тихоходный	Сталь 40Х	12
58	Пружина кольцевая	Сталь 70С2ХА	14
59	Шпиндель	Сталь 35	12
60	Фреза цилиндрическая	Сталь Р6М5Ф3	12
61	Вал коленчатый	Сталь 40	48
62	Колесо зубчатое	Сталь 45ХН2МФА	28

Окончание приложения В

1	2	3	4
63	Шатун	Сталь 40ХН	14
64	Валок рельсобалочного стана	Сталь 60ХН	78
65	Плашка	Сталь 9ХС	2
66	Рессора тракторная	Сталь 55С2	8
67	Вал-шестерня	Сталь 50	40
68	Метчик	Сталь У12А	3
69	Кольцо пружинное	Сталь 60Г	12
70	Вал редуктора	Сталь 45ХН2МФА	12
71	Напильник	Сталь У13А	6
72	Рессора листовая	Сталь 60С2ХА	12
73	Ось колесной пары	Сталь 50Г2	60
74	Ножовочное полотно	Сталь 20Х	2
75	Каток направляющий	Сталь 70	14

План расчетно-графической работы

1. Условия работы детали в механизме или устройстве с обоснованием выбранного для детали материала и качеств, которыми должна обладать деталь.
2. Описание процесса кристаллизации сплава по диаграмме состояния «железо-цементит», применительно к заданному содержанию углерода.
3. Описание взаимодействия примесей с основными фазами сплава и их влияние на свойства сплава и проведение термообработки.
4. Выбор и обоснование выбранной термообработки и определение режимов ее проведения с описанием превращений, происходящих в структуре в процессе термообработки.
5. Выбор метода контроля результата термообработки и краткое описание процесса контроля с указанием пределов значения характеристики.

Учебное издание

Кармазина Людмила Алексеевна
Кротов Владимир Николаевич
Морозкин Игорь Сергеевич

**МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ
НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ**

Печатается в авторской редакции
Технический редактор Т.И. Исаева

Подписано в печать 23.10.17. Формат 60×84/16
Бумага газетная. Ризография. Усл. печ. л. 2,3.
Тираж экз. Изд. № 90456. Заказ .

Редакционно-издательский центр ФГБОУ ВО РГУПС.

Адрес университета: 344038, Ростов н/Д, пл. Ростовского Стрелкового Полка
Народного Ополчения, д. 2.