

**СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ**

**Інститут транспорту і логістики
Кафедра міського будівництва та господарства**

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

**до випускної роботи
освітньо-кваліфікаційного рівня магістр**

спеціальності 132 «Матеріалознавство»
(шифр і назва спеціальності)

спеціалізація «Прикладне матеріалознавство»
(шифр і назва і)

на тему «Дослідження структури та механічних властивостей
осьової сталі після деформаційної термічної обробки.»

Виконав: студент групи МЗН-16дм

Гаврашенко О.І. _____
(прізвище, ініціали) (підпис)

Керівник к.т.н., доц. Білошицький М.В. _____
(науковий ступінь, прізвище, ініціали) (підпис)

Завідувач кафедри проф. Татарченко Г.О. _____
(науковий ступінь, прізвище, та ініціали) (підпис)

Рецензент _____
(науковий ступінь, прізвище, ініціали) (підпис)

РЕФЕРАТ

Страниц 99, таблиц 10, рисунков 45, литературных источников 35.

Приведен химический состав и механические свойства осевой стали, а также диаграмма состояния железо-цементит, с нанесенными на нее критическими точками.

Разработана маршрутная технология изготовления осей и технологический процесс термической обработки. Приведена диаграмма изотермического распада переохлажденного аустенита стали ОС. Описано влияние легирующих элементов на механические свойства.

Разработана методика исследования макро- и микроструктуры, а также загрязненности стали неметаллическими включениями.

Проведен комплекс исследования механических свойств, включающий: испытания на растяжение, ударную вязкость, твердость, а также проведен контроль качества накатанного слоя поверхности осей.

Описана методика проведения неразрушающего контроля тепловозных осей, а также дефекты, которые возникают при несоблюдении режима термической обработки и чистоты стали.

Ключевые слова:

СТАЛЬ, ТЕРМООБРАБОТКА, ДЕФЕКТЫ, БРАК, СТРУКТУРА, КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА, НОРМАЛИЗАЦИЯ, ОСЬ, НЕРАЗРУШАЮЩИЙ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ КОНТРОЛЬ.

Содержание

Введение.....	8
1.1. Назначение осей колесных пар и их роль в безопасности движения поездов.....	9
1.2. Эскиз оси колесной пары с указанием действующих сил и вызываемых этими силами неисправностей и повреждений.....	11
1.3. Объем, характер и методы ультразвуковой дефектоскопии оси колесной пары.....	14
1.4. Конструктивные и технологические мероприятия по увеличению срока службы.....	16
1.5. Отжиг нормализационный (нормализация).....	18
2. Методика исследования.....	19
2.1. Характеристика материала.....	19
2.2. Маршрутная технология изготовления детали «Ось».....	24
2.3. Методика исследования макроструктуры.....	26
2.4. Методика исследования микроструктуры.....	29
2.5. Методика исследования загрязненности стали неметаллическими включениями.....	32
2.6. Исследование механических свойств.....	34
2.7. Методика контроля качества накатанного слоя осей.....	43
2.8. Методика проведения неразрушающего контроля тепловозных осей.....	44

2.8.1	Основные принципы неразрушающего ультразвукового контроля.....	45
2.8.2	Оборудование для ультразвукового контроля.....	48
2.8.3	Технология УЗК структуры металла на прозвучиваемость.....	50
	Выводы по части 2.....	52
3.	Анализ результатов исследования.....	53
3.1.	Анализ детали, выбор марки стали.....	53
3.2.	Исследование термической обработки оси.....	54
3.3.	Исследование механических свойств.....	56
3.4.	Анализ зависимости механических свойств от химического состава осевой стали.....	60
3.5.	Исследования макроструктуры.....	66
3.6.	Исследование загрязненности металла неметаллическими включениями.....	68
3.7.	Исследование микроструктуры.....	69
3.8.	Контроль качества накатанной поверхности.....	71
3.9.	Исследование и классификация дефектов, обнаруженных при УЗК.....	73
	Выводы по части 3.....	82
4.	Рекомендации.....	84
5.	Охрана труда.....	87
	Заключение.....	96
	Список использованной литературы.....	97

Введение

Рост грузовых и пассажирских перевозок за счет увеличения скорости движения поездов и повышения осевых нагрузок вагонов возможен лишь при обеспечении железнодорожного транспорта высококачественным металлом. Изучение микроструктуры металла после различных видов деформационно-термической обработки позволяет оценить качество изделий и установить наличие дефектности [1]. Условия деформирования и термической обработки влияют на микроструктуру заготовки, обеспечивая качество изделия.

Деталь ось вагонная предназначена для грузовых и пассажирских вагонов. Она является составной частью колесной пары вагонов магистральных железных дорог колеи 1520 мм. Деталь представляет собой стальной брус круглого изменяющегося по длине поперечного сечения. Ось воспринимает на себя массу локомотива или вагона через буксовые подшипники, а потом передает ее через колеса рельсам.

Вагонные оси отличаются размерами основных элементов в зависимости от величины нагружения, формой шейки оси – для подшипников качения или подшипников скольжения, формой поперечного сечения – сплошные или полые. Кроме этого вагонные оси классифицируются по материалу, способу изготовления, способу торцевого крепления подшипников качения [2]. Нестационарный режим нагружения при вращении колесной пары вызывает в оси знакопеременные напряжения с амплитудами переменной величины. Гарантийный срок эксплуатации установлен 8,5 лет, а срок службы - 15 лет.

1.1 Назначение осей колесных пар и их роль в безопасности движения поездов

Вагонная ось – это элемент колесной пары, на котором укрепляются колеса. Она представляет собой стальной брус круглого, переменного по

длине поперечного сечения. Вагонные оси различаются: размерами основных элементов – в зависимости от значения воспринимаемой нагрузки, формой шейки оси, формой поперечного сечения – сплошные или полые. Кроме этих признаков, определяющих конструкцию, оси классифицируются: по материалу, способу изготовления, способу торцового крепления подшипников качения – корончатой гайкой или шайбой.[1]

У вагонной оси имеются две шейки, предподступичные и подступичные части, а также средняя часть оси. Для снижения концентрации напряжений в местах изменения диаметров оси делают плавные переходы – галтели, выполненные определенным радиусом. Снижение концентрации напряжений, вызванных посадкой деталей подшипников качения, достигается разгружающей канавкой, расположенной у начала задней галтели шейки оси.

Оси для роликовых подшипников по концам шеек имеют нарезную часть для навинчивания корончатой гайки. Кроме того, на каждом торце таких осей имеется паз с двумя отверстиями, в которых выполнена нарезка. Паз дает возможность поставить стопорную планку, которая крепится двумя болтами. В вагонных осях с креплением подшипников качения при помощи шайбы в торцах осей делаются отверстия с нарезкой. Такое крепление может быть выполнено в двух вариантах: при помощи трех или четырех болтов.

Нестационарный режим нагружения при вращении колесной пары вызывает в оси знакопеременные напряжения с амплитудами изменяющейся величины, что требует применения специальных мер, повышающих предел выносливости осевой стали[4]. К таким мерам относятся, обточка средней части оси и упрочнение всей поверхности оси тем накатки роликами, а также контроль оси ультразвуковыми и другими методами дефектоскопии.

В качестве материала для изготовления вагонных осей применяется: для вагонов основных типов сталь ОсВ, для вагонов электропоездов – сталь ОсЛ[3]. Гарантийный срок эксплуатации осей установлен 8,5 лет, а срок

службы – 15 лет. Химический состав: углерода 0,40–0,48; марганца 0,55–0,85; кремния 0,15–0,35; фосфора не более 0,04; серы не более 0,045; хрома не более 0,3; никеля не более 0,3; меди не более 0,25%.

После обработки методамиковки, штамповки, винтовой прокатки или радиально-ротационным горячим деформированием черновые оси подвергают нормализации или нормализации с дополнительным отпуском[4]. Механические свойства термически обработанных осей из стали марки ОсВ должны соответствовать следующим данным: временное сопротивление при растяжении (580–595)МПа, относительное удлинение не менее 21%, ударная вязкость 0,6 МДж/м².

В осях не допускаются: флокены, ликвация, пузыри, расслоения, трещины, плены, рванины, инородные металлические и неметаллические включения, следы усадочных раковин и рыхлость. На окончательно обработанной поверхности осей не допускаются черновины, волосовины и забоины. Видимые невооруженным глазом продольные мелкие риски на подступичной части оси глубиной не более 0,03 мм должны быть плавно зачищены вдоль оси.

Оси колесных пар – наиболее ответственные узлы вагонов, от их исправного состояния во многом зависит безопасность движения поездов и работоспособность вагона. Поэтому они должны удовлетворять определенным требованиям: обладать достаточной прочностью, износостойкостью, иметь небольшую массу для снижения тары вагона и уменьшения динамического воздействия на верхнее строение пути, а также обладать некоторой упругостью для смягчения динамических сил, возникающих при движении вагона[5]. В соответствии с ПТЭ запрещается выпускать в эксплуатацию и допускать к следованию в поездах вагоны с трещиной в любой части оси колесной пары, а также при наличии следующих износов и повреждений осей колесных пар:

а) протертости средней части оси глубиной более 2,5 мм;

б) следов контакта с электродом или электросварочным проводом в любой части оси.

Эскиз оси колесной пары с изображением основных размеров представлен на рисунке 1.1

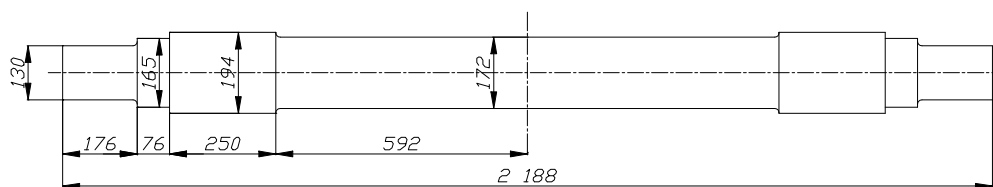


Рис.1.1 Эскиз оси колесной пары

1.2 Эскиз оси колесной пары с указанием действующих сил и вызываемых этими силами неисправностей и повреждений

Безопасность движения подвижного состава в большой степени зависит от надежности оси колесной пары, которая характеризуется способностью безотказной ее работы в сложных условиях эксплуатации. Надежность зависит от качественных параметров оси колесной пары и ее напряженного состояния, возникающего под влиянием действующих нагрузок, которые приводят к появлению дефектов[6]. На ось колесной пары оказывают воздействие внешние переменные статические и динамические нагрузки и постоянно действующие, силы, обусловленные посадками с натягом колес на подступичные части и роликовых подшипников на шейки осей. Во время движения ось колесной пары нагружается пространственной системой сил, изменяющихся по величине и времени. Основная составляющая сил – вертикальная нагрузка на шейки оси – зависит от массы брутто вагона. Статическая нагрузка на ось составляет в среднем 180 – 220 кН. При вписывании вагона в кривую на ось колесной пары действует центробежная сила от боковин тележки, которая достигает 50 кН[7]. Дополнительно ось колесной пары нагружается ветровой нагрузкой с удельным давлением ветра на боковую стенку вагона до 500 Н/м². В результате извилистого движения

колесной пары в рельсовой колее в местах контакта колес с рельсами возникают силы трения, вызывающие изгиб колеса. Силы, возникающие при торможении в результате трения между колодками и колесами, вызывают дополнительное нагружение осевых шеек от 20 до 60 кН, а также создают вращающий момент, стремящийся повернуть колесо на оси. Схема основных сил, действующих на ось колесной пары, представлена на рисунке 2.1.

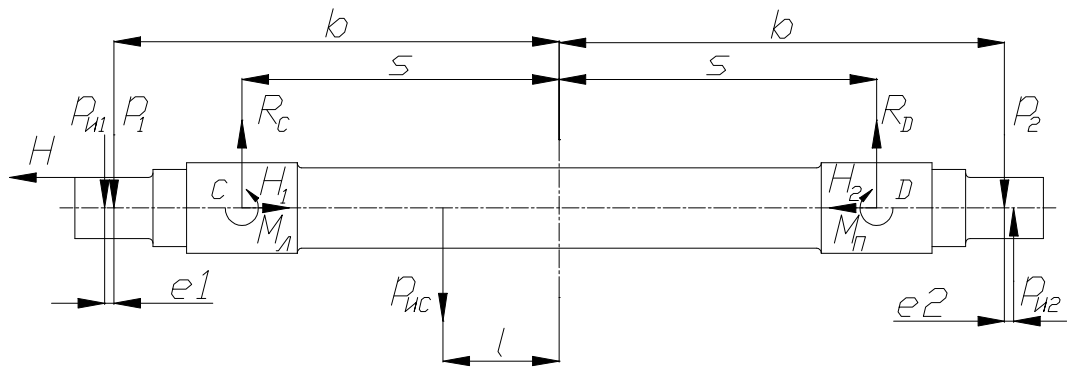


Рис. 1.2 Схема сил, действующих на ось колесной пары.

P_1, P_2 – вертикальные силы; H_1, H_2 и H – боковые силы; $P_{И1}, P_{И2}$ и $P_{ИС}$ – вертикальные инерционные силы; $M_Л, M_П$ – моменты, получаемые при удалении колес; R_C, R_D – вертикальные реакции в опорах оси; $2s$ – расстояние между кругами катания колес; $2b$ – расстояние между точками приложения вертикальных расчетных сил P_1 и P_2 ; e_1, e_2 – расстояние между точками приложения сил P_1 и $P_{И1}$, P_2 и $P_{И2}$; l – расстояние от точки приложения силы $P_{ИС}$ до вертикальной оси симметрии оси.

Цикл эксплуатационного нагружения колесной пары характеризуется периодическим резким скачком амплитудных напряжений в ее элементах при прохождении стыков, крестовин и неровностей на рельсах, а также от воздействия неровностей на поверхности катания колес.

Большое влияние на условия работы колесных пар оказывают возрастающие скорости движения поездов. Увеличение скоростей приводит к динамическим перегрузкам колесных пар и появлению высокочастотных

колебаний на участках с большой жесткостью пути. В зимних условиях силы взаимодействия пути и подвижного состава особенно возрастают[8].

Комплекс вертикальных, горизонтальных, боковых и тормозных сил, действующих на колесную пару, вызывает сложное напряженное состояние оси и колес. Наиболее напряженными сечениями оси являются подступичные части, на которые напрессовывают ступицы колес, а также шейки в местах напрессовки роликовых подшипников. Напряженное состояние материала в зоне напрессовок характеризуется объемным характером в результате действия изгибающего момента, воспринимаемого осью, сил контактного давления от ступицы колеса и сил трения вследствие явлений сдвига при напрессовке колеса на ось. Контактные давления, а также напряжения от изгибающего момента распределяются по длине подступичной части неравномерно, концентрируясь вблизи торцов ступицы. На знакопеременные напряжения, действующие в оси от внешней нагрузки, накладываются остаточные напряжения от технологической обработки и от напрессовки в зоне сечений, ограничивающих посадку с натягом. Высокая эксплуатационная напряженность осей приводит к образованию различных дефектов, чаще всего усталостного происхождения[9].

Образование дефектов и скорость нарастания износов колесных пар зависят от многих факторов: условий эксплуатации, химического состава и механических свойств осевой и колесной сталей, характеристик рельсов и тормозных колодок, размеров колесной пары, качества формирования и ремонта ее, содержания ходовых частей вагона, времени года и климатических условий.

В процессе изготовления, эксплуатации и ремонта могут возникать следующие виды неисправностей и повреждений:

- задиры и риски на шейках и предподступичных частях;
- конусообразность шейки или предподступичной части более допускаемой;
- овальность шейки или предподступичной части более допускаемой;

- радиусы галтелей менеедопускаемых;
- протертостьна средней части - углубление от трения деталей тормозной рычажнойпередачиболее допускаемого;
- трещины на цилиндрических поверхностях шеек и предподступичных частей;
- трещины в галтелях шеек и предподступичных частей;
- трещины в подступичной части;
- трещины на средней части;
- излом шейки от перегрева;
- излом оси от развития трещин;
- цвета побежалости на шейке;
- сварочные ожоги;
- наклеп (намины) на шейке от кольца роликового подшипника;
- забоины и вмятины более допускаемых размеров;
- изогнутость оси;
- разработка центрального отверстия;
- неисправность торцового крепления;
- коррозия, волосовины и другие дефекты в любой части оси, кроме указанных выше.

1.3 Объем, характер и методы ультразвуковой дефектоскопии оси колесной пары

На железнодорожном транспорте чаще всего приходится встречаться с трещинами, возникающими в деталях в процессе их эксплуатации. Эти трещины возникают из-за усталостных явлений в металлах, находящихся длительное время под воздействием знакопеременных нагрузок. Усталостные трещины, развивающиеся с поверхности детали, называют поверхностными, чем подчеркивают их отличие от трещин глубинных (внутренних). Дефекты в ответственных деталях вагонов могут повлиять на

безопасность движения поездов, поэтому при наличии в деталях опасных трещин их нельзя допускать к эксплуатации[10]. Поверхностные трещины в начальной стадии развития в большинстве случаев не обнаруживаются визуальными методами контроля. Поэтому для определения трещин пользуются более совершенным методом – методом ультразвуковой дефектоскопии[11].

Ультразвуковая дефектоскопия применяется для контроля: подступичных частей оси при полном освидетельствовании у колесных пар для подшипников качения, не требующих ремонта со сменой элементов; шеек и предподступичных частей осей для роликовых подшипников — при полном освидетельствовании колесных пар без снятия внутренних и лабиринтных колец с цилиндрическими роликовыми подшипниками на горячей посадке и без снятия лабиринтных колец с роликовыми подшипниками на втулочной посадке; осей с целью проверки прозвучиваемости их у вновь сформированных колесных пар[12].

Ультразвуковые методы контроля основаны на свойстве ультразвуковых волн отражаться от неоднородностей в среде, по которой они распространяются, или поглощаться этой средой. Достоинствами ультразвуковых методов является возможность контроля внутренних и закрытых зон изделий, возможность автоматизации расшифровки результатов контроля, а недостатками их являются необходимость «акустического контакта» преобразователя (искателя) с контролируемым изделием, а также трудности его применения для контроля изделий с грубыми, неочищенными поверхностями и неоднородной структурой. В качестве излучателя и приемника ультразвуковых колебаний применяют пластины (пьезоэлементы) из титаната бария или цирконаттитаната свинца, способные преобразовывать подводимое к ним электрическое напряжение в механические колебания, которые передаются в контролируемую деталь. Все необходимое для работы пьезопластины собрано в отдельном блоке, называемом искателем. Для контроля колесных пар применяют прямые

(плоские) и наклонные (призматические) искатели. Каждый искатель содержит пьезопластину, демпфер, протектор, катушку индуктивности, провода, подводящие напряжение от штепсельного гнезда к пьезопластине, и корпус[13]. Для надежного акустического контакта между протектором и поверхностью контролируемой детали вводится прослойка масла. Напряжение в виде коротких импульсов подается на пьезопластину, вызывая ее колебания. Упругие волны от пьезопластины проходят с одной стороны к демпферу, а с другой – через протектор и прослойку масла в деталь.

Ультразвуковые колебания от прямых искателей проходят в глубь контролируемой детали перпендикулярно той поверхности, через которую они вводятся, а от наклонных искателей – под углом к поверхности. Если искатели служат для формирования и приема ультразвуковых колебаний, то все другие функции (подача напряжения на пьезопластины для возбуждения ультразвуковых колебаний, индикация принятых ультразвуковых колебаний и т. д.), необходимые для дефектоскопирования деталей, выполняются другими блоками дефектоскопов.

1.4 Конструктивные и технологические мероприятия по увеличению срока службы

Для увеличения качества контроля деталей применяется люминесцентный метод контроля[14].

В люминесцентном методе контроля использовано свойство некоторых веществ светиться собственным видимым светом под воздействием ультрафиолетовых лучей.

Таких веществ, называемых люминофорами, в природе очень много. К ним относятся многие виды нефтепродуктов – минеральные масла, дизельное топливо, керосин и т. д. Наиболее широко используются в люминесцентной

дефектоскопии авиационные масла (марки МС или МК), трансформаторное масло, отбеленная нефть, продукт переработки нефти – нориол и т. д.

Наряду с жидкими люминофорами для дефектоскопии применяют и некоторые твердые вещества (дефектоль, антрацен и т. п.), растворенные в соответствующих жидкостях[15].

Жидкие люминофоры и растворы твердых люминофоров для придания им определенных физических свойств обычно используются в смеси с другими жидкостями. Такие композиционные жидкости, применяющиеся в люминесцентной дефектоскопии для проявления дефектов, называются проникающими индикаторными жидкостями.

Деталь, подлежащую проверке люминесцентным методом, предварительно очищают от жиров, масел, керосина и других видов как жидких, так и твердых загрязнений и смачивают индикаторной жидкостью, которая под воздействием капиллярных сил входит в трещины и поры детали. После проникновения этой жидкости в полости трещин и пор жидкость удаляют с наружной поверхности детали. Затем деталь покрывают проявителем[16]. Индикаторная жидкость «вытягивается» проявителем из пор и трещин и слегка растекается в слое проявителя, находящегося на поверхности детали. При осмотре детали в ультрафиолетовом свете становится хорошо заметной светящаяся линия люминофора, повторяющая контуры дефекта[17].

При люминесцентном методе контроля в зависимости от назначения применяются три группы различных веществ и материалов: проникающие индикаторные жидкости, в состав которых входят люминофоры; жидкие или сыпучие вещества для очистки деталей от остатков индикаторной жидкости и различные тушители люминесценции; проявляющие материалы.

Проверка деталей люминесцентным методом состоит из нескольких последовательно проводимых операций: очистки, смачивания индикаторной жидкостью, отмывки (очистки) поверхности детали от этой жидкости,

проверки качества отмывки, нанесения проявителя, подготовки к осмотру и осмотр в ультрафиолетовом свете[18].

Люминесцентному методу контроля присущи следующие недостатки: необходимость тщательной очистки деталей от загрязнений, большая продолжительность цикла контроля одной детали, необходимость строгого соблюдения технологии проверки и т. д. Так как он основан на проникновении жидкостей в трещины и поры, то внутренние дефекты этим методом не могут быть обнаружены.

Таким образом, для достижения наилучшего качества контроля осей колёсных пар следует применять комплексный метод дефектоскопии, состоящий из ультразвукового и люминесцентного методов[19].

1.5 Отжиг нормализационный (нормализация)

Нормализация заключается в нагреве доэвтектоидной стали до температуры, превышающей точку A_{c1} на $50\text{ }^{\circ}\text{C}$, а эвтектоидной стали выше $A_{ст}$ также на $50\text{ }^{\circ}\text{C}$, непродолжительной выдержке для прогрева садки и завершения фазовых превращений и охлаждении на воздухе. Нормализация вызывает полную фазовую перекристаллизацию стали и устраняет крупнозернистую структуру, полученную при литье или прокатке, ковке или штамповке[20].

Ускоренное охлаждение на воздухе приводит к распаду аустенита при более низких температурах, что повышает дисперсность ферритно-цементитной структуры и увеличивает количество перлита или, точнее, квазиэвтектоида типа сорбита или троостита. Это повышает на 10–15 % прочность и твердость нормализованной средне- и высокоуглеродистой стали по сравнению с отожженной.

Нормализация горячекатаной стали повышает ее сопротивление хрупкому разрушению, что характеризуется снижением порога хладноломкости и повышением работы развития трещины.

Назначение нормализации различно в зависимости от состава стали. Для низкоуглеродистых сталей нормализацию применяют вместо отжига. При повышении твердости нормализация обеспечивает большую производительность при обработке резанием и получение более чистой поверхности. Для отливок из среднеуглеродистой стали нормализацию или нормализацию с высоким отпуском применяют вместо закалки, и высокого отпуска [21]. Механические свойства будут в этом случае несколько ниже, но изделия подвергнутся меньшей деформации по сравнению с получаемой при закалке, и вероятность появления трещин практически исключается.

Нормализацию с последующим высоким отпуском (600—650 °С) часто используют для исправления структуры легированных сталей вместо полного отжига, так как производительность и трудоемкость этих двух, операций выше, чем одного отжига.

2. Методика исследования

2.1 Характеристика материала

Вагонная ось представляет собой стальной брус круглого, переменного по длине поперечного сечения в зависимости от назначения отдельных частей и усилий, возникающих в них.

Материал вагонной оси изготавливают из углеродистой стали марки ОС, которая согласно ГОСТ 4728–96 [18] имеет следующий химический состав, представленный в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Химический состав стали ОС [ГОСТ 4728-96]

Содержание элементов, %							
C	Si	Mn	Cr	Ni	Cu	S	P
0,42 – 0,50	0,15 – 0,35	0,60 – 0,90	≤ 0,30		≤ 0,25	≤ 0,040	

Данная сталь применяется для изготовления прокатанных заготовок квадратного или круглого сечения предназначенных для производства осей локомотивов, электропоездов, дизель- и электропоездов, вагонов железных дорог и вагонов метрополитена железных дорог колеи 1520 мм.

Механические свойства стали ОС при $T=20^{\circ}\text{C}$ представлены в табл. 2.2.

Таблица 2.2

Механические свойства стали ОС

σ_B	$\sigma_{0,2}$	δ	ψ	КСУ	Критические точки, $^{\circ}\text{C}$	
Н/мм^2		%		Дж/см^2	A_1	A_3
700	385	22,0	42,0	49	724	755

Постоянные (технологические) примеси являются обязательными компонентами сталей и сплавов, что объясняется трудностью их удаления как при выплавке (P,S). Так и в процессе раскисления (Si, Mn) или из шихты - легированного металлического лома (Ni, Cr и др.)[3].

К постоянным примесям относят марганец, кремний, серу, фосфор, а также кислород, водород и азот.

Углерод. При увеличении содержания углерода возрастают прочность, твердость, порог хладноломкости (0,1%С повышает температуру порога хладноломкости на 20°C), предел текучести, величина электрического сопротивления и коэрцитивная сила. При этом снижаются плотность, теплопроводность, вязкость, пластичность, величины относительных удлинения и сужения, а также величина остаточной индукции.

Существенную роль играет то, что изменение физических свойств приводит к ухудшению целого ряда технологических характеристик - таких, как деформируемость при штамповке, свариваемость и др.

Марганец. Марганец вводят в стали как технологическую добавку для повышения степени их раскисления и устранения вредного влияния серы. Марганец считается технологической примесью, если его содержание, не превышает 0,8%.

Кремний. Кремний также вводят в сталь для раскисления. Содержание кремния как технологической примеси обычно не превышает 0,37%. Кремний как технологическая примесь влияния на свойства стали не оказывает.

Сера. Пределы содержания серы как технологической примеси составляют 0,035-0,06%. Повышение содержания серы существенно снижает механические и физико-химические свойства сталей, в частности, пластичность, ударную вязкость, сопротивление истиранию и коррозионную стойкость.

Фосфор. Пределы содержания фосфора как технологической примеси составляют 0,025-0,045%. Фосфор, как и сера, относится наиболее вредным примесям в сталях и сплавах.

Увеличение его содержания, даже на доли процента, повышает прочность, одновременно повышает текучесть, хрупкость и порог хладноломкости и снижает пластичность и вязкость. Вредное влияние фосфора особенно сильно сказывается при повышенном содержании углерода.

Кислород и азот. Кислород и азот растворяются в ничтожно малом количестве и загрязняют сталь неметаллическими включениями (оксидами, нитридами, газовой фазой).

Они оказывают отрицательное воздействие на свойства, вызывая повышение хрупкости и порога хладноломкости, а также снижают вязкость и

выносливость. При содержании кислорода более 0,03% происходит старение стали, а более 0,1% - краснеломкости.

Азот увеличивает прочность и твердость стали, но снижает пластичность. Повышенное количество азота вызывает деформационное старение. Старение медленно развивается при комнатной температуре и ускоряется при нагреве до 250оС.

Водород. Увеличение его содержания в сталях и сплавах приводит к увеличению хрупкости. Кроме того, в изделиях проката могут возникнуть флокены, которые развивает водород, выделяющийся в поры. Флокены инициируют процесс разрушения. Металл, имеющий флокены, нельзя использовать в промышленности.

На рис. 2.1 представлена диаграмма состояния железо-цементит, с нанесенной на неё концентрацией углерода и критическими точками стали ОС. Окончательное формирование структуры стали происходит в результате превращений аустенита при дальнейшем охлаждении [14]. Основой этого превращения является полиморфизм, связанный с перегруппировкой атомов из ГЦК решетки аустенита в ОЦК решетку феррита, а также изменение растворимости углерода по линии ES в аустените и PQ в феррите. В сплавах с содержанием 0,45%С вторичные превращения начинаются при температурах, соответствующих линиям GS и заканчиваются при температуре ниже 727°С и линии PSK, в результате эвтектоидной реакции.

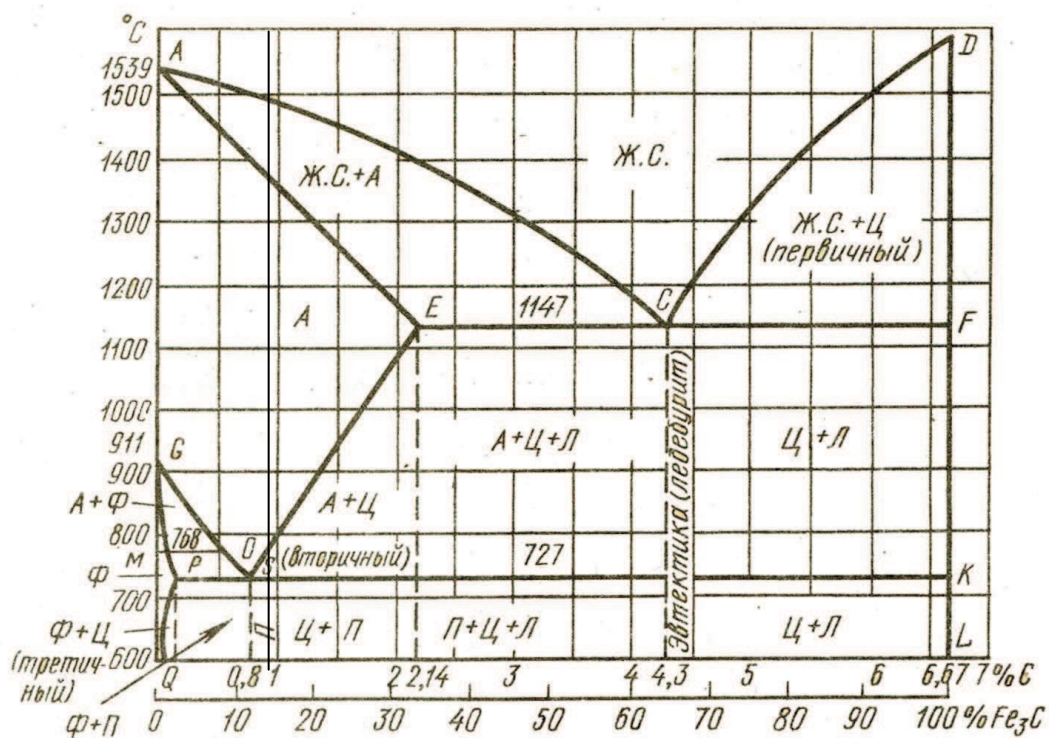


Рис. 2.1 Диаграмма состояния железо-цементит, где- А-аустенит, П-перлит, Л-ледебурит, Ф – феррит, Ц-цементит

Рассмотрим структурообразование стали ОС с содержанием углерода 0,45%. На рис. 2.2 приведена левая нижняя часть диаграммы состояния железо-цементит с кривой охлаждения микроструктурой.

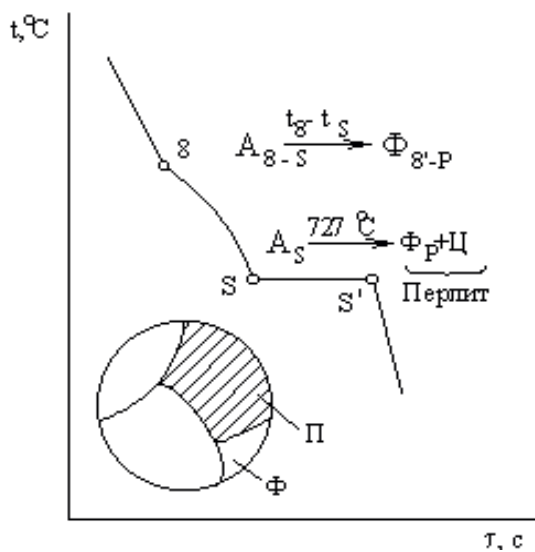


Рис. 2.2 Левая нижняя часть диаграммы состояния железо-цементит

Сталь ОС, содержащая 0,45% углерода доэвтектоидная. В интервале температур $t_8-727^{\circ}\text{C}$ идет полиморфное превращение $\text{A}\rightarrow\text{Ф}$. Состав аустенита меняется по линии GS, а феррита – по линии GP. При 727°C концентрация углерода в аустените равна 0,8% (точка S) и в феррите – 0,025% (точка P).

Ниже этой температуры происходит эвтектоидное превращение. В равновесии находятся три фазы: феррит состава точки P, аустенит состава точки S, цементит. Так как число степеней свободы равно нулю, т.е. имеется инвариантное равновесие, то процесс протекает при постоянном составе фаз. На кривых охлаждения или нагрева наблюдается температурная остановка. Таким образом, структура доэвтектоидной стали характеризуется избыточными кристаллами феррита и эвтектоидной смесью феррита с цементитом, называемой перлитом.

Осевые заготовки из стали ОС подвергаются нормализационному отжигу, т.е. их охлаждают на воздухе. В соответствии с диаграммой изотермического распада аустенита стали ОС (рис. 2.3), в случае непрерывного охлаждения при переохлаждении ниже точки A_{c3} начинает образовываться феррит [1].

При росте феррита углерод накапливается в аустените перед фронтом превращения, так как феррит почти не содержит углерода. При температуре ниже точки A_1 в этих обогащенных углеродом участках аустенита зарождается перлитная колония. Ускоренное охлаждение на воздухе приводит к образованию мелкопластинчатого перлита.

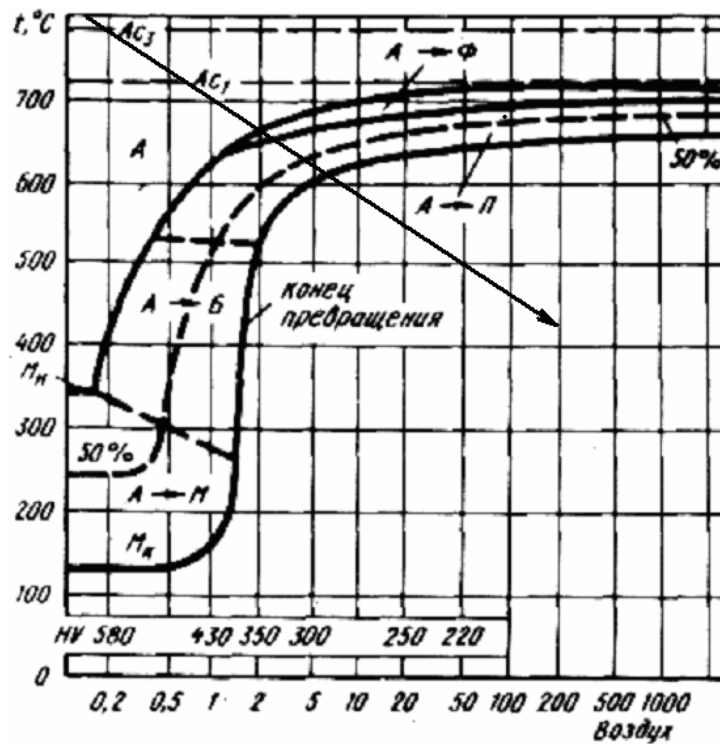


Рис. 2.3 Диаграмма изотермического распада переохлажденного аустенита стали ОС

2.2 Маршрутная технология изготовления детали «Ось»

При разработке технологического процесса изготовления деталей составляется маршрутная технология, т.е. схема прохождения детали по цехам и совершаемые в них операции[17].

Исходная заготовка – мерный квадрат 230, длиной 1340мм, массой 650 кг.

Квадрат 230, длиной 1340 мм, массой 650 кг

1. Отрезка заготовки от проката квадратного сечения – заготовительный участок

2. Нагрев заготовки под ковку – кузнечно-прессовый участок термического цеха (1250 С)

Контроль геометрии, наличие наружных дефектов(трещины, зажимы)

3. Получение поковки – кузнечно-прессовый участок термич. цеха;

4. Термическая обработка (отжиг нормализационный) – термический цех

Контроль геометрии, отбор проб, порезка на механические испытания

5. Контроль механических испытаний, микроструктуры, макроструктуры – испытательный центр

6. Порезка – термический цех

Контроль размеров

7. Ультразвуковой контроль (УЗК) на прозвучиваемость – термический цех;

8. Предварительная (черновая) механическая обработка – механический цех

9. Окончательная (чистовая) механическая обработка – механический цех

10. Накатывание роликами – механический цех

11. Определение внутренних дефектов методом УЗК в продольном и радиальном направлениях; определение поверхностных дефектов методом магнито-порошкового контроля (МПК) – механический цех

12. Контроль качества накатывания поверхности оси – испытательный центр

2.3 Методика исследования макроструктуры

Макроструктурный анализ стали – изучение строения металла невооруженным глазом или при небольшом увеличении, с помощью лупы [2].

Макроанализ позволяет выявить наличие в материале макродефектов, а также причины и характер разрушения осей колесных пар.

С помощью макроанализа устанавливают вид излома; величину, форму и расположение зерен проката; дефекты, нарушающие сплошность металла; химическую неоднородность металла; волокна в деформированном металле. Методы испытаний и оценки макроструктуры стальных изделий установлены ГОСТ 10243–75 [5].

1. Изучение изломов тепловозных осей [19]

Изломом называется поверхность, образующаяся вследствие разрушения металла. В зависимости от состава, строения металла, наличия дефектов, условий обработки и эксплуатации изделий изломы тепловозных осей могут иметь вязкий и хрупкий характер.

- Хрупкоеразрушение поверхности осей протекает без заметной предшествующей пластической деформации. Форма зерна не искажается и на изломе виден исходный размер зерен металла. Поверхность хрупкого излома блестящая, кристаллическая. Разрушение может происходить через зерна (транскристаллический излом), либо по границам зерен (интеркристаллический или межкристаллический излом). Хрупкое разрушение наиболее опасно, так как происходит чаще всего при напряжениях ниже предела текучести материала.

- Вязкий (волокнустый) излом поверхности оси имеет бугристо-сглаженный рельеф и свидетельствует о значительной пластической деформации, предшествующей разрушению. Поверхность излома матовая, с мелким, неразличимым глазом, зерном. По виду вязкого излома нельзя судить о форме и размерах зерен металла.

Метод визуального наблюдения изломов называют фрактографией. На изломах макроструктуру оценивают путем сравнения с нормативными макроструктурами, приведенными в ГОСТ 10243–75, по 25 параметрам.

1. Изучение макрошлифов тепловозных осей

Макрошлиф – это образец с плоской шлифованной и протравленной поверхностью, вырезанный из исследуемого участка детали или заготовки. Его получают следующим образом. На металлорежущем станке или ножовкой вырезают образец, одну из плоских поверхностей которого ровняют напильником или на плоскошлифовальном станке. Затем образец шлифуют вручную или на шлифовально-полировальном станке. Шлифование одной шкуркой нужно проводить в одном направлении, после чего следует смыть остатки абразива водой. Переходя на более мелкую шкурку, поворачивают образец на 90° и проводят обработку до полного исчезновения рисок, образованных предыдущей шкуркой. Образец промывают водой, просушивают и подвергают глубокому или поверхностному травлению. Перед травлением образец обезжиривают и очищают. Травление осуществляют, погружая в них образец. Реактив, активно взаимодействуя с участками, где имеются дефекты и неметаллические включения, протравливает их более сильно и глубоко. Поверхность макрошлифа получается рельефной. Такое травление называется глубоким.

Поверхностное травление, проводимое менее агрессивными реактивами, позволяет выявить в сталях, чугунах и цветных сплавах ликвацию (химическую неоднородность материала) макроструктуру литого или деформированного металла, структурную неоднородность материала, подвергнутого термической или химико-термической обработке.

2. Исследование макроструктуры

Макроструктура металла (от макро... и лат. *stuctura* - строение), строение металла, видимое невооружённым глазом или с помощью лупы, то

есть при увеличениях до 25 раз. Макроструктура изучают на плоских образцах - темплетях, вырезанных из изделия или заготовки, а также на изломах изделия. Для выявления макроструктуры поверхность темплета тщательно предварительно очищается от грязи и обезжиривается спиртом, затем травят в 50% - ном водном растворе соляной кислоты. Количество раствора в травильной емкости должно быть таким, чтобы темплеты контролируемой поверхностью был погружен в травильный раствор не менее чем на 5 мм. Температура раствора должна быть 60-80 °С. Приготовленный нагретый раствор выливается в ванну для травления. Темплеты, подогретые до температуры раствора помещаются в ванну (рис. 2.4 а, б). Время травления, по ГОСТ 10243, должно быть в пределах 5 - 45 мин. Травление образцов должно обеспечивать получение четкого изображения макроструктуры, позволяющего надежно оценивать ее при сравнении со шкалами (приложение 2 ГОСТ 10243).

При исследовании М. можно обнаружить нарушения сплошности металла (раковины, рыхлость, газовые пузыри, расслоения, трещины и т.д.), выявить распределение примесей и неметаллических включений, форму и расположение кристаллитов (зёрен) в разных частях изделия, а иногда даже особенности строения отдельных зёрен металла.

б

Рис. 2.4 Травление темплетов

2.4 Методика исследования микроструктуры

Микроструктурным анализом (микроанализом) называется исследование металлов и сплавов с помощью оптических микроскопов. Впервые микроскоп для исследовании структуры металлов применил русский ученый П. П. Аносов в 1831 г.[20].

Микроанализ является одним из самых распространенных методов исследования и проводится на специально приготовленных образцах— микрошлифах, которые могут быть нетравленными и травленными. Между микроструктурой и свойствами металлов и сплавов существует прямая качественная зависимость. Поэтому целью микроанализа является полное изучение строения металлов и сплавов и получение информации об их свойствах.

1. Приготовление микрошлифов образца из тепловозных осей состоит из следующих операций:

Подготовка поверхности производится следующим образом: грань, предназначенную для шлифования, выравнивают напильником или абразивным кругом до получения плоской поверхности.

Шлифование. Шлифование проводится так же, как и приготовление макрошлифов, но заканчивается на более мелкозернистой бумаге. После шлифования на поверхности образца остаются риски, которые увеличиваются под микроскопом и не дают четкого изображения объекта, т. к. рассеивают световые лучи (рис. 2.5,а). Поэтому далее обрабатываемая поверхность образца подвергается полированию, которое может быть механическим, электрохимическим или химико-механическим.

Полирование. Для механического полирования используют быстровращающиеся диски полировальных станков, которые обтягивают сукном, а для мягких сплавов (алюминий, медь)—бархатом. На полировальный круг наносятся специальные пасты (ГОИ, алмазная и др.) и водные взвеси Al_2O_3 , MgO для интенсификации процесса полирования. После получения зеркальной поверхности образец промывают водой, этиловым спиртом и просушивают фильтровальной бумагой.

Травление. После изучения нетравленных шлифов производят их травление, которое заключается во взаимодействии поверхности микрошлифов с химически активными растворами кислот, щелочей, солей в спирте или воде. Сущность травления состоит в неодинаковой растворимости, а иногда и окрашивании реактивом зерен, границ между ними, вследствие различия в их строении или химическом составе. При травлении реактив в первую очередь воздействует на границы зерен, эти места имеют наиболее дефектное строение и в травленном шлифе становятся углублениями.

Свет, попадая на них, будет рассеиваться, и в поле зрения микроскопа они будут казаться темными, а тело зерна — светлым.

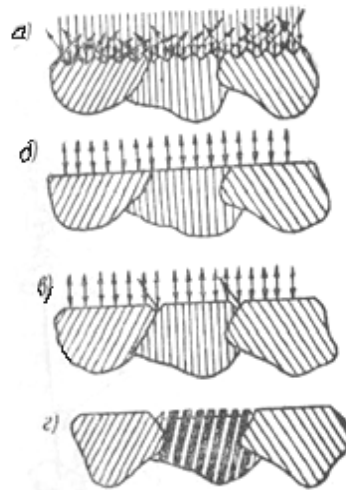


Рис. 2.5 Приготовление микрошлифа: а – шлифованная поверхность; б – полированная поверхность; в – травленая поверхность (однородная структура); г - травленая поверхность (неоднородная структура).

Благодаря различной кристаллографической ориентировке зерен металла на поверхности микрошлифа травимость даже однородных зерен будет неодинаковой. Это приводит к образованию микрорельефа на поверхности шлифа, участки которого в различной степени рассеивают световые лучи[21].

В сплаве с неоднородной структурой травимость зерен различной природы отличается еще сильнее (рис. 2.5,г). Травление сталей и чугунов проводят 2 — 4%-пнм раствором HNO_3 в этиловом спирте. Реактив наносят на поверхность микрошлифа капельницей или ватным тампоном, смоченным реактивом .

2. Исследование микрошлифов образцов из тепловозных осей

Изучение микроструктуры начинается с анализа нетравленных микрошлифов для выявления на них пороков (пор, раковин, неметаллических включений), которые обладают меньшей отражательной способностью по сравнению с металлом и имеют поэтому при просматривании темную окраску. Все нарушения сплошности металла уменьшают «живое», рабочее

сечение детали и являются концентраторами напряжений. Чем крупнее включения, тем значительнее их вредное влияние, осколочная, остроугольная форма их в большей степени концентрирует напряжения, чем округлая. Все это приводит к снижению механических характеристик, особенно пластичности и вязкости.

Характер расположения и количество неметаллических включений оценивается в соответствии с ГОСТ 1778-70 по пятибалльной шкале[10].

Структура сталей в равновесном состоянии с содержанием углерода до 0,8% (в нашем случае средние значения – 0,35% и 0,45% углерода) состоит из феррита и перлита. Для сталей с различным содержанием углерода меняться будет только соотношение этих структурных составляющих. Чем выше содержание углерода, тем больший процент содержания перлита будет в структуре стали.

Таким образом, на разных стадиях производства осей, структурные составляющие металла меняться не будут. Отличие структур будет состоять только в форме и размере зерен. Например, на стадии входного контроля зерна будут крупнее, послековки, под действием деформации, они могут иметь неправильную вытянутую форму, а вот после окончательной термической обработки – нормализации, структура должна быть равномерной и мелкозернистой.

Размер зерна оценивается в баллах, методом визуального сравнения с эталонными шкалами. Чем выше балл, тем мельче зерно.

2.5 Методика исследования загрязненности стали неметаллическими включениями

Определение неметаллических включений деформированного металла производят под микроскопом при просмотре всей площади нетравленного, тщательно отполированного шлифа с продольным направлением волокон[2].

Самыми распространенными видами включений являются оксиды, силикаты, сульфиды и нитриды.

Распознать тот или иной вид включений можно благодаря их качественным характеристикам. В первую очередь это внешняя форма и взаимное расположение. Различают хрупкие и пластичные включения. Например, оксиды и нитриды – это хрупкие включения, преимущественно правильной округлой формы. В металле они могут располагаться в хаотичном порядке (точечные включения) или выстраиваться в цепочки по направлению деформации (строчечные включения). Силикаты – пластичные включения. Они всегда вытягиваются в направлении деформации и имеют форму нитей[18]. Такие включения как силикаты могут быть и хрупкими (разрушенными в результате деформации), и пластичными (вытянутыми по направлению волокон стали), а также недеформирующимися (глобулярными) включениями. Кроме перечисленных характеристик включения также различаются по величине, цвету, прозрачности и эффекту анизотропии.

Оценка неметаллических включений осуществляется в баллах методом сравнения с эталонными шкалами стандартов.

В соответствии с ДСТУ ГОСТ 31334 – неметаллические включения оцениваются по ГОСТ 1778-70[5].

Критерием оценки является пятибалльная шкала, которая классифицирует следующие виды неметаллических включений:

- оксиды строчечные (ОС);
- оксиды точечные (ОТ);
- силикаты хрупкие (СХ);
- силикаты пластичные (СП);
- силикаты недеформирующиеся (СН);
- сульфиды (С);
- нитриды и карбонитриды строчечные (НС);
- нитриды и карбонитриды точечные (НТ);

- нитриды алюминия (НА).

Балл неметаллических включений по каждому виду не должен быть более 4.

2.6 Исследование механических свойств

Механические свойства металлов (предел прочности, предел текучести, ударная вязкость), как и другие свойства, являются исходными данными при проектировании и создании различных машин, механизмов и сооружений.

Образцы для исследования механических свойств (на растяжение, для определения ударной вязкости, проверки микроструктуры) вырезались из припусков, оставленных при формообразовании осей после их термообработки на расстоянии половины радиуса оси ± 10 мм от ее поверхности в направлении параллельном образующей[2].

Пробы на механические испытания отбирались в соответствии с ГОСТом 7564–78 [11]. Схема вырезки образцов приведена на рис. 2.6.

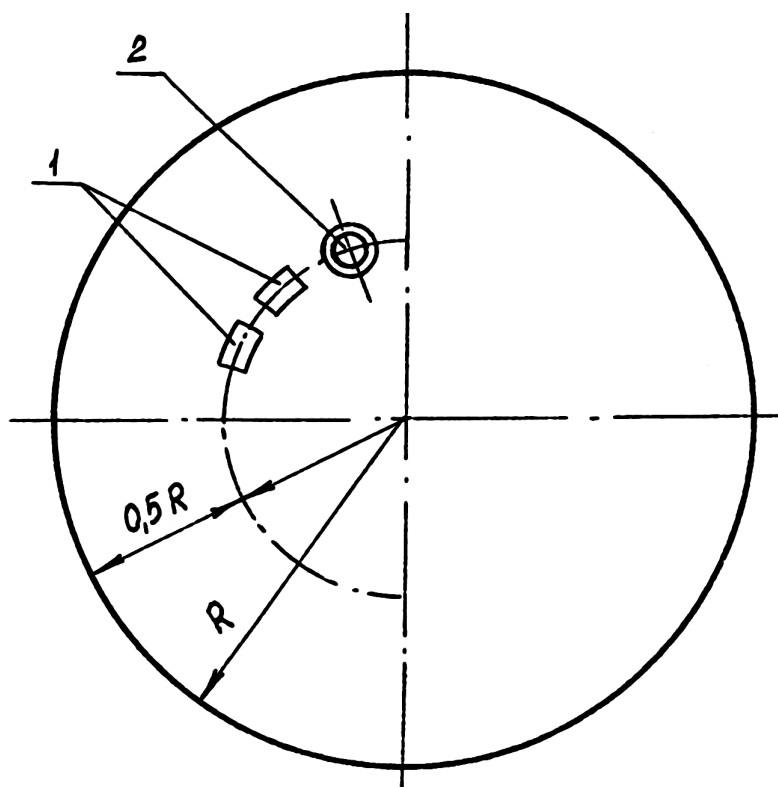


Рис. 2.6 Схема вырезки образцов для механических испытаний:

1 – образцы для определения ударной вязкости

2 – образцы для испытания на растяжение

Согласно ГОСТу 3281–81 для испытания на растяжение от каждой партии осей отбирается один цилиндрический образец диаметром 10 мм с пятикратной расчетной длиной (50 мм). Испытания на растяжение производились на разрывной машине Р10 по ГОСТ 1497–73 [3] (рис. 2.7). Усилие машины Р10 составляет 10т.

Рис. 2.7 Разрывная машина Р-10 для испытания образцов на растяжение

Испытания на растяжение (ГОСТ 1497-84) проводятся на стандартных образцах круглого или прямоугольного сечения. При растяжении под действием плавно возрастающей нагрузки образец деформируется до момента разрыва.

Во время испытания образца снимают диаграмму растяжения (рис. 2.8), фиксирующую зависимость между действующей на образец силой P , и вызванной ею деформацией Δl (Δl — абсолютное удлинение).

Рис. 2.8 Типовая диаграмма растяжения низкоуглеродистой стали

На диаграмме растяжения изображена кривая деформации образца.

От $t.A$ до $t.B$ происходит упругая деформация (наблюдается у материалов при наложении нагрузки небольшой величины, при снятии нагрузки образец восстановит свою форму и размеры).

Выше $t.B$ начинается пластическая деформация, т. е. после снятия нагрузки образец изменит форму и размеры.

Горизонтальная площадка, которая разделяет области упругой и пластической деформации, называется площадкой текучести (соответствует нагрузке P_T).

Точкой C обозначено максимальное усилие, которое может выдержать образец (соответствует нагрузке P_{max}).

Дальше в образце начинает образовываться шейка (местное уменьшение сечения образца), и при нагрузке, соответствующей $t.D$, происходит разрыв образца.

Образец для испытания на разрыв вырезается из середины радиуса технологического припуска оси, в продольном направлении.

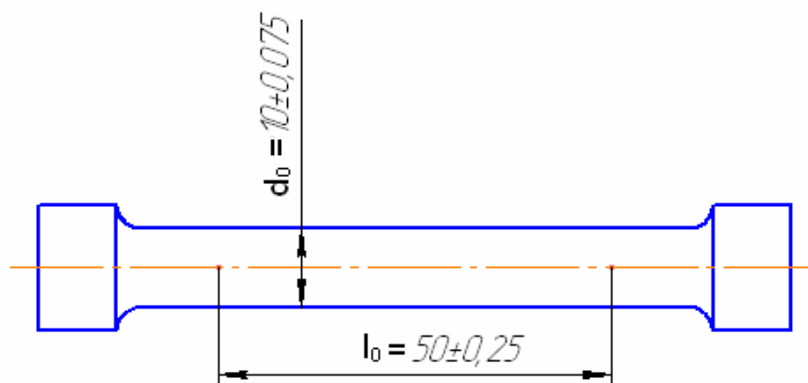


Рис. 2.9 Образец для испытания на растяжение

Перед началом проведения испытаний необходимо измерить начальный диаметр образца (d_0). Затем нанести керном метки на расстоянии 50 мм друг от друга (начальная расчетная длина l_0).

Испытание проводится на разрывной машине. Для расчета прочностных характеристик необходимо знать усилие при котором произошла текучесть (P_T), и максимальное усилие, которое выдержал образец (P_{max}). Эти значения можно снимать со шкалы разрывной машины или с диаграммы растяжения (рис.2.8).

Расчет предела прочности (временного сопротивления) σ_B , Н/мм²:

$$\sigma_B = \frac{P_{max}}{F_0} ;$$

Расчет предела текучести σ_T , Н/мм²:

$$\sigma_T = \frac{P_T}{F_0} ;$$

где F_0 – начальная площадь поперечного сечения образца, мм²

После разрыва необходимо сложить две половинки образца и измерить конечный диаметр образца (d_k) в месте образовавшейся шейки и конечную расчетную длину (l_k).

Эти значения необходимы нам для определения характеристик пластичности.

Расчет относительного удлинения δ , %:

$$\delta = \frac{(l_k - l_0)}{l_0} \cdot 100\%;$$

Расчет относительного сужения $\psi, \%$:

$$\psi = \frac{(F_0 - F_k)}{F_0} \cdot 100\%;$$

где F_k – минимальная площадь поперечного сечения образца после разрыва, мм²

Испытания на твердость

Твердость — это сопротивление материала проникновению в него другого, более твердого тела. Из всех видов механического испытания определение твердости является самым распространенным.

Испытания по Бринеллю (ГОСТ 9012-83) проводятся путем вдавливания в металл стального шарика. В результате на поверхности металла образуется сферический отпечаток (рис. 2.10, а). Твердость по Бринеллю определяется по формуле

$$HB = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} 10^{-4}$$

где P — нагрузка на металл, Н; D — диаметр шарика, м; d — диаметр отпечатка, м.

Чем тверже металл, тем меньше площадь отпечатка.

Диаметр шарика и нагрузку устанавливают в зависимости от исследуемого металла, его твердости и толщины. При испытании стали и чугуна выбирают $D = 10$ мм и $P = 30$ кН (3000 кгс), при испытании меди и ее сплавов $D = 10$ мм и $P = 10$ кН (1000 кгс), а при испытании очень мягких металлов (алюминия, баббитов и др.) $D = 10$ мм и $P = 2,5$ кН (250 кгс). При испытании образцов толщиной менее 6 мм выбирают шарики с меньшим диаметром — 5 и 2,5 мм. На практике пользуются таблицей перевода площади отпечатка в число твердости.

Метод Бринелля не рекомендуется применять для металлов твердостью более НВ 450 (4500 МПа), поскольку шарик может деформироваться, что исказит результаты испытаний.

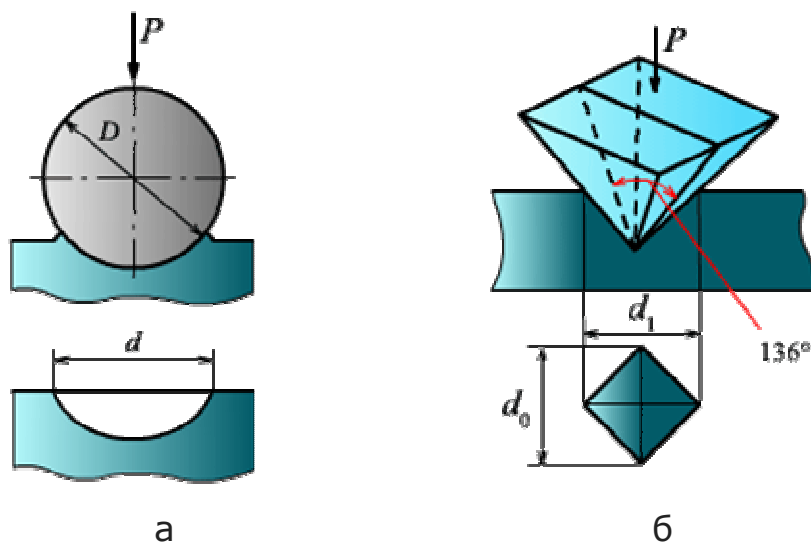


Рис. 2.10 Схема определения твердости:
а — по Бринеллю; б — по Виккерсу

Испытания по Виккерсу (ГОСТ 2999-83). В основе метода — вдавливание в испытываемую поверхность (шлифованную или даже полированную) четырехгранной алмазной пирамиды ($\alpha = 136^\circ$) (рис. 2.9, в). Метод используется для определения твердости деталей малой толщины и тонких поверхностных слоев, имеющих высокую твердость.

Твердость по Виккерсу:

$$HV = 1,854 \frac{P}{d^2} 10^{-6}, \text{ МПа,}$$

где P — нагрузка на пирамиду, Н; d — среднее арифметическое двух диагоналей отпечатка, измеренных после снятия нагрузки, м.

Число твердости по Виккерсу определяют по специальным таблицам по диагонали отпечатка d . При измерении твердости применяют нагрузку от 10 до 500 Н.

Микротвердость (ГОСТ 9450-84). Принцип определения микротвердости такой же, как и по Виккерсу, согласно соотношению:

$$H = 1,854 \frac{P}{d^2} 10^{-6}$$

Метод применяется для определения микротвердости изделий мелких размеров и отдельных составляющих сплавов. Прибор для измерения микротвердости — это механизм вдавливания алмазной пирамиды и металлографический микроскоп. Образцы для измерений должны быть подготовлены так же тщательно, как микрошлифы.

Испытание на ударную вязкость

Для испытания на удар изготавливают специальные образцы с надрезом, которые затем разрушают на маятниковом копре (рис. 2.11).

Рис. 2.11 Маятниковый копер

Общий запас энергии маятника будет расходоваться на разрушение образца и на подъем маятника после его разрушения (рис. 2.12). Поэтому если из общего запаса энергии маятника отнять часть, которая тратится на подъем (взлет) после разрушения образца, получим работу разрушения образца:

$$K = P(h_1 - h_2)$$

или

$$K = Pl(\cos \beta - \cos \alpha), \text{ Дж (кг}\cdot\text{м)},$$

де P — масса маятника, Н (кг); h_1 — высота подъема центра масс маятника до удара, м; h_2 — высота взлета маятника после удара, м; l — длина маятника, м; α, β — углы подъема маятника соответственно до разрушения образца и после него.

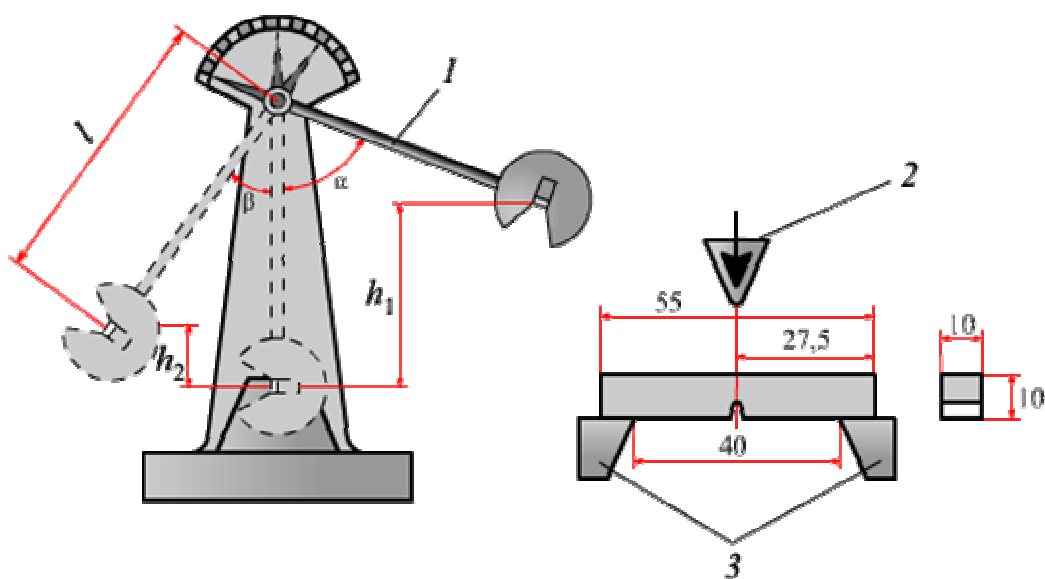


Рис. 2.12 Испытание на ударную вязкость:

1 — маятник; 2 — нож маятника; 3 — опоры

Ударную вязкость, т. е. работу, затраченную на разрушение образца и отнесенную к поперечному сечению образца в месте надреза, определяют по формуле:

$$K_C = \frac{K}{F}, \text{ МДж/м}^2 \text{ (кг}\cdot\text{м/см}^2\text{)},$$

где F — площадь поперечного сечения в месте надреза образца, м^2 (см^2).

Для определения K_C пользуются специальными таблицами, в которых для каждого угла β определена величина работы удара K . При этом $F = 0,8 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$.

Испытание на ударную вязкость проводится на маятниковом копре. Оно заключается в разрушении образца под действием ударной нагрузки. Образец для испытания (рис.2.13) имеет концентратор напряжения (U-образный надрез) по которому начинается разрушение.

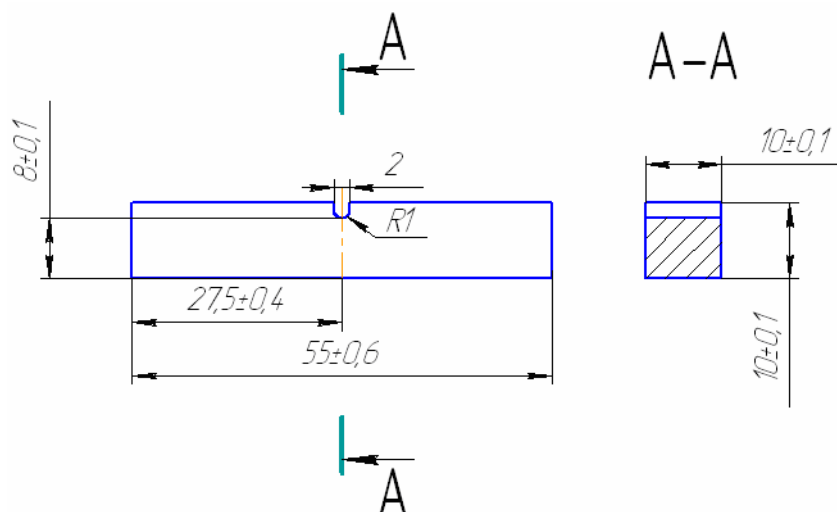


Рис. 2.13 Образец для испытания на ударную вязкость (в соответствии с ГОСТ 31334).

Результаты испытаний на растяжение и ударную вязкость образец должен соответствовать требованиям ГОСТ 31334, представленным в табл.2.3.

Таблица 2.3

Требования ГОСТ 31334

Предел прочности, Н/мм ²	Предел текучести, Н/мм ²	Относ. удлинен. %	Ударная вязкость, средн. Дж/см ²	Ударная вязкость, min кгсм/см ²
580-610	300	20,0	49	34
620-640	310	19,0	39	29
650 и более	325	18,0	34	29

2.7 Методика контроля качества накатанного слоя осей

Контроль качества накатывания чистовых осей относится к периодическим испытаниям и проводится на одной оси из 500 окончательно обработанных, но не менее одного раза в месяц [23].

Образцы для испытаний вырезаются из подступичной части и шейки оси (рис.2.14 и 2.15).

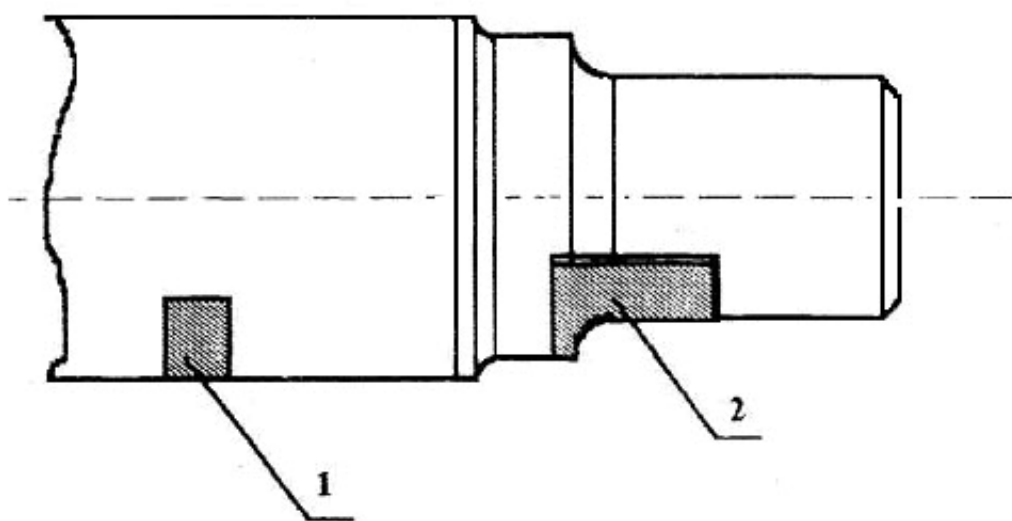


Рис. 2.14 Места отбора проб

1 – образец из подступичной части оси; 2 – образец из шейки оси

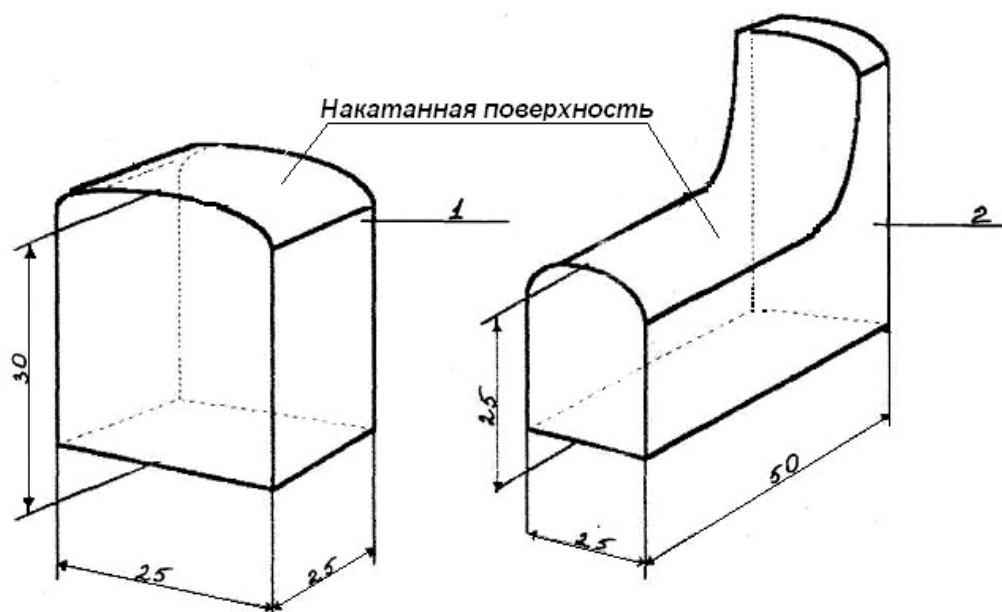


Рис. 2.15 Образцы для контроля качества накатывания оси

При контроле качества накатывания оси определяются следующие параметры:

- твердость основного металла;
- твердость накатанного слоя;
- степень увеличения поверхностной твердости;
- глубина накатанного слоя.

Измерение твердости осуществляется на универсальном твердомере по методу Виккерса.

В соответствии с ДСТУ ГОСТ 31334 [1] увеличение поверхностной твердости в результате накатывания должно составлять не менее 22% от твердости основного металла; глубина накатанного слоя должна быть 0,02-0,04 диаметра упрочняемого сечения оси.

2.8 Методика проведения неразрушающего контроля тепловозных осей

Неразрушающий контроль тепловозных осей заключается в проведении комплекса испытаний и оценке полученных результатов. По итогам можно судить о наличии дефектов [7].

Дефектом называют каждое несоответствие продукции требованиям, установленным нормативно-технической документацией. Дефекты подразделяют на явные, скрытые, критические, значительные, и малозначительные, исправимые и неисправимые[12]. Явные поверхностные дефекты выявляют глазом, а внутренние, скрытые и поверхностные, неразличимые глазом, - специальными методами и средствами.

По происхождению дефекты изделий подразделяют на производственно-технологические (металлургические, возникающие при отливке и прокатке; технологические, возникающие при изготовлении и ремонте деталей) и эксплуатационные.

Для более тщательного выявления осей с наличием различного рода дефектов, контроль качества проводится на всех стадиях производства данной детали, начиная с входного контроля проката, заканчивая приемосдаточными испытаниями.

Контроль механических испытаний, микро-, макроструктуры осуществляется на одной детали от партии, образцы вырезаются из технологического припуска оси. Хотя результаты и распространяются полностью на все оси от этой партии, но судить об абсолютном качестве каждой детали нельзя.

Поэтому, чтобы избежать вероятности пропущенных дефектов, проводится ультразвуковой и магнитно-порошковый неразрушающий контроль каждой оси.

2.8.1 Основные принципы неразрушающего ультразвукового контроля

Один из наиболее распространённых методов является эхо-импульсный метод ультразвукового неразрушающего контроля. Это объясняется тем, что этот метод, в отличие от других, применим при одностороннем доступе к исследуемому объекту, и при этом позволяет определить размеры дефекта, его координаты, характер[8].

В эхо-импульсном методе ультразвуковой дефектоскопии (УЗД) используются те же принципы, что и в радио - и акустической локации.

Современный эхо-метод УЗД основан на излучении в контролируемое изделие коротких импульсов упругих колебаний (длительностью 0,5 – 10 мксек) и регистрации интенсивности (амплитуды) и времени прихода эхо-сигналов, отраженных от дефектов отражателей.

Импульсный эхо-метод позволяет решать следующие задачи:

- обнаружение и определение координат дефектов, представляющих собой нарушения сплошности и расположенных как на поверхности, так и внутриметаллических и неметаллических изделиях и в сварных соединениях.

- определение размеров дефектов и изделий.

- обнаружение зон крупнозернистости в металлических изделиях и заготовках.

Аппаратура, реализующая данный метод, позволяет определить характер дефектов, идентифицировать их по размерам, формам, ориентации [9].

Характеристики.

К основным характеристикам метода относятся: чувствительность, максимальная глубина прозвучивания, минимальная глубина ("мертвая" зона), разрешающая способность, точность измерения расстояния, производительность контроля.

Под чувствительностью понимают минимальный размер дефекта, находящийся на максимальной глубине и четко регистрируемый прибором. Количественно ее определяют порогом чувствительности. Для эхо-метода – это минимальная площадь искусственного дефекта типа плоскодонного отверстия, который обнаруживается при контроле.

Максимальная глубина прозвучивания определяется максимальным расстоянием от дефекта (отражателя) заданного размера, на котором он уверенно выявляется.

Минимальная глубина или "мертвая" зона - минимальное расстояние от преобразователя или от поверхности изделия до дефекта, на котором он четко выявляется не сливаясь с зондирующим импульсом или импульсом от поверхности ввода ультразвука.

Разрешающая способность - минимальное расстояние между двумя одинаковыми дефектами, при котором они регистрируются отдельно. Различают лучевую и фронтальную разрешающую способности метода.

Лучевая разрешающая способность - минимальное расстояние в лучевом направлении, при котором сигналы от дефектов видны на экране как два отдельных импульса.

Фронтальная разрешающая способность по перемещению - минимальное расстояние между дефектами в направлении перпендикулярном лучевому.

Точность измерения расстояния до дефекта определяется погрешностью в % от измеряемой величины.

Производительность контроля определяется шагом и скоростью сканирования (перемещения) преобразователя. При оценке времени контроля учитывается и время на исследование дефекта.

Условия выявления дефектов при эхо-импульсном методе [13].

Для обеспечения надежного выявления дефектов необходимо выполнение двух условий:

1. Сигнал от дефекта должен превосходить минимальный сигнал, регистрируемый регистратором прибора.
2. Сигнал от дефекта должен быть больше сигнала помех.

Виды помех, появляющихся при эхо-методе [27].

При ультразвуковой дефектоскопии материалов и изделий, как и при других видах дефектоскопии наблюдается помехи. Их делят на несколько видов:

- помехи усилителя дефектоскопа. Эти помехи препятствуют беспредельному увеличению коэффициента усиления приемного тракта дефектоскопа и определяют граничное значение регистрируемого прибором сигнала;

- шумы преобразователя, возникающие при его работе по совмещенной схеме. Непосредственно после излучения зондирующего импульса чувствительность усилителя резко ослабляется в связи с сильным динамическим воздействием на него мощного сигнала генератора.

- ложные сигналы, возникающие в результате отражения от выступов или выточек и других неровностей поверхности. Эти помехи мешают выявлению дефектов на отдельных участках объекта контроля;

- помехи, связанные с рассеянием ультразвука на структурных неоднородностях, зернах материала, т.е. структурной реверберацией. Сигналы от неоднородностей в зависимости от фазы ослабляют или усиливают друг друга. Они носят статистический характер.

2.8.2 Оборудование для ультразвукового контроля

Ультразвуковой контроль осей (УЗК) осей проводят ручным переносным ультразвуковым дефектоскопом общего назначения УД2-70.

Рис.2.15 Ультразвуковой дефектоскоп УД2-70

В основу работы дефектоскопа положена способность ультразвуковых колебаний распространяться в контролируемых изделиях и отражаться от внутренних дефектов и границ материалов [25].

Возбуждение ультразвуковых колебаний в контролируемом изделии осуществляется с использованием пьезоэлектрического эффекта пьезоэлектрическими преобразователями (ПЭП) электрических колебаний в механические.

Отраженные от дефектов ультразвуковые колебания воспринимаются ПЭП. Полученные электрические колебания подлежат усилению, преобразованию в цифровую форму, обработке и выдаче на дисплей. Отображение отраженных сигналов на дисплее осуществляется в виде развертки типа А (А-скан).

Анализируя А-скан, оператор-дефектоскопист принимает решение о наличии в изделии дефекта и его местоположения [26].

Дефектоскоп имеет следующие технические характеристики:

- номинальные значения частот ультразвуковых колебаний дефектоскопа – 1.25; 1.8; 2.25; 2.5; 5.0; 10.0 МГц;
- номинальные частоты повторения импульсов возбуждения – 30; 60; 120; 250; 500; 1000 Гц;
- диапазон изменения коэффициента приемного тракта дефектоскопа от 0 до 100 дБ;
- диапазон контроля наличия внутренних дефектов по стали - от 0 до 5000мм;
- диапазон измерения глубины залегания дефектов по стали – от 1.0 до 5000мм.
- УЗК структуры металла на прозвучиваемость а так же на выявление внутренних дефектов выполняется:
 - ПЭП типа П 111-2.5-К12-003 с приемно-излучающей пластиной из титаната бария диаметром 12мм. Номинальная частота ультразвуковых

колебаний приемно-излучающих пластин ПЭП равна 2.5 МГц. Условный предел регистрации дефектов ПЭП равен 1.5 мм.

Настройка дефектоскопа при УЗК структуры металла осей прозвучиванием проводится по стандартному образцу СО – 2.

Настройка дефектоскопа при УЗК осей на отсутствие внутренних дефектов в радиальном направлении проводится по стандартному образцу предприятия СОП-12 прямым датчиком продольными волнами.

Настройку дефектоскопа по СО - 2 и СОПу проводят:

- перед началом работы;
- через 4 часа непрерывной работы;
- при смене дефектоскописта;
- при замене преобразователя, кабеля;
- при снижении мощности или признаках неисправности дефектоскопа.

2.8.3 Технология УЗК структуры металла на прозвучиваемость

Спустя примерно 5 секунд после нажатия кнопки включения на лицевой панели дефектоскопа, прибор входит в основной режим работы[27].

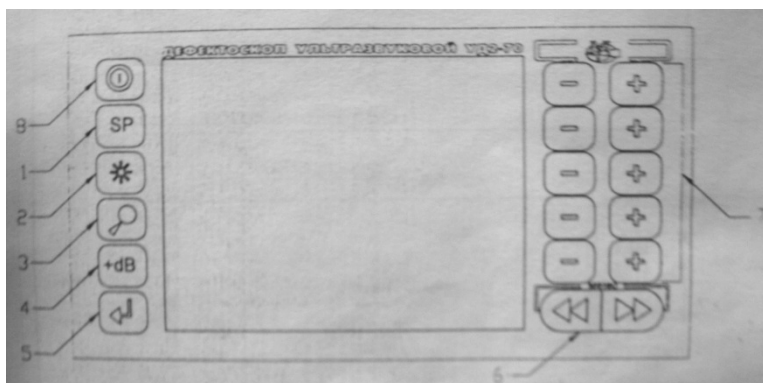


Рис. 2.16 Передняя панель дефектоскопа

1 - кнопка вызова основного меню; 2 - кнопка фиксации изображения; 3 - кнопка электронного увеличения изображения; 4 - кнопка выбора дискретности изменения усиления; 5 - кнопка ввода; 6 - кнопка выбора рабочих меню; 7 - кнопки изменения параметров настройки в рабочем меню; 8 - кнопка включения - выключения прибора.

В основном режиме работы прибор начинает вырабатывать зондирующие импульсы, а экран дефектоскопа делится на три основные части: сигнальная часть (индикация сигналов, сетки, стробов, кривой ВРЧ); рабочее меню;информационная зона[28].

Рис. 2.17 Экран дефектоскопа

Метод контроля заключается в прозвучивании оси с торцевой поверхности продольными волнами в осевом направлении и сравнении амплитуды эхо - сигнала от противоположного торца с амплитудой эхо - сигнала от донного сигнала в стандартном образце.

Контроль осей прозвучиваемостью проводится с двух сторон прямым преобразователем на частоте 2,5 МГц, после подрезки и обработки торцов до шероховатости Ra 2.5 мкм.

Настройка чувствительности дефектоскопа выполняется по донному сигналу в стандартном образце СО - 2.

Настройка дефектоскопа для прозвучивания[29]:

- в рабочем меню “ДИАПАЗОН” установить пункт “ДИАПАЗОН” - в положение “70мм.”

-установить ПЭП на СО-2, предварительно смазанный контактной жидкостью,застробировать донный эхо-сигнал стробом 1, установить величину амплитуды донного эхо-сигнала равной 50% высоты шкалы экрана (ВШЭ).

- в пункте “ДИАПАЗОН” рабочего меню “Диапазон” установить 2500 мм. К полученному коэффициенту усиления добавить 46 дБ.

-установить прямой ПЭП на торец контролируемой оси и путем сканирования датчиком поверхности торца определить величину амплитуды донного эхо-сигнала.

-ось считается прошедшей УЗК, если амплитуда донного эхо-сигнала больше 50% высоты шкалы экрана.

-ось считается не прошедшей УЗК, если амплитуда донного эхо - сигнала меньше 50% высоты экрана.

Выводы по части 2

1. В исследованиях использовали сталь марки ОС, которая содержит 0,42-0,5% С, 0,15 – 0,35%Si, 0,60 – 0,90%Mn, $\leq 0,30\%Cr$, $\leq 0,30\%Ni$, $\leq 0,25\%Cu$, $\leq 0,040\% S$, 0,040% Р.

2. Разработана методика макроанализа осей для установления видов излома; величины, формы и расположение зерен металла; дефектов, нарушающих сплошность металла; химической неоднородности металла; волокон в деформированном металле и неметаллических включений.

4. Разработана методика определения механических свойств металлов (предел прочности, предел текучести, ударная вязкость), которые являются исходными данными при проектировании и создании различных машин, механизмов и сооружений.

5. Разработан контроль качества, который заключается в проведении комплекса испытаний и оценке полученных результатов. По итогам можно судить о наличии дефектов. Чтобы избежать вероятности пропущенных дефектов, проводится ультразвуковой и магнитно-порошковый неразрушающий контроль каждой оси.

3. Анализ результатов исследования

3.1 Анализ детали, выбор марки стали

Вагонная ось является составной частью колёсной пары и представляет собой стальной брус круглого, переменного по длине поперечного сечения. Вагонные оси различаются между собой размерами, определяемыми в зависимости от заданной нагрузки; формой шейки оси в соответствии с применяемым типом подшипника – для подшипников качения и подшипников скольжения; формой круглого поперечного сечения – сплошные или полые; способом торцового крепления подшипников качения на шейке оси – корончатой гайкой или шайбой.

В качестве исследуемой детали выбрана ось типа РУ1Ш, которая предназначена для грузовых и пассажирских вагонов. Она является составной частью колесной пары вагонов магистральных железных дорог колеи 1520 мм[1].

Для изготовления оси типа РУ1Ш, учитывая предъявляемые к ней требования (табл. 3.1), выбрана сталь марки ОС. Данная сталь относится к группе среднеуглеродистых конструкционных и применяется для

средненагруженных деталей, работающих при небольших скоростях и средних удельных давлениях.

Таблица 3.1

Требования предъявляемые к материалу [ГОСТ 31334-2007]

Временное сопротивление, σ_B , Н/мм ²	Предел текучести, σ_T , Н/мм ²	Относит. удлинение, δ , %	Ударная вязкость при 20°C КСУ, Дж/см ²	
Не менее			Среднее значение, не менее	Минимальное значение
580-610	300	20,0	49	34
620-640	310	19,0	39	29
650 и более	325	18,0	34	29

Химический состав и механические свойства стали ОС приведены в табл.3.2 и табл. 3.3.

Таблица 3.2

Химический состав стали ОС [ГОСТ 4728-96]

Содержание элементов, %							
C	Si	Mn	Cr	Ni	Cu	S	P
0,42 – 0,50	0,15 – 0,35	0,60 – 0,90	≤ 0,30		≤ 0,25	≤ 0,040	

Таблица 3.3

Механические свойства стали ОС

σ_B	$\sigma_{0,2}$	δ	ψ	КСУ	Критические точки, °C	
Н/мм ²		%		Дж/см ²	A ₁	A ₃
700	385	22,0	42,0	49	724	755

3.2 Исследование термической обработки оси

Технологический процесс термической обработки оси состоит из нормализационного отжига, технологическими задачами которого является: улучшение обрабатываемости стали, повышение пластичности и вязкости, устранение неоднородной и крупнозернистой структуры, полученной при литье[16].

Нормализационный отжиг заключается в нагреве до аустенитного состояния, т.е. выше критической точки A_3 на 30 – 50 °С, выдержке при этой температуре для полного прогрева и завершения фазовых превращений в объеме металла и последующим охлаждением на спокойном воздухе.

Технология нормализационного отжига заключается в:

1. Нагрев детали до температуры отжига $t = 850-870^{\circ}\text{C}$;
2. Выдержка в печи при $t=850-870^{\circ}\text{C}$ до полного прогрева детали;
3. Охлаждение изделия на спокойном воздухе до температуры окружающей среды;
4. Контроль твердости (196-215НВ).

На рис. 3.1 представлен режим термической обработки (нормализационного отжига) стали ОС.

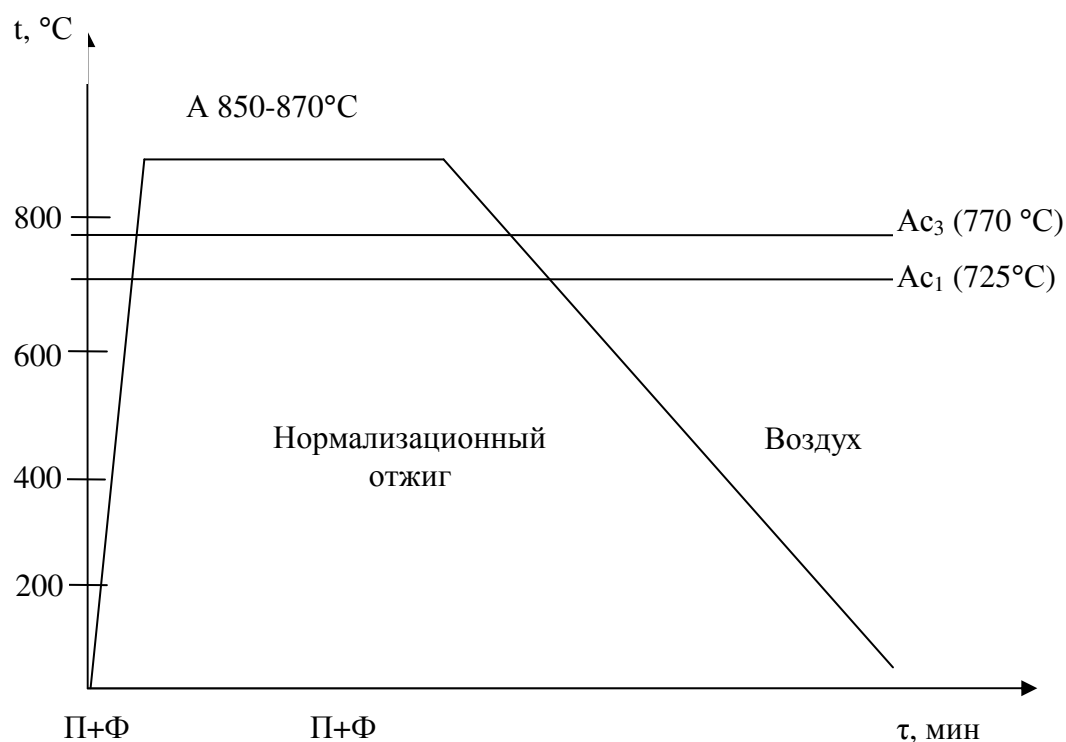


Рис.3.1 Режим термической обработки стали ОС

При нормализационном отжиге происходит полная фазовая перекристаллизация стали: измельчается зерно и устраняется видманштеттова и другие неблагоприятные структуры стали [18]. Отжиг и последующий высокий отпуск для массивных осевых поковок сложной конфигурации является окончательной термической обработкой, так как после него в изделиях практически отсутствуют остаточные напряжения и их деформация оказывается минимальной. К окончательной термической обработке относится улучшение.

Структура стали до нормализации феррито-перлитная с баллом зерна 4 представлена на рис.3.2,а. После нормализации балл зерна 7, рис.3.2,б[10].

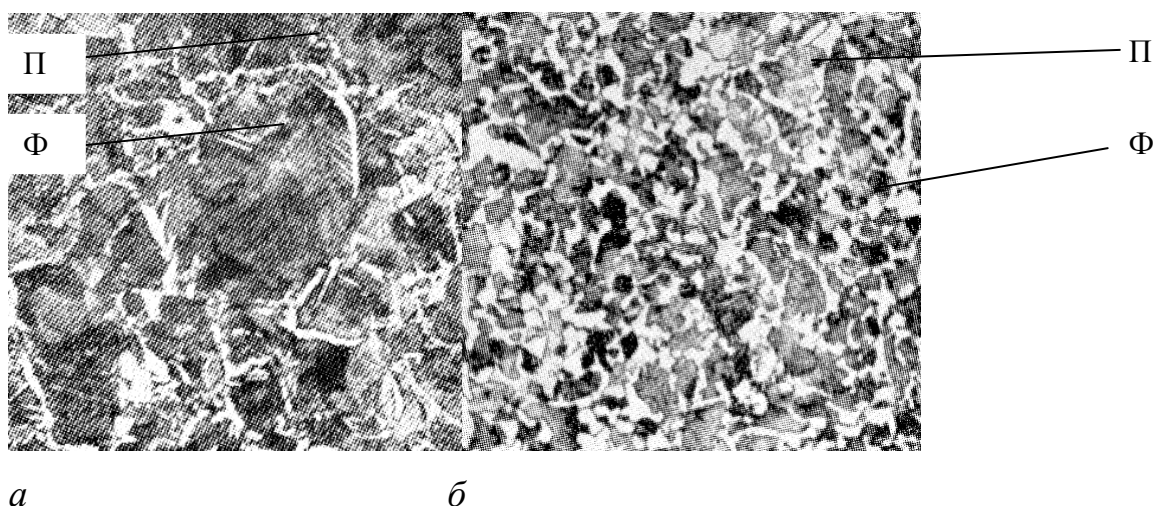


Рис. 3.2 Структуры стали ОС, X100

a – до нормализации (П+Ф) , *б* – после нормализации (П+Ф),

3.3 Исследование механических свойств

Исследование механических свойств осуществляли на стандартных образцах для испытаний на растяжение и ударную вязкость [18].

Для исследования было отобрано по одному образцу от 10 плавов. При испытании на растяжение определяют предел прочности (σ_B), предел текучести (σ_T), относительное удлинение (δ) и относительное сужение (ψ). Испытания проводят на разрывных машинах с использованием стандартных образцов с площадью поперечного сечения $F_0=78.5\text{мм}^2$ (при $d=10\text{мм}$) и рабочей (расчетной) длиной $l_0=50\text{мм}$. В результате проведения испытаний получают диаграмму растяжения (рис. 3.3). На оси абсцисс указывается значение деформации, на оси ординат – значение нагрузки, которая прилагается к образцу.

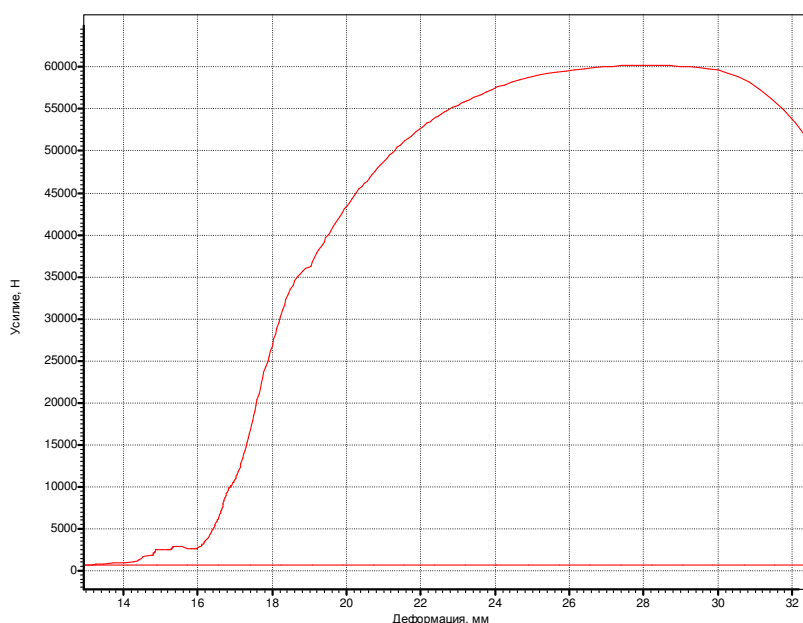


Рис. 3.3 Диаграмма растяжения образца 092586
плавки 0261836

Исходя из данных диаграммы были определены механические свойства осей РУ1Ш, изготовленных из стали ОС (табл. 3.4). Поставщиком проката квадратного поперечного сечения является металлургический комбинат «Азовсталь» (г. Мариуполь).

Таблица 3.4

Механические свойства осей РУ1Ш (сталь ОС)

Поставщик	№ плавки	Кол-во партий в плавке	Средние значения мех. св-в по плавке		
			Времен. сопрот. Н/мм ²	Предел течуч. Н/мм ²	Относ. удлинен. %
Норма			≥580	≥300	≥18,0
Азовсталь	0261837	1	659	372	23,8
	0261824	3	696	374	22,4
	0261828	6	575	280	18,9
	0261822	5	691	374	22,1
	0261836	7	675	372	22,7
	0261827	6	653	382	22,9
	0261838	5	675	378	22,4
	0261302	2	728	384	21,5
	0261825	7	669	374	22,5
0261842	3	656	365	23,1	

Результаты определения ударной вязкости представлены в табл.3.5. Для определения ударной вязкости используются образцы Шарпи - образцы сечением 10x10 мм, длиной 55 мм и с U-образным надрезом шириной и глубиной 2 мм и радиусом 1 мм.

Таблица 3.5

Результаты определения ударной вязкости осей РУ1Ш (сталь ОС)

№ образца	№ плавки	Работа удара В, Дж				Ударная вязкость, средн. кДж/м ²
Норма КСУ ≥ 35 кДж/м²						
98765	0261837	50	60	60	50	55
96222	0261824	48	40	44	44	44
97465	0261828	50	40	46	44	45
96458	0261822	49	49	50	48	49
97656	0261836	50	44	46	48	46
94256	0261827	45	47	49	47	47
98776	0261838	50	48	49	49	49
99102	0261302	45	50	43	46	46
93568	0261825	46	48	47	47	47
96589	0261840	49	56	53	54	53

В результате проведения испытаний на растяжение обнаружили что образец 97465 плавки 0261828 не соответствует требованиям ГОСТ 31334[1], т.к у нее низкий предел прочности, предел текучести и относительное удлинение. Данная ось считается забракованной в результате проведения механических испытаний. Результаты испытаний остальных 9 образцов от других плавков соответствуют требованиям ГОСТ 31334.

Определение химического состава образцов стали и сплавов проводили с использованием метода ИК-спектроскопии на автоматических анализаторах фирмы «LECO», США (при определении содержания в металле углерода и серы: ГОСТ 12344 – Стали легированные и высоколегированные. Методы определения углерода; ГОСТ 12345 – Стали легированные и высоколегированные. Методы определения серы).

Результаты определения химического состава различных плавок представлен в табл.3.6.

Таблица 3.6

Результаты определения химического состава осей РУ1Ш

Содержание элемента, %	№ плавки						
	0261837	0261824	0261828	0261822	0261836	0261827	0261838
C	0.484	0.495	0.482	0.484	0.459	0.491	0.486
Mn	0.751	0.749	0.750	0.748	0.754	0.754	0.752
Si	0.290	0.284	0.286	0.291	0.292	0.285	0.286
S	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003
P	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009
Cr	0.070	0.072	0.071	0.070	0.075	0.071	0.070
Ni	0.159	0.162	0.163	0.161	0.160	0.157	0.158
Cu	0.149	0.151	0.148	0.146	0.148	0.149	0.150
Al	0.019	0.018	0.019	0.019	0.018	0.019	0.017
V	0.019	0.019	0.018	0.019	0.017	0.019	0.019
Ti	0.010	0.011	0.010	0.011	0.010	0.012	0.010
Mo	0.011	0.010	0.010	0.011	0.011	0.010	0.009
W	0.008	0.010	0.009	0.008	0.007	0.008	0.007
As	0.018	0.017	0.018	0.018	0.017	0.018	0.019
Nb	0.006	0.006	0.006	0.005	0.006	0.006	0.006

Как следует из анализа данных, приведенных в таблице 3.6, по химическому составу металл исследуемых железнодорожных осей не имеет отклонений от требований нормативно – технической документации (ГОСТ

31334).

3.4 Анализ зависимости механических свойств от химического состава осевой стали

Важнейшей составной частью научных исследований является эксперимент, основой которого является научно поставленный опыт с точно учитываемыми и управляемыми условиями. Основной целью эксперимента является выявление свойств исследуемых объектов, проверка справедливости гипотез и на этой основе широкое и глубокое изучение темы научного исследования.

Планирование эксперимента — это постановка опытов по некоторому заранее составленному плану, отвечающему определенным требованиям. Методы планирования экспериментов позволяют свести к минимуму число необходимых опытов и одновременно выявить оптимальное значение искомой функции. Планирование эксперимента дает возможность варьировать одновременно все факторы и получать количественные оценки основных эффектов и эффектов взаимодействия. В данном случае искомой функцией является прочность осевой стали, а факторами, влияющими на нее, являются химический состав стали и температура нормализационного отжига.

Исходными данными для анализа этих зависимостей является химический состав, содержание углерода в стали, предел прочности.

В табл. 3.8 представлены основные характеристики исследуемых плавок, опираясь на значение которых поставлено планирование эксперимента. В ходе эксперимента требуется оценить прочность стали при воздействии на нее различных факторов и определить температуру и концентрацию углерода в стали, обеспечивающие максимальную прочность готовых тепловозных осей.

Таблица 3.8

№ плавки	Характеристики					
	t, °C	C, %	σ_B , МПа	σ_T , МПа	ε , %	КСУ, КДж/м ²
0261837	810	0,484	659	372	23,8	55
0261824	815	0,495	696	374	22,4	44
0261829	820	0,482	658	375	23,3	45
0261822	825	0,486	691	374	22,1	49
0261836	830	0,491	675	373	22,7	46
0261827	835	0,492	653	382	22,9	47
0261838	840	0,486	675	378	22,4	49
0261302	845	0,494	728	384	21,5	46
0261825	850	0,481	669	374	22,5	47
0261842	855	0,487	656	365	23,1	53

В качестве независимой переменной выбран предел прочности (σ_B , МПа), и два фактора - температура (t, °C) и концентрация углерода в стали (C, %). С помощью переменных были составлены регрессионные уравнения, переменные которых представлены в табл. 3.9.

Таблица 3.9

Фактор	Регрессия; R-кв.=,44958;Скор.0, (Т 2 факторы, 1 Блоки; Остаточн.SS=3П σ_B (МПа)			
	Регрес. Коэф.	Ст.Ош.	t(4)	p
Сред/Св.член	13756,1	152584,1	0,90157	0,4182
(1)t (C)(L)	-10,1	106,0	-0,09363	0,9299
t (C)(K)	-0,1	0,0	-0,30383	0,7764
(2)C, %(L)	-54706,1	555606,1	-0,98462	0,3805
C, %(K)	50279,1	515198,1	0,97593	0,3843
1L на 2L	71,1	132,7	0,53214	0,6228

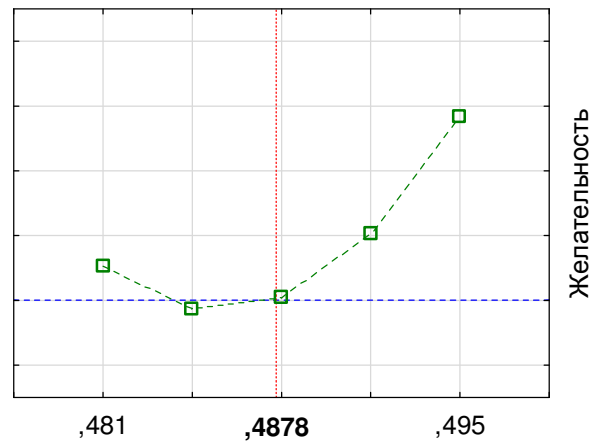
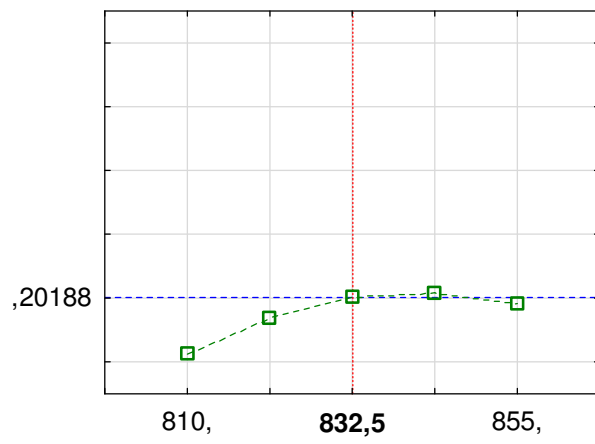
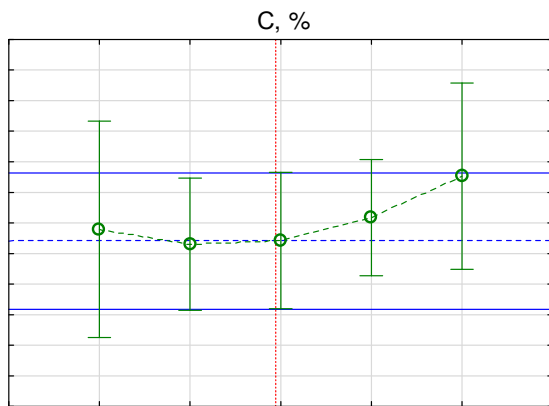
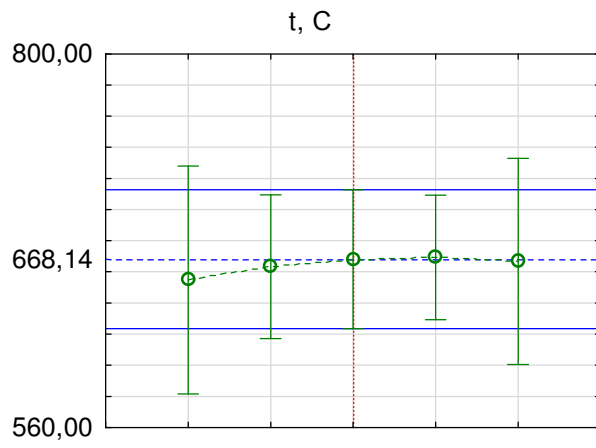
С помощью регрессионных уравнений проведена предварительная проверка эффективности повышения температуры и насыщения стали углеродом (табл.3.10).

Таблица 3.10

Фактор	Оценки эффектов; R-кв.=,44958;Скор.0, (Таблица данных1) 2 факторы, 1 Блоки; Остаточн.SS=677,2889 ЗП св (МПа)									
	Эффект	Ст.Ош.	t(4)	p	-95,% Дов.Пред	+95,% Дов.Пред	Коэф.	Ст.Ош. Коэф.	-95,% Дов.Пред	+95,% Дов.Пред
Сред/Св.член	668,615	16,0540	41,6476	0,00000	624,04	713,188	668,615	16,0540	624,042	713,188
(1)t (C)(L)	12,531	27,6432	0,4533	0,67382	-64,219	89,281	6,265	13,8216	-32,109	44,640
t (C)(K)	-14,755	48,5646	-0,3038	0,77640	-149,59	120,081	-7,377	24,2823	-74,796	60,040
(2)C, %(L)	34,633	25,8665	1,3389	0,25162	-37,18	106,450	17,316	12,9332	-18,591	53,225
C, %(K)	49,274	50,4894	0,9759	0,38435	-90,90	189,455	24,637	25,2447	-45,453	94,727
1L на 2L	22,251	41,8136	0,5321	0,62280	-93,84	138,344	11,125	20,9068	-46,921	69,172

В результате оценки эффективности были установлены рамки наиболее удовлетворительных значений предела прочности тепловозных осей: $\sigma_b = 668$ МПа до $\sigma_b = 713$ МПа. в зависимости от температуры нормализационного отжига и химического состава. С помощью данного математического вычисления были спроектированы профили предсказанных значений и функций желательности (рис. 3.11).

Зависимость между предсказанными откликами для зависимой переменной и желательностью откликов называется функцией желательности. Построение профилей желательности включает задание функции желательности для зависимой переменной приписыванием предсказанным значениям меток от 0 (очень нежелательно) до 1 (очень желательно). Индивидуальные значения желательности для предсказанных значений зависимой переменной далее объединяются с помощью вычисления их геометрического среднего. Профили желательности состоят из последовательности графиков - один график для каждой независимой переменной, на фиксированных уровнях других независимых переменных. Исследование профилей желательности может показать какие уровни предикторных переменных дают наиболее желаемые отклики зависимых переменных.



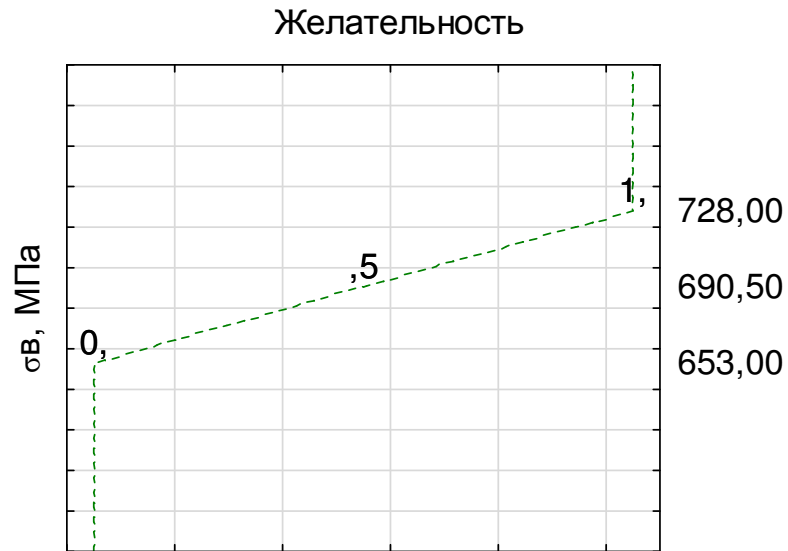


Рис.3.11 Профили предсказанных значений и функции желательности

Диаграмма Парето является эффективным средством определения того, какие эффекты имеют наибольший вклад на интересующую нас зависимую переменную. Рассмотрим диаграмму Парето эффектов (рис.3.12). Эта диаграмма показывает стандартизованные коэффициенты, отсортированные по абсолютной величине.

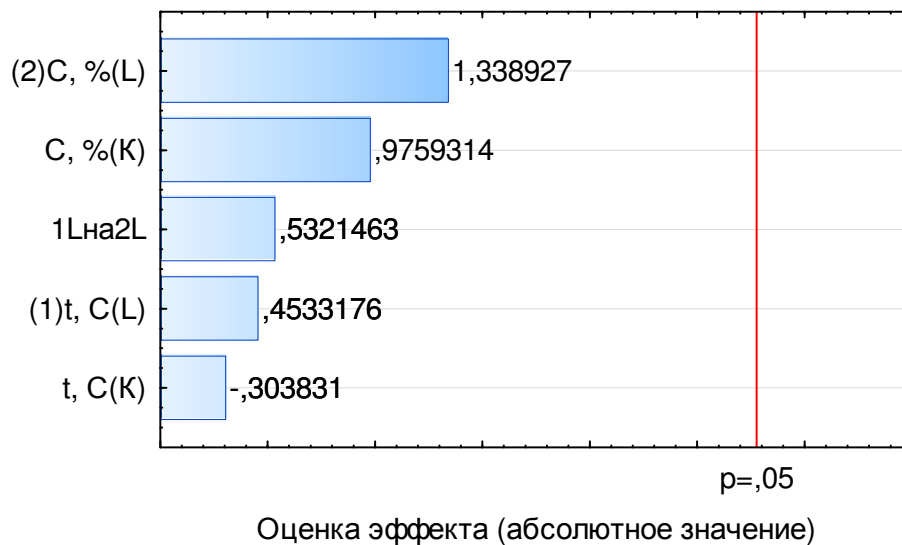


Рис. 3.12 Диаграмма Парето стандартизованных эффектов; Перемен.:
 σ_v , МПа

2 факторы, 1 Блоки; Остаточн. SS=677,2889

ЗП σ_v , МПа

Таким образом показания диаграммы свидетельствуют о том, что содержание углерода в стали является наиболее важным показателем, повышающим прочность готовых осей.

Благодаря математическим расчетам можно визуализировать соотношения между факторами и зависимой переменной (то есть подгоняемой функцией) в пространственной системе координат (рис.3.13).

Рис. 3.13 Пространственная система координат; Перемен.: σ_v , МПа

2 факторы, 1 Блоки; Остаточн. SS=677,2889

ЗП σ_v , МПа

Таким образом, в пространственной системе координат общее ограничение на температуру или концентрацию углерода (каждое значение соответствует определенной плавке) приводит к ограниченной области, которую можно представлять треугольником. Из данной диаграммы видно, что прочность стали колеблется от 658НВ до 728НВ и увеличивается при повышении содержания углерода. Однако поверхность не совсем линейна, а имеет некоторую кривизну. Это, конечно, соответствует оценкам параметров (для псевдокомпонент), а также диаграмме Парето, показанной ранее.

3.4 Анализ зависимости механических свойств от химического состава осевой стали

Важнейшей составной частью научных исследований является эксперимент, основой которого является научно поставленный опыт с точно

учитываемыми и управляемыми условиями. Основной целью эксперимента является выявление свойств исследуемых объектов, проверка справедливости гипотез и на этой основе широкое и глубокое изучение темы научного исследования.

Планирование эксперимента — это постановка опытов по некоторому заранее составленному плану, отвечающему определенным требованиям. Методы планирования экспериментов позволяют свести к минимуму число необходимых опытов и одновременно выявить оптимальное значение искомой функции. Планирование эксперимента дает возможность варьировать одновременно все факторы и получать количественные оценки основных эффектов и эффектов взаимодействия. В данном случае искомой функцией является прочность осевой стали, а факторами, влияющими на нее, являются химический состав стали и температура нормализационного отжига.

Исходными данными для анализа этих зависимостей является химический состав, содержание углерода в стали, предел прочности.

В табл. 3.8 представлены основные характеристики исследуемых плавок, опираясь на значение которых поставлено планирование эксперимента. В ходе эксперимента требуется оценить прочность стали при воздействии на нее различных факторов и определить температуру и концентрацию углерода в стали, обеспечивающие максимальную прочность готовых тепловозных осей.

Таблица 3.8

№ плавки	Характеристики
----------	----------------

	t, °C	C, %	σ_B , МПа	σ_T , МПа	ε , %	КСУ, КДж/м ²
0261837	810	0,484	659	372	23,8	55
0261824	815	0,495	696	374	22,4	44
0261829	820	0,482	658	375	23,3	45
0261822	825	0,486	691	374	22,1	49
0261836	830	0,491	675	373	22,7	46
0261827	835	0,492	653	382	22,9	47
0261838	840	0,486	675	378	22,4	49
0261302	845	0,494	728	384	21,5	46
0261825	850	0,481	669	374	22,5	47
0261842	855	0,487	656	365	23,1	53

В качестве независимой переменной выбран предел прочности (σ_B , МПа), и два фактора - температура (t, °C) и концентрация углерода в стали (C, %). С помощью переменных были составлены регрессионные уравнения, переменные которых представлены в табл. 3.9.

Таблица 3.9

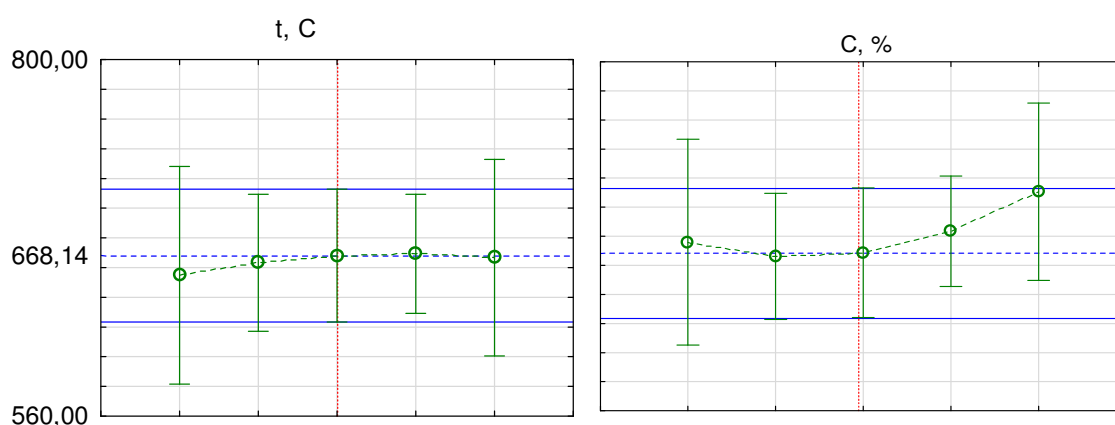
Фактор	Регрессия; R-кв.=,44958;Скор.0, (Т 2 факторы, 1 Блоки; Остаточн.SS= ЗП σ_B (МПа)			
	Регрес. Козф.	Ст.Ош.	t(4)	p
Сред/Св.член	137569	152584,1	0,90157	0,4182
(1)t (C)(L)	-10	106,0	-0,09363	0,9299
t (C)(K)	-0	0,0	-0,30383	0,7764
(2)C, %(L)	-547069	555606,1	-0,98462	0,3805
C, %(K)	502798	515198,1	0,97593	0,3843
1L на 2L	71	132,7	0,53214	0,6228

С помощью регрессионных уравнений проведена предварительная проверка эффективности повышения температуры и насыщения стали углеродом (табл.3.10).

Фактор	Оценки эффектов; R-кв.=,44958;Скор.0, (Таблица данных1) 2 факторы, 1 Блоки; Остаточн.SS=677,2889 ЗП σ_B (МПа)									
	Эффект	Ст.Ош.	t(4)	p	-95,%, Дов.Пред	+95,%, Дов.Пред	Козф.	Ст.Ош. Козф.	-95,%, Дов.Пред	+95,%, Дов.Пред
Сред/Св.член	668,615	16,0540	41,6476	0,00000	624,04	713,188	668,615	16,0540	624,042	713,188
(1)t (C)(L)	12,531	27,6432	0,4533	0,67382	-64,21	89,281	6,265	13,8216	-32,109	44,640
t (C)(K)	-14,755	48,5646	-0,3038	0,77640	-149,59	120,081	-7,377	24,2823	-74,796	60,040
(2)C, %(L)	34,633	25,8665	1,3389	0,25162	-37,18	106,450	17,316	12,9332	-18,591	53,225
C, %(K)	49,274	50,4894	0,9759	0,38435	-90,90	189,455	24,637	25,2447	-45,453	94,727
1L на 2L	22,251	41,8136	0,5321	0,62280	-93,84	138,344	11,125	20,9068	-46,921	69,172

В результате оценки эффективности были установлены рамки наиболее удовлетворительных значений предела прочности тепловозных осей: $\sigma_b = 668$ МПа до $\sigma_b = 713$ МПа. в зависимости от температуры нормализационного отжига и химического состава. С помощью данного математического вычисления были спроектированы профили предсказанных значений и функций желательности (рис. 3.11).

Зависимость между предсказанными откликами для зависимой переменной и желательностью откликов называется функцией желательности. Построение профилей желательности включает задание функции желательности для зависимой переменной приписыванием предсказанным значениям меток от 0 (очень нежелательно) до 1 (очень желательно). Индивидуальные значения желательности для предсказанных значений зависимой переменной далее объединяются с помощью вычисления их геометрического среднего. Профили желательности состоят из последовательности графиков - один график для каждой независимой переменной, на фиксированных уровнях других независимых переменных. Исследование профилей желательности может показать какие уровни предикторных переменных дают наиболее желаемые отклики зависимых переменных.



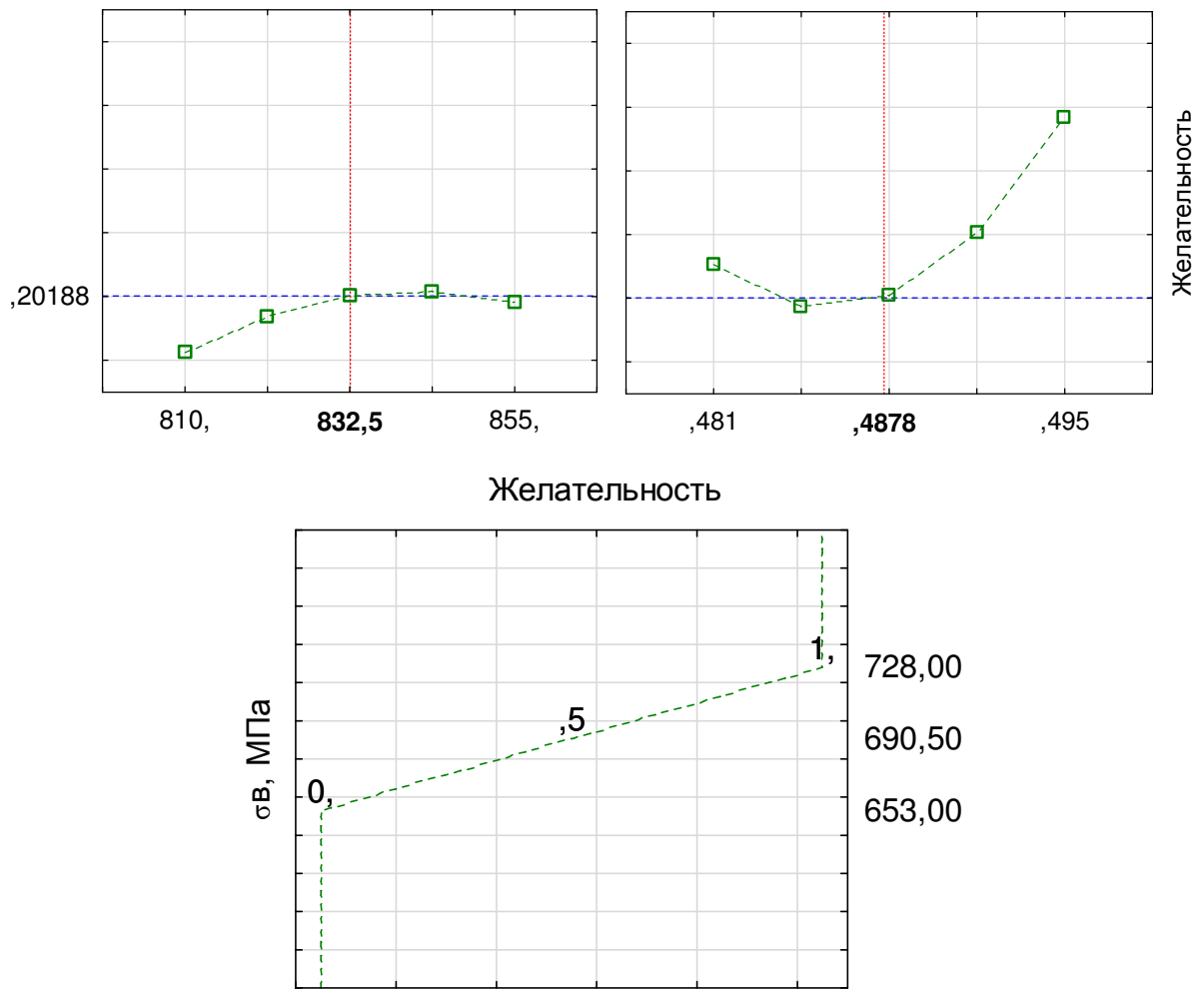


Рис.3.11 Профили предсказанных значений и функции желательности

Диаграмма Парето является эффективным средством определения того, какие эффекты имеют наибольший вклад на интересующую нас зависимую переменную. Рассмотрим диаграмму Парето эффектов (рис.3.12). Эта диаграмма показывает стандартизованные коэффициенты, отсортированные по абсолютной величине.

Рис. 3.12 Диаграмма Парето стандартизованных эффектов; Перемен.:
 σ_v , МПа

2 факторы, 1 Блоки; Остаточн. SS=677,2889

ЗП σ_v , МПа

Таким образом показания диаграммы свидетельствуют о том, что содержание углерода в стали является наиболее важным показателем, повышающим прочность готовых осей.

Благодаря математическим расчетам можно визуализировать соотношения между факторами и зависимой переменной (то есть подгоняемой функцией) в пространственной системе координат (рис.3.13).

Рис. 3.13 Пространственная система координат; Перемен.: σ_v , МПа

2 факторы, 1 Блоки; Остаточн. SS=677,2889

ЗП σ_v , МПа

Таким образом, в пространственной системе координат общее ограничение на температуру или концентрацию углерода (каждое значение соответствует определенной плавке) приводит к ограниченной области, которую можно представлять треугольником. Из данной диаграммы видно, что прочность стали колеблется от 658НВ до 728НВ и увеличивается при повышении содержания углерода. Однако поверхность не совсем линейна, а имеет некоторую кривизну. Это, конечно, соответствует оценкам параметров (для псевдокомпонент), а также диаграмме Парето, показанной ранее.

3.5 Исследования макроструктуры

При оценке макроструктуры, на темплете от оси № 98765 плавки 0261837 обнаружена центральная пористость 2 балла по ГОСТ 10243 (Рис. 3.4, а) и краевая пятнистая ликвация 1 балла по ГОСТ 10243 (Рис. 3.4, б) [4].

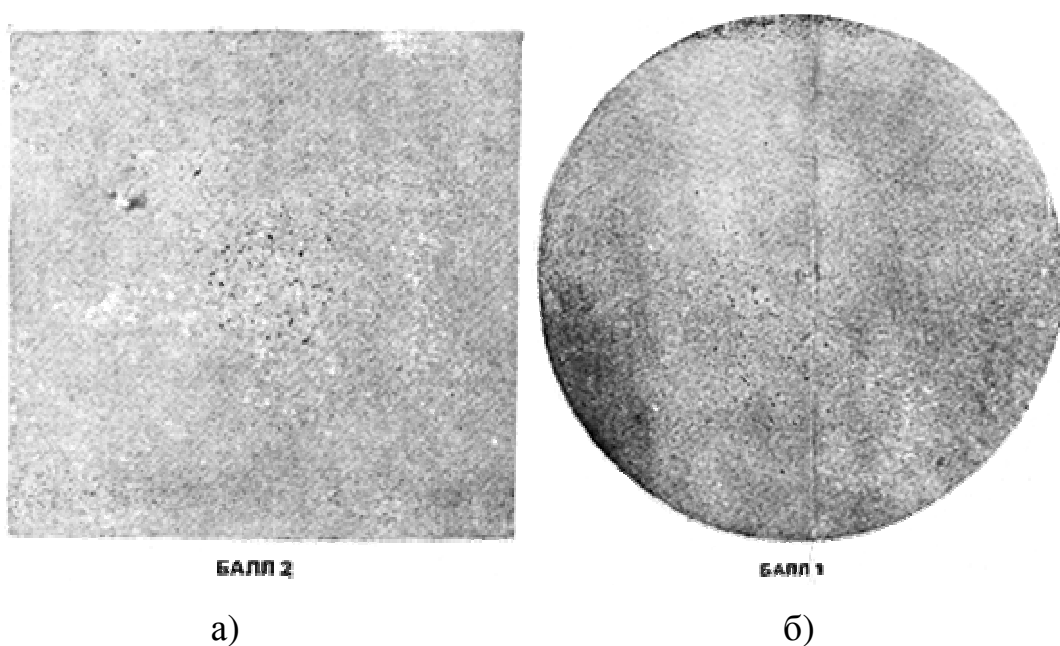


Рис. 3.4 Макроструктура оси № 98765 плавки 0261837 (а- центральная пористость, б- краевая пятнистая ликвация)

При оценке макроструктуры, на темплете от оси № 98776 плавки 0261838 обнаружена центральная пористость 2 балла по ГОСТ 10243, а также 3 трещины в осевой зоне образца (рис. 3.5), которые были причиной неудовлетворительных результатов ультразвукового контроля.

Рис. 3.5 Макроструктура темплета от оси
№ 98776 плавки 0261838

При оценке макроструктуры темплета от оси № 96589 плавки 0261840, были обнаружены центральная пористость 2 балла, точечная неоднородность 1 балла по ГОСТ 10243, а также трещина в осевой зоне темплета (рис. 3.6), которая также была причиной неудовлетворительных результатов ультразвукового контроля.

Рис. 3.6 Макроструктура темплета от оси № 96589 плавки 0261840

Исследование макроструктуры на темплетах от осей № 98765 и № 98776 (плавки 0261837 и 0261838 соответственно) показало наличие центральной пористости 2 балла и темплета от оси № 96589 плавки 0261840, были обнаружены центральная пористость 2 балла, точечная неоднородность 1

балла по ГОСТ 10243, а также трещина в осевой зоне темплета. Данные показатели считаются удовлетворительными.

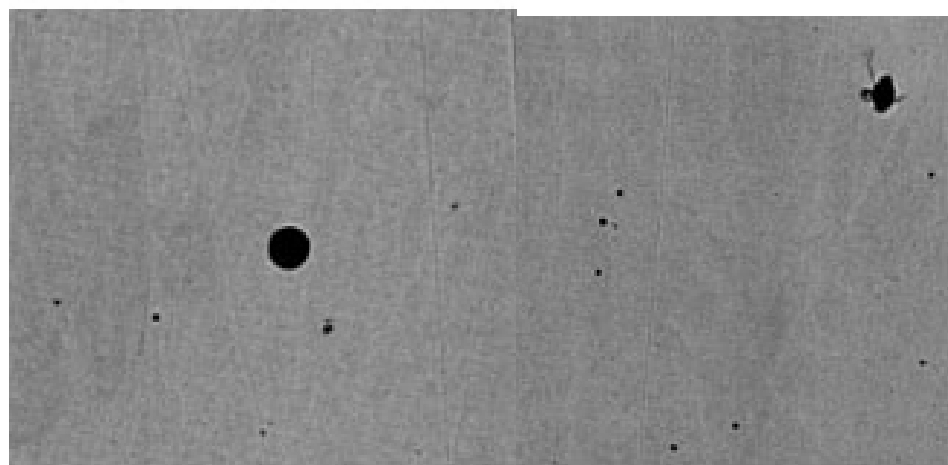
3.6 Исследование загрязненности металла неметаллическими включениями

Оценку неметаллических включений деформированного металла производят под микроскопом сравнением с эталонными шкалами при просмотре всей площади нетравленных шлифов с продольным направлением волокон.

Сравнительная оценка химического состава и характера распределения неметаллических включений в образцах из проката квадратного поперечного сечения осуществлялась по двум широко применяемым стандартам: ГОСТ 1778, ASTM EN 45-05 [6].

Установлено, что в металле плавки 0261837 встречаются преимущественно тонкие сульфидные включения до 0,5 балла (рис.3.7,а).

В металле плавки 0261839 и 0261828 встречаются точечные оксидные включения до 0,5 балла и силикатные включения как глобулярной, так и строчечной формы до 3 балла (рис. 3.7, б). В металле плавки 0261838 встречаются строчечные и точечные оксидные включения до 1 балла (рис. 3.7, в). На всех нетравленных микрошлифах встречаются неметаллические включения в виде скоплений (конгломератов) мелких включений округлой и неправильной геометрической формы (рис. 3.7, г). Максимальные размеры крупных включений – 50-60 мкм.



а

б

в

г

Рис.3.7 Типы неметаллических включений, которые обнаружены в исследуемых образцах

3.7 Исследование микроструктуры

После травления была исследована микроструктура осевой стали различных плавов. Микроструктура образца из оси № 98875 плавки 0261838 – феррито- перлитная, мелкозернистая, балл зерна 7, что соответствует ГОСТ 5639-82 (рис.3.8) [10].

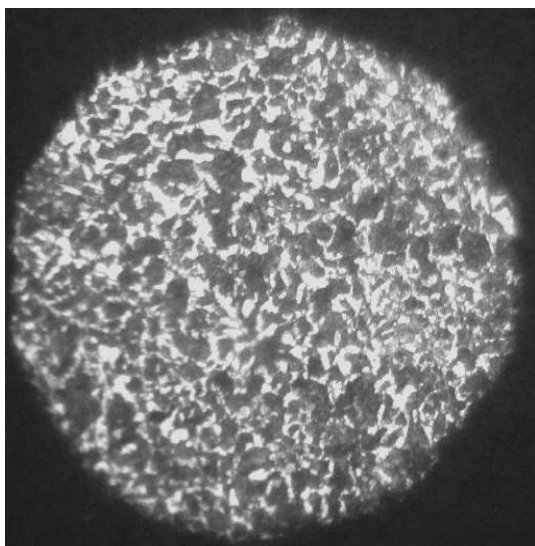


Рис. 3.8 Микроструктура образца из оси
№ 98875 плавки 0261838, X 100

Микроструктура образца из оси № 98881 плавки 0261839 – феррито-перлитная, мелкозернистая, балл зерна 8, что соответствует ГОСТ 5639-82 (рис.3.9).

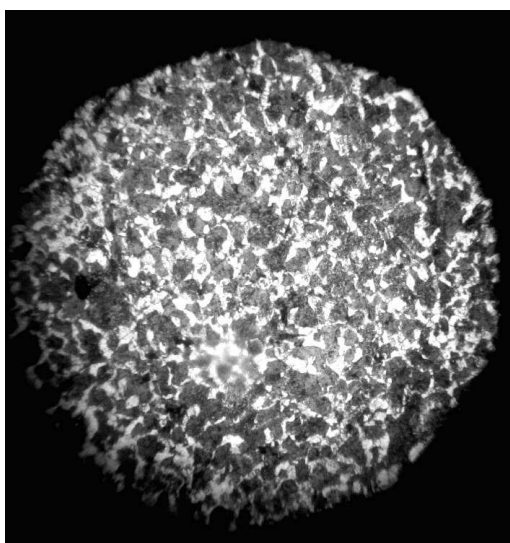
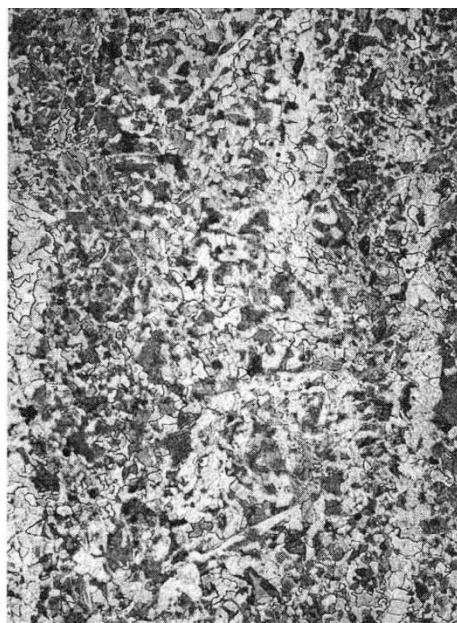


Рис. 3.9 Микроструктура образца из оси
№ 98881 плавки 0261839, X 100

Микроструктура образца из оси № 97465 плавки 0261828 представляет собой феррито-перлитную смесь с полосчатостью, имеющую в некоторых полях зрения ярко выраженный характер (рис. 3.10) с наличием

видманштеттова феррита. Полосчатая структура возникает через загрязнение стали неметаллическими включениями, обычно сульфидами, или в результате ликвации фосфора [5]. Эти включения при обработке давлением вытягиваются. Феррит, зарождающийся на вытянутых включениях, образует вытянутые скопления. Полосчатая структура, вызванная неметаллическими включениями, не исправляется отжигом. Такой материал имеет низкие механические свойства в поперечном и высотном направлении в сравнении с основным направлением деформации. Условно, феррито-перлитная полосчатость в оси составляет 3-4 балла по шкале 3, ряд В, ГОСТ 5640-68. Величина действительного зерна соответствует 7 баллу по ГОСТ 5639-82.



а

б

Рис. 3.10 Микроструктура образца из оси № 97465 плавки 0261828

Исследование микроструктуры образца из оси № 97465 плавки 0261828 показало наличие феррито-перлитной смеси с полосчатостью, имеющую в некоторых полях зрения ярко выраженный характер с наличием видманштеттова феррита. Данная структура не соответствует требованиям ГОСТ 5639-82 и является не устранимой. Образец данной плавки не прошел и механические испытания, в результате этого вся плавка считается

забракованной. Микроструктура остальных образцов соответствует требованиям ГОСТ 5639-82.

3.8 Контроль качества накатанной поверхности

Измерение твердости накатанной поверхности и глубины упрочненного слоя проводилось на образцах, вырезанных из шейки и подступичной части оси. Измерение твердости производится по осевой линии косоугольного шлифа по ГОСТ 2999-75 прибором ТП (Виккерса) при нагрузке не более 30 кгс [8].

Толщина упрочненного слоя в мм и повышение твердости обкатанной поверхности в процентах определяется на основании результатов измерений твердости. В таблице 3.7 представлены результаты измерения накатанной поверхности осей различных плавок.

Таблица 3.7

Результаты измерения накатанной поверхности

Плавка	НВ Основного металла	НВ Упрочненного слоя	Степень упрочнения, %	Глубина упрочненного слоя, мм
0261827 (шейка)	186	250	34,4	5
0261827 (подступица)	193	262	35,8	7,7
0261837 (шейка)	188	254	35,1	5,5
0261837 (подступица)	196	266	35,7	7,5
0261824 (шейка)	184	246	33,7	4,8
0261824 (подступица)	191	260	36,1	7,8
0261829 (шейка)	189	261	38,1	6,2
0261829 (подступица)	195	270	38,5	8,1
0261822 (шейка)	184	248	34,8	5,3
0261822 (подступица)	192	260	35,4	7,4

Анализ экспериментальных данных показал, что твердость основного металла в области шейки оси составляет в среднем 186 НВ, в области подступицы - 194 НВ. Накатанной поверхности в области шейки оси в среднем составляет 252 НВ, в области подступицы оси - 264 НВ. В среднем твердость на шейке оси увеличилась на 35,5%, твердость на подступнице оси в среднем увеличилась на 36%. Глубина упрочненного слоя в области шейки оси в среднем составила 5,4мм, в области подступицы оси - 7,7мм. Результаты измерения накатанной поверхности соответствуют ГОСТ 31334-2007: "Оси для подвижного состава железных дорог колеи 1520 мм".

3.9 Исследование и классификация дефектов, обнаруженных при УЗК

В настоящее время ультразвуковой контроль осей железнодорожного подвижного состава производится с целью выявления недопустимых дефектов путем прозвучивания оси в радиальном направлении[25]. Геометрические особенности оси (протяженность в продольном направлении при ограниченных поперечных размерах, наличие переходов одного диаметра в другой) таковы, что на экране дефектоскопа присутствует множество эхо-сигналов, вызванных переотражениями излученных и трансформированных волн и отражениями от конструктивных элементов [28]. Эти сигналы не связаны с наличием дефекта

Контроль оси разбит по зонам, контролируемым последовательно. При этом остаются без внимания галтели оси — зоны перехода одного диаметра в другой (так как они находятся в так называемых «зонах тени»). Между тем статистика показывает, что в этих зонах зарождается более 10% трещин [29].

Таким образом при анализе микроструктуры была обнаружена трещина длиной примерно 4 мм, расположенная в радиальном направлении (рис.3.11.), которая проходит по границе ферритной и перлитной составляющих, т. е. разрушение носит межкристаллитный характер.

Рис. 3.11 Общий вид трещины в оси № 98765 плавки 0261828

От оси были отрезаны образцы для проведения дополнительных исследований макроструктуры, микроструктуры, определения загрязненности стали неметаллическими включениями.

Дефектов макроструктуры не обнаружено, чистота металла удовлетворительная (Рис. 3.12).

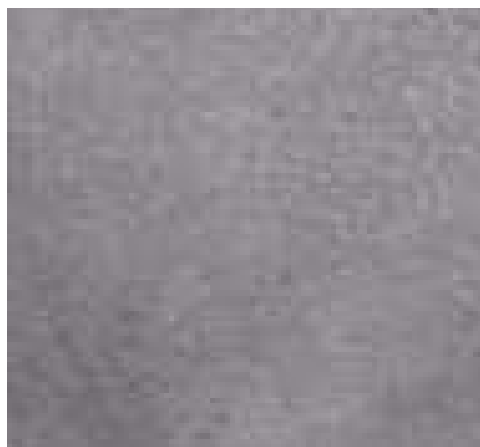


Рис. 3.12 Макроструктура темплета
из оси № 98765

Микроструктура не соответствует требованиям НТД: образец имеет крупнозернистую феррито-перлитную структуру (рис. 3.13), величина зерна соответствует 2 баллу по ГОСТ5639-82.

Рис. 3.13 Микроструктура образца из оси № 98765 ×100

Наличие на торцах осей типа РУ-1Ш болтовых отверстий приводит к тому, что более половины сечения оси не контролируется. Кроме того, для проведения УЗК должен быть обеспечен доступ к торцу оси, что требует в ряде случаев демонтажа корпуса. Зачастую торцевая поверхность имеет задиры и заусенцы и требует предварительной подготовки для проведения контроля.

Отсутствие донного сигнала на торцевой части оси связано с затуханием колебаний на границах крупных зерен. Причиной дефектной структуры является некачественная термическая обработка (перегрев при нормализации), или полное ее отсутствие (ось сырая). Амплитуда донного эхо - сигнала оказалась меньше 50% высоты шкалы экрана (рис.3.14).

Рис. 3.14 А-скан забракованной оси № 98765, пл.0261838
(усиление 46 дБ)

Как видно из рис.3.14, при усилении 46 дБ донный сигнал практически отсутствует. При более высоком усилении видны сигналы, вызываемые отраженными колебаниями от границ зерен (рис. 3.15).

Рис. 3.15 А-скан забракованной оси № 98765
(усиление 60 дБ)

При контроле макроструктуры образца из оси №97226 обнаружена крупная центральная пористость (рис. 3.16), которая могла быть причиной неудовлетворительных результатов ультразвукового контроля.

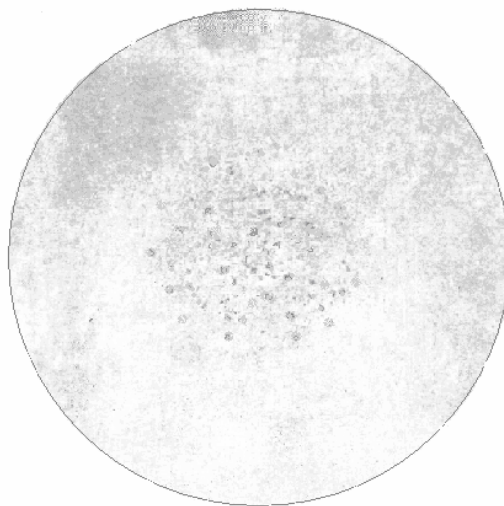


Рис. 3.16 Макроструктура оси № 97226

Центральная пористость представляет собой сосредоточение крупных и мелких пор вдоль теплового центра слитка. Причинами образования центральной пористости являются специфические условия формирования непрерывнолитого слитка, связанные с образованием относительно глубокой лунки жидкого металла. Фронт кристаллизации по высоте слитка, ввиду значительной протяженности лунки жидкого металла, сходится к концу затвердевания под очень малым углом, что определяет наличие мостов и перехватов в центре слитка, при которых образуются усадочные раковины.

Анализ загрязнения стали неметаллическими включениями показал наличие строчечных и точечных оксидных включений 1 балла, что является нормой (Рис. 3.17).

Рис. 3.17 Неметаллические включения образца из оси № 97226, $\times 250$

Микроструктура феррито-перлитная однородная, величина зерна соответствует 8 баллу по ГОСТ5639 (Рис.3.18).

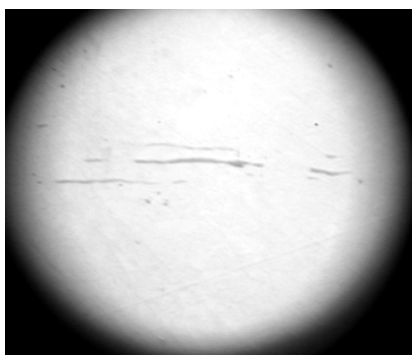
Рис. 3.18 Микроструктура образца из оси № 97226 $\times 100$

При проведении контроля в средней части оси был обнаружен дефект, амплитуда эхо-сигнала от которого, превышает 50% от величины шкалы экрана дефектоскопа (рис.3.19).

Рис. 3.19 А-скан оси № 97226, плавка 0261828

На А-скане застробирован сигнал от дефекта. Определена глубина дефекта $H = 65,6$ мм, т. е. примерно по центру сечения оси. Подобные дефекты были обнаружены по всей длине оси.

Загрязненность стали неметаллическими включениями темплета из оси № 94993 превышает требования НТД. Обнаружены сульфиды 3 балла, строчечные оксиды 4 балла, а также точечные оксиды. Некоторые участки микрошлифа показаны на рис. 3.20.



а

б

в

Рис. 3.20 Неметаллические включения $\times 250$

а - сульфиды, б – оксиды точечные, в – оксиды строчечные

При исследовании макроструктуры темплета из оси № 94993 дефектов не обнаружено (Рис.3.21).

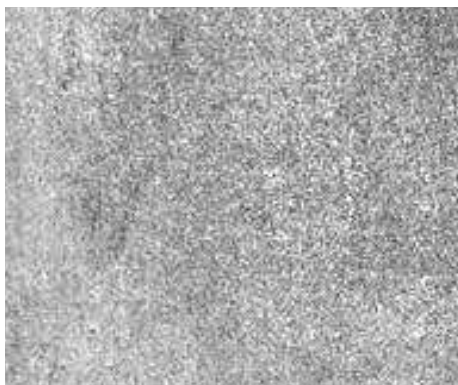


Рис. 3.21 Макроструктура оси № 94993

Микроструктура феррито-перлитная однородная, величина зерна соответствует 8 баллу по ГОСТ5639 (Рис.3.22)

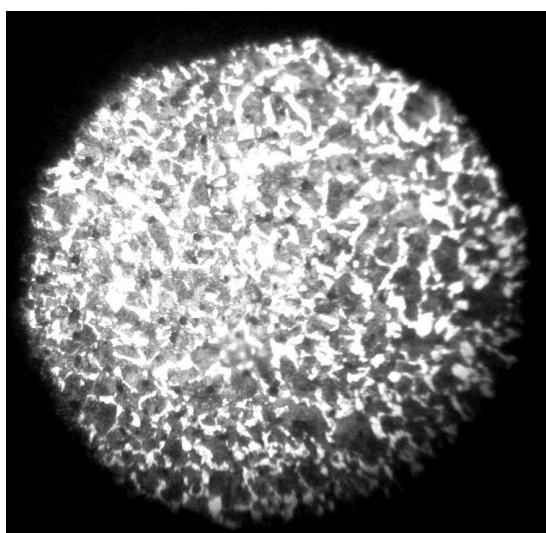


Рис. 3.22 Микроструктура образца
из оси № 94993 $\times 100$

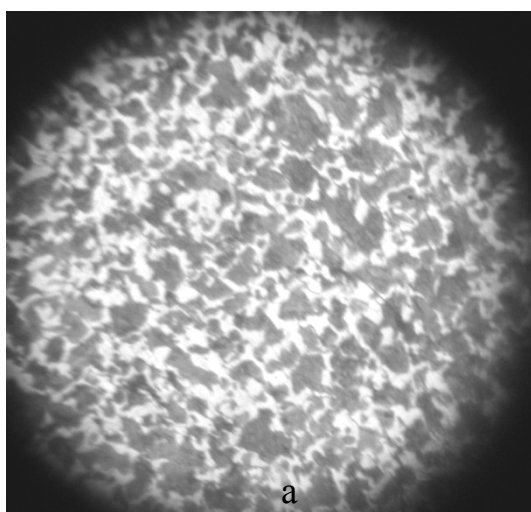
Проведение УЗК с поверхности подступичной части оси затруднительно, так как расстояние от ее внутренней кромки до ступицы имеет большой разброс от оси к оси (от 5 до 54 мм). В результате УЗК в данной области обнаружен локальный дефект, амплитуда эхо-сигнала от которого, превышает 50% от величины шкалы экрана дефектоскопа

(Рис.3.23). На А-скане застробирован сигнал от дефекта. Определена глубина дефекта $H = 63,2$ мм.

Рис. 3.23 А-скан оси № 94993, плавка 0261836

Сигнал, превышающий браковочный уровень при УЗК, вызван отраженным колебанием от локальных скоплений неметаллических включений. Данный дефект имеет металлургическое происхождение.

В результате исследования микроструктуры участков оси № 99953 с затуханием 8,2 дБ обнаружены локальные крупные зерна, соответствующие баллу 3 (рис.3.24).



а

б

б

Рис. 3.24 Микроструктура участков оси а) с затуханием 0 дБ (балл зерна 8),

б) с затуханием -8,2 дБ (балл зерна 3)

Проведение УЗК на участке шейки оси № 99953, плавка 0261837 обнаружено абсолютное затухание -8дБ (ось считается бракованной, если абсолютное затухание превышает 6 дБ). На данном участке оси устанавливается такое усиление, чтобы затухание равнялось 0дБ (рис. 3.25), т. е. амплитуда донного эхо-сигнала равнялась 50% величины шкалы экрана дефектоскопа. Сканируя все оставшиеся участки оси при этом же усилении определяем абсолютное затухание (рис. 3.26).

Рис. 3.25 А-скан участка оси № 99953 ,
плавка 0261837 с затуханием 0 дБ

Рис. 3.26 А-скан участка оси № 99953,
плавка 0261837 с затуханием -8,2 дБ

Выводы по части 3:

1. Технологический процесс термической обработки оси состоит из нормализационного отжига, который заключается в нагреве до аустенитного состояния, т.е. выше критической точки А3 на 30 – 50 °С, выдержке при этой температуре для полного прогрева и завершения фазовых превращений в объеме металла и последующим охлаждением на спокойном воздухе.

2. В результате проведения испытаний на растяжение обнаружили что образец 97465 плавки 0261828 не соответствует требованиям ГОСТ 31334, т.к у нее низкий предел прочности, предел текучести и относительное удлинение. Данная ось считается забракованной в результате проведения механических испытаний. Результаты испытаний остальных 9 образцов от других плавки соответствуют требованиям ГОСТ 31334.

3. Исследование макроструктуры на темплетах от осей № 98765 и № 98776 (плавки 0261837 и 0261838 соответственно) показало наличие центральной пористости 2 балла и темплета от оси № 96589 плавки 0261840, были обнаружены центральная пористость 2 балла, точечная неоднородность 1 балла по ГОСТ 10243, а также трещина в осевой зоне темплета. Данные показатели считаются удовлетворительными.

4. Исследование загрязненности стали неметаллическими включениями показало наличие в металле плавки 0261837 тонких сульфидных включений до 0,5 балла, в металле плавки 0261839 и 0261828 встречаются точечные оксидные включения до 0,5 балла и силикатные включения как глобулярной, так и строчечной формы до 3 балла. В металле плавки 0261838 встречаются строчечные и точечные оксидные включения до 1 балла.

5. Исследование микроструктуры образца из оси № 97465 плавки 0261828 показало наличие феррито-перлитной смеси с полосчатостью, имеющую в некоторых полях зрения ярко выраженный характер с наличием видманштеттова феррита. Данная структура не соответствует требованиям ГОСТ 5639-82 и является не устранимой. Образец данной плавки не прошел

и механические испытания, в результате этого вся плавка считается забракованной. Микроструктура остальных образцов соответствует требованиям ГОСТ 5639-82.

6. Результаты измерения накатанной поверхности соответствуют ГОСТ 31334-2007: "Оси для подвижного состава железных дорог колеи 1520 мм".

7. УЗК оси разбит по зонам, контролируемым последовательно. При УЗК была обнаружена трещина 4мм на гантели, дефекты на предподступице и в средней части.

4. Рекомендации

1. Так как в исходном состоянии имеются дефекты типа неметаллических включений, то рекомендуем проверять механические свойства стали в состоянии поставки и сопоставлять их значения с требованиями.

2. Рекомендуем изучение микроструктуры и толщины накатанного слоя, т.к большинство трещин находится именно на поверхности оси.

3. Рекомендовать строго соблюдать длительности выдержки при температуре нормализации для того, чтобы обеспечить гомогенизацию аустенитной структуры до начала охлаждения. Рекомендуем принять один час выдержки на каждые 25 мм толщины сечения.

4. Скорость охлаждения при нормализации значительно влияет на количество перлита, его размеры и толщину перлитных пластин. Чем выше скорость охлаждения, тем больше образуется перлита, а его пластины становятся тоньше и ближе друг к другу. Увеличение доли перлита в структуре и его измельчение дают повышение прочности и твердости стали. Поэтому рекомендуем охлаждение осей на спокойном воздухе, без сквозняков. После того, как изделия однородно охладятся по своему сечению ниже нижней критической точки A_{r1} , их можно охлаждать в воде или масле для снижения общей длительности охлаждения.

5. Металлографические исследования позволяют контролировать структуру только выборочно, поэтому стандарт требует стопроцентного обязательного ультразвукового контроля структуры осей. Национальные и европейские нормы, а также документы ОАО «РЖД» регламентируют две методики ультразвукового контроля, которые обеспечивают обнаружение осей с весьма крупной или непостоянной по длине структурой, однако, не позволяют количественно оценивать зернистость металла и, таким образом, полно проверять соответствие осей требованиям ГОСТ. Несовершенство методик приводит с одной стороны к тому, что оси с неудовлетворительной структурой попадают в эксплуатацию, а с другой — к неоправданной отбраковке весьма значительного числа осей при ремонте подвижного состава в ремонтных предприятиях (в 2006 году изъято из эксплуатации более 70 тысяч вагонных осей, забракованных по структуре). При этом ежегодно имеются случаи изломов осей в пути следования.

Повышение гарантий качества металла новых осей и объективности оценки эксплуатационной надежности осей при их ремонте будет способствовать обеспечению безопасности движения на железнодорожном транспорте и исключению необоснованного сокращения сроков эксплуатации колесных пар подвижного состава. Изложенное обуславливает актуальность совершенствования методов неразрушающего контроля с целью количественной оценки структуры металла осей колесных пар.

6. В настоящее время в вагонных и локомотивных депо ультразвуковой контроль осей железнодорожного подвижного состава производится с целью выявления недопустимых дефектов путем прозвучивания оси в продольном направлении (руководящий документ РД 07.09-97). При этом пьезоэлектрический преобразователь устанавливается на торец оси или в зарезьбовую канавку.

Геометрические особенности оси (протяженность в продольном направлении при ограниченных поперечных размерах, наличие переходов одного диаметра в другой) таковы, что на экране дефектоскопа присутствует

множество эхо-сигналов, вызванных переотражениями излученных и трансформированных волн и отражениями от конструктивных элементов. Эти сигналы не связаны с наличием дефекта.

Контроль оси разбит по зонам, контролируемым последовательно. При этом остаются без внимания галтели оси – зоны перехода одного диаметра в другой (так как они находятся в так называемых «зонах тени»). Между тем статистика показывает, что в этих зонах зарождается более 10% трещин. Наличие на торцах осей типа РУ-1Ш болтовых отверстий приводит к тому, что более половины сечения оси не контролируется.

Кроме того, для проведения УЗК должен быть обеспечен доступ к торцу оси, что требует в ряде случаев демонтажа корпуса буксы. Зачастую торцевая поверхность имеет задиры и заусенцы и требует предварительной подготовки для проведения контроля. Вследствие всего вышперечисленного действующая методика ультразвукового контроля осей не соответствует современным требованиям достоверности и производительности.

Одной из причин низкой производительности ультразвукового контроля колесных пар является последовательный контроль зон оси или колеса. На сегодняшний день практически все ультразвуковые дефектоскопы, применяемые для дефектоскопирования деталей подвижного состава, реализуют только одноканальный режим работы. В одноканальном режиме работы ультразвукового дефектоскопа информация представляется в виде развертки типа А – в координатах «амплитуда импульса» – «время прихода».

5. ОХРАНА ТРУДА И БЕЗОПАСНОСТЬ В ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ

ИССЛЕДОВАНИЕ УРОВНЯ ШУМА И ОБОСНОВАНИЕ ИНЖЕНЕРНЫХ РЕШЕНИЙ ПО СНИЖЕНИЮ ВЛИЯНИЯ ШУМА НА РАБОТНИКА

Согласно трудового кодекса Луганской Народной Республики, охрана труда - это система правовых, социально-экономических, организационно-технических, санитарно-гигиенических и лечебно-профилактических мероприятий и средств, направленных на сохранение жизни, здоровья и трудоспособности человека в процессе трудовой деятельности. Действие этого Закона распространяется на всех юридических и физических лиц, которые согласно законодательству используют наемный труд и на всех работающих.

Цель раздела – улучшение условий труда работников, предупреждения производственного травматизма, профзаболеваний, пожаров, аварий и др. на технологическом оборудовании, в помещениях и на рабочих местах.

Одним из самых вредных факторов, присущих нашей цивилизации, является шум. Производственный шум – это хаотическая совокупность разных по силе и частоте звуков, которые возникают в воздушной среде и непосредственно влияют на работоспособность.

Источниками шума является: все виды транспорта, насосы, промышленные объекты, пневматические и электрические инструменты, станки, строительная техника и тому подобное. С шумом связанные некоторые технологические процессы – клепание, чеканка, обрубывание, вибивка литья, штамповка, работа на ткацких станках, испытание авиадвигателей и тому подобное.

В последние годы шум стал одним из опасных факторов внешней среды на производстве. Это связано с повышением мощности и производительности машин, их повсеместным применением на всех участках

и сферах производства. О допустимых уровнях звукового давления на рабочих местах свидетельствуют данные ГОСТ 12.1.003-83[32].

Измерение шума на рабочих местах осуществляется шумоизмерителями и анализаторами спектра шума. Уровень шума на рабочих местах нужно контролировать не менее одного раза на год. В условиях производства, как правило, имеют место шумы разной интенсивности и спектры, которые возникают в результате действия разнообразных механизмов, агрегатов и других устройств.

Результаты многолетних клинических наблюдений и обследований больших групп людей различных специальностей, связанных с воздействием интенсивного шума, позволяют считать шумовую болезнь самостоятельной формой профессиональной патологии.

Шумовая болезнь - это общее заболевание организма с преимущественным поражением органа слуха, центральной нервной и сердечнососудистой систем, развивающееся при длительном воздействии интенсивного шума[30].

Клинические проявления шумовой болезни могут быть подразделены на специфические, возникающие в органе слуха, и не специфические - в различных органах и системах организма, причем изменения нервной системы могут предшествовать патологии органа слуха.

Шумовая болезнь характеризуется сочетанием различных клинических симптомов с неодинаковой степенью выраженности. Исследования показали, что у рабочих «шумовых» профессий на ранних стадиях заболевания нейродинамические и нейроциркуляторные изменения преобладают над частотой кохлеарных невритов. С увеличением стажа работы чаще диагностируется нарушения нервной и сердечнососудистой системы при продолжающемся ухудшении слуха[32].

В работах по клинике шумовой болезни отмечается однотипность субъективных симптомов. При обследовании рабочие, подвергающиеся воздействию шума, предъявляют, как правило, жалобы на

раздражительность, головные боли, сонливость, повышенную утомляемость, плохой сон, головокружения, причем жалобы на снижение слуха присоединяются позднее.

К объективным симптомам шумовой болезни относят, прежде всего, невротические, свидетельствующие о функциональных нарушениях нервной системы, снижение или повышение сухожильно-периостальных рефлексов на руках и ногах, тремор пальцев вытянутых рук, пошатывание в позе Ромберга. Наряду с этим отмечают выраженные вегетативные симптомы: нарушаются процессы терморегуляции и терморегуляционный процесс по Щербаку, изменяется топография температуры кожи по типу «температурной мозаики», наблюдается дистальный гипергидроз, яркий, стойкий дермографизм. Выявляются отклонения от нормы, как в частоте пульса, так и в динамике артериального давления, свидетельствующие о дисфункции вегетативной нервной системы с преобладанием тонуса симпатического или парасимпатического её отдела.

Недосыпание и неглубокий сон являются одной из основных причин преждевременного сгорания нервных клеток. Систематическое недосыпание или постоянный неглубокий сон ведут к преждевременному одряхлению организма, старению, к постоянной потере организма его иммунных сил и, как следствие, к болезням и к гибели. Этот вывод основан на одной из важнейших теорий медицины, заключающейся в том, что в происхождении многих болезней нарушения нервной деятельности играют решающую роль.

Доказано, что даже тихие шумовые раздражители (тихий разговор, лёгкий свист, слабые удары) вносят функциональные изменения в организм спящего человека: дыхание становится чаще, усиливается пульс, меняется состав крови. Такой сон не дает полноценного отдыха, а систематические нарушения глубины сна вызывают устойчивую бессонницу.

Шум в той или иной степени вредно отражается на здоровье всех людей, разного рода занятий и возраста. Естественно, он плохо действует и на детей. Шум делает детей раздражительными, капризными, понижает

аппетит. Хрупкий, нежный организм ребёнка особо чувствителен к любым раздражителям, так как в его незрелой и неокрепшей нервной системе процесс возбуждения преобладает над процессом торможения. Шум серьезно отражается на здоровье детей школьного возраста.

По данным физиолога Е.А. Гельтищевой, вследствие шума в школьных помещениях учащиеся тратят больше времени на решение задач и увеличивается количество ошибок. У школьников наблюдали снижение внимания на 12-16%. В таких условиях от учащихся требуется большое нервное напряжение. Шум, вредно воздействующий на рефлекторную деятельность и зрение, является одной из причин частых головных болей и развития близорукости у детей школьного возраста[33].

Шумовые раздражители сильно сокращают природные защитные силы организма. Происходит это потому, что шум поражает, прежде всего, и непосредственно центральную нервную систему. Именно поэтому так слаба защитная реакция организма на шум. Человек, подвергающийся действию интенсивного шума, затрачивает в среднем на 10-20% физических и нервно-психических усилий больше, чем работающий в комфортных шумных условиях. У работающих в шумных производствах отмечается увеличение на 10-15% заболеваний общего характера.

Шум во время работы мешает концентрации внимания и тем самым снижает продуктивность работы. Под воздействием шума возрастает затрата энергии, а изменяющееся функциональное состояние центральной нервной системы является причиной более быстрого развития утомления и падения работоспособности. Наконец, шум порождает ещё одну проблему - нарушение связи. Во многих житейских ситуациях очень важно, чтобы один человек мог быстро и точно передать информацию другому. Нарушение связи может привести к снижению эффективности труда, несчастным случаям и т.д.

Такие болезни, как гастрит, язва желудка и двенадцатиперстной кишки, чаще всего встречаются у людей, живущих или работающих в

шумной обстановке. Шумовые явления обладают свойством кумуляции: накапливаясь в организме, они все больше и сильнее угнетают нервную систему. Да что нервы! Ведь сталь - и та разрушается от шума. И один только факт для иллюстрации справедливости данного факта: однажды в помещении, где проводились испытания реактивных двигателей, кто-то оставил металлический ковш. Через некоторое время он буквально был разорван на части шумом!

В ряде стран, в том числе и у нас, делаются попытки использовать шум как анестезирующее средство. В США некоторые хирурги-стоматологи используют шумовую анестезию следующим образом: больному надевают на голову специальный шлем с наушниками, а в руки дают небольшой прибор - пульт управления. В начале больной слышит музыку, которая с первых же минут успокаивает, снимает нервное напряжение, всегда сопутствующее визиту к зубному врачу. Почувствовав боль, пациент переключает рычаг прибора, и в его ушах звучит шум водопада, записанный на пленку. Боль, как правило, сразу проходит. Если она все же «пробивается» сквозь звук, нужно увеличить громкость звучания.

Этот метод, вернее результат свидетельствует о парализующей силе шума. И если бы человек, только что испытавший на себе метод шумовой анестезии, был подвергнут тщательному медицинскому обследованию, то, безусловно, оказалось бы, что его здоровью нанесен ущерб.

Классы условий труда в зависимости от уровня шума разделяются на допустимые, которые отвечают ПДУ (предельно допустимый уровень) согласно с Государственными санитарными нормами ДСН 3.3.6 037-99, вредные и опасные. Особое место в патологии органа слуха занимают поражения, обусловленные воздействием сверхинтенсивных шумов и звуков. Их кратковременное действие может вызвать полную гибель спирального органа и разрыв барабанной перепонки, сопровождающиеся чувством заложенности и резкой болью в ушах. Исходом баротравмы нередко бывает полная потеря слуха. В производственных условиях такие случаи

встречаются чрезвычайно редко, в основном при аварийных ситуациях или взрывах[34].

Функциональные нарушения деятельности нервной и сердечнососудистой системы развиваются при систематическом воздействии интенсивного шума, развиваются преимущественно по типу астенических реакций и астеновегетативного синдрома с явлениями сосудистой гипертензии. Указанные изменения нередко возникают при отсутствии выраженных признаков поражения слуха. Характер и степень изменений нервной и сердечнососудистой системы в значительной мере зависят от интенсивности шума. При воздействии интенсивного шума чаще отмечается инертность вегетативных и сосудистых реакций, а при менее интенсивном шуме преобладает повышенная реактивность нервной системы.

В неврологической картине воздействия шума основными жалобами являются головная боль тупого характера, чувство тяжести и шума в голове, возникающие к концу рабочей смены или после работы, головокружение при перемене положения тела, повышенная раздражительность, быстрая утомляемость, снижение трудоспособности, внимания, повышенная потливость, особенно при волнениях, нарушение ритма сна (сонливость днем, тревожный сон в ночное время). При обследовании таких больных нередко обнаруживают снижение возбудимости вестибулярного аппарата, мышечную слабость, тремор век, мелкий тремор пальцев вытянутых рук, снижение сухожильных рефлексов, угнетение глоточного, небного и брюшных рефлексов. Отмечается легкое нарушение болевой чувствительности. Выявляются некоторые функциональные вегетативно-сосудистые и эндокринные расстройства: гипергидроз, стойкий красный дермографизм, похолодание кистей и стоп, угнетение и извращение глазосердечного рефлекса, повышение или угнетение ортоклиностатического рефлекса, усиление функциональной активности щитовидной железы. У лиц, работающих в условиях более интенсивного шума, наблюдается снижение

кожно-сосудистой реактивности: угнетаются реакция дермографизма, пиломоторный рефлекс, кожная реакция на гистамин.

Изменения сердечно-сосудистой системы в начальных стадиях воздействия шума носят функциональный характер. Больные жалуются на неприятные ощущения в области сердца в виде покалываний, сердцебиения, возникающие при нервно-эмоциональном напряжении. Отмечается выраженная неустойчивость пульса и артериального давления, особенно в период пребывания в условиях шума. К концу рабочей смены обычно замедляется пульс, повышается систолическое и снижается диастолическое давление, появляются функциональные шумы в сердце. На электрокардиограмме выявляются изменения, свидетельствующие об экстракардиальных нарушениях: синусовая брадикардия, брадиаритмия, тенденция к замедлению внутрижелудочковой или предсердно-желудочковой проводимости. Иногда наблюдается склонность к спазму капилляров конечностей и сосудов глазного дна, а также к повышению периферического сопротивления. Функциональные сдвиги, возникающие в системе кровообращения под влиянием интенсивного шума, со временем могут привести к стойким изменениям сосудистого тонуса, способствующим развитию гипертонической болезни.

Изменения нервной и сердечно-сосудистой систем у лиц, работающих в условиях шума, являются неспецифической реакцией организма на воздействие многих раздражителей, в том числе шума. Частота и выраженность их в значительной мере зависят от наличия других сопутствующих факторов производственной среды. Например, при сочетании интенсивного шума с нервно-эмоциональным напряжением часто отмечается тенденция к сосудистой гипертензии. При сочетании шума с вибрацией нарушения периферического кровообращения более выражены, чем при воздействии только шума.

Доказано, что шум и напряженность труда биологически эквивалентны по своему воздействию на нервную систему. На примере

изучения разных профессий установлена величина физиолого-гигиенического эквивалента шума и напряженности нервно-эмоционального труда, которая находится в пределах 7 - 13 дБ (шкала А) на одну категорию напряженности.

Эффективная защита работающих от неблагоприятного влияния шума требует осуществления комплекса организационных, технических и медицинских мер на этапах проектирования, строительства и эксплуатации производственных предприятий, машин и оборудования. В целях повышения эффективности борьбы с шумом введены обязательный гигиенический контроль объектов, генерирующих шум, регистрация физических факторов, оказывающих вредное воздействие на окружающую среду и отрицательно влияющих на здоровье людей.

Эффективным путем решения проблемы борьбы с шумом является снижение его уровня в самом источнике за счет изменения технологии и конструкции машин. К мерам этого типа относятся замена шумных процессов бесшумными, ударных - безударными, например замена клепки - пайкой,ковки и штамповки обработкой давлением; замена металла в некоторых деталях незвучными материалами, применение виброизоляции, глушителей, демпфирования, звукоизолирующих кожухов и др. При невозможности снижения шума оборудование, являющееся источником повышенного шума, устанавливают в специальные помещения, а пульт дистанционного управления размещают в малозвучном помещении. В некоторых случаях снижение уровня шума достигается применением звукопоглощающих пористых материалов, покрытых перфорированными листами алюминия, пластмасс. При необходимости повышения коэффициента звукопоглощения в области высоких частот звукоизолирующие слои покрывают защитной оболочкой с мелкой и частой перфорацией, применяют также штучные звукопоглотители в виде конусов, кубов, закрепленных над оборудованием, являющимся источником повышенного шума. Большое значение в борьбе с шумом имеют

архитектурно-планировочные и строительные мероприятия. В тех случаях, когда технические способы не обеспечивают достижения требований действующих нормативов, необходимо ограничение длительности воздействия шума и применение противошумов.

Противошумы - средства индивидуальной защиты органа слуха и предупреждения различных расстройств организма, вызываемых чрезмерным шумом. Их используют в основном тогда, когда технические средства борьбы с шумом не обеспечивают снижения его до безопасных пределов. Противошумы подразделяют на три типа: вкладыши, наушники и шлемы [35].

Противошумные вкладыши вводят в наружный слуховой проход. Вкладыши бывают многократного и однократного пользования. К вкладышам многократного пользования относятся многочисленные варианты заглушек в виде колпачков различной конструкции и формы из резины, каучука и других пластичных полимерных материалов, в некоторых случаях надетых на железные стержни. Противошумные вкладыши многократного использования выпускают нескольких типов и размеров; вес их не регламентируется и колеблется в пределах до 10 г. «Беруши» - коммерческое название отечественных противошумных вкладышей однократного пользования из органического перхлорвинилового фильтрующего шумопоглощающего материала.

Противошумные наушники представляют собой чаши, по форме близкие к полусфере, из легких металлов или пластмасс, наполненные волокнистыми или пористыми звукопоглотителями, удерживаемые с помощью оголовья. Для удобного и плотного прилегания к околоушной области они снабжаются уплотняющими валиками из синтетических тонких пленок, часто заполненных воздухом или жидкими веществами с большим внутренним трением (глицерин, вазелиновое масло и др.). Уплотняющий валик одновременно демпфирует колебания самого корпуса наушника, что существенно при низкочастотных звуковых колебаниях.

Противошумные шлемы - самые громоздкие и дорогостоящие из индивидуальных средств противошумной защиты. Они используются при высоких уровнях шумов, часто применяются в комбинации с наушниками или вкладышами. Расположенный по краю шлема уплотняющий валик обеспечивает плотное прилегание его к голове. Имеются конструкции шлемов с поддутием валика воздухом для надежного облегания головы.

Важное значение в предупреждении развития шумовой патологии имеют предварительные при поступлении на работу и периодические медицинские осмотры. Таким осмотрам подлежат лица, работающие на производствах, где шум превышает предельно допустимый уровень (ПДУ) в любой октавной полосе.

Вывод

В данном разделе магистерской работы проведен анализ исследования уровня влияния шума на организм работников предприятия и предложены мероприятия по улучшению условий труда и снижению влияния шума на организм.

Заключение

В данном дипломе изучен анализ условий работы тепловозных осей. Приведен химический состав стали и механические свойства. Разработана маршрутная технология изготовления и технологический процесс термической обработки осей. Приведена диаграмма изотермического распада переохлажденного аустенита стали ОС. Описано влияние легирующих элементов на механические свойства.

Разработана методика исследования макро- и микроструктуры, а также загрязненности стали неметаллическими включениями.

Проведен комплекс исследования механических свойств, включающий: испытания на растяжение, ударную вязкость, твердость, а также проведен контроль качества накатанного слоя поверхности осей.

Описана методика проведения неразрушающего контроля тепловозных осей, а также дефекты, которые возникают при несоблюдении режима термической обработки и чистоты стали.

Список использованной литературы

1. Лахтин Ю.М. Металловедение и термическая обработка металлов. М.: Металлургия, 1983. 360 с.
2. Гуляев А.П. Металловедение. М.: Металлургия, 1978. 647 с.
3. ГОСТ 31334-2007. Оси для подвижного состава железных дорог колеи 1520 мм. Технические условия. М., 2008. 24 с
4. ГОСТ 10243-75. Сталь. Методы испытаний и оценки макроструктуры. М., 1982. 12 с.
5. ГОСТ 10243-75. Методы испытаний и оценки макроструктуры. М., 1975. 57 с.
6. ГОСТ 1778-70. Сталь. Металлографические методы определения неметаллических включений. М., 1970. 42 с.
7. Крауткремер И., Крауткремер Г. Ультразвуковой контроль материалов. М.: Металлургия, 1991. 752 с.
8. ГОСТ 2999-75. Металлы и сплавы. Метод измерения твердости по Виккерсу. М.: Машиностроение. 1989. 752 с.
9. Ермолов И.Н. Теория и практика ультразвукового контроля. М.: Машиностроение, 1981. 240 с.
10. ГОСТ 5639-82. Стали и сплавы. Методы выявления и определения величины зерна. М., 1983. 47 с.
11. РД 32.144-2000. Контроль, неразрушающий приемочный. Колеса цельнокатаные, бандажи и оси колесных пар подвижного состава.

Технические требования (с Изменениями № 1 от 08.04.2004 г.). М.: МПС, 2001. 26 с.

12. РД 07.09-97. Руководство по комплексному ультразвуковому контролю колесных пар вагонов. М.: МПС, 1997. 133 с.

13. СТО РЖД 1.11.001-2005. Методические указания по приемочному ультразвуковому неразрушающему контролю осей колесных пар подвижного состава. М.: МПС, 2006. 32 с.

14. Барретт Ч.С. Структура металлов. М.: Гос-е науч.-технич. изд-во лит-ры по черной и цветной металлургии, 1948. 677 с.

15. Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М. Фейнмановские лекции по физике. М.: Мир, 1965. 290 с.

16. ГОСТ 1497–73. Оси вагонов железных дорог колеи 1520 (1524) мм. Типы, параметры и размеры. М., 1995. 19 с.

17. Технология конструкционных материалов / Под общ. ред. А.М. Дальского М.: Машиностроение, 1985. 448 с.

18. ГОСТ 4728-89. Заготовки осевые для подвижного состава железных дорог колеи 1520 мм. Технические условия. М., 1990. 8 с.

19. Металлография железа. М.: Металлургия, 1972. Т.1 Основы металлографии. 240 с.

20. Металлография железа. М: Металлургия, 1972. Т.2 Структура сталей. 284 с.

21. Металлография железа. М: Металлургия, 1972. Т. 3 - Кристаллизация и деформация сталей. 236 с.

22. Уэрт Ч., Томсон Р. Физика твердого тела. М.: Мир, 1969. 558 с.

23. Фридман Я.Б. Механические свойства металлов. М.: Машиностроение, 1974. 4.1 Деформация и разрушение. 471 с., 4.2 Механические испытания. Конструкционная прочность. 367 с.

24. Чиркин В. В., Соколов И. Г., Вершинский В. В. Технология вагоностроения. М.: Мир, 1960. 483 с.

25. Кретов Е.Ф. Ультразвуковая дефектоскопия в энергомашиностроении. СПб.: Радиоавионика, 1995. 335 с.
26. Шрайбер Д.С. Ультразвуковая дефектоскопия металла // Заводская лаборатория. 1940. Т. 9, № 9. С. 1001-1008.
27. Шрайбер Д.С. Ультразвуковая дефектоскопия. М.: Metallurgia, 1965. 391 с.
28. Соколов С.Я. Поглощение ультразвуковых колебаний твердыми телами // Докл. АН СССР. 1948. № 59. С. 883-886.
29. Лифшиц И.М., Пархомовский Г.Д. Поглощение ультразвука в поликристаллах // Ученые записки ХГУ. 1948, № 27, С. 25-36.
30. Лифшиц И.М., Пархомовский Г.Д. К теории распространения ультразвуковых волн в поликристаллах // ЖТЭФ. 1950. Т. 20, № 2, С. 175182.
31. Артамонова В.Г., Шаталов Н.Н. Профессиональные болезни: Медицина, 2006
32. Андреева Е.Ц. и др. Шум и шумовая болезнь: Ленинград, 1999
33. Медведев В.Т. Инженерная экология: Гардарики, 2002
34. Суворов Г.А., Лихницкий А.М. Импульсный шум и его влияние на организм человека: Ленинград, 2010
35. Тэйлор Р. Шум: Мир, 1978