

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Крюков Вадим Николаевич
Должность: Проректор по образовательной деятельности и молодежной политике
Дата подписания: 23.07.2026 17:48:31
Уникальный программный ключ:
1b0adb7fd710f6a0705d90c58682bd0c5f2f25b2

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Заплярный государственный университет им. Н. М. Федоровского»
ЗГУ

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ
по дисциплине

«ТРИБОТЕХНИКА»

Факультет: ГТФ

Направление подготовки: 15.03.02 «Технологические машины и оборудование»

Направленность (профиль): «Металлургические машины и оборудование»

Уровень образования: бакалавриат

Кафедра «Металлургии, машин и оборудования»
наименование кафедры

Разработчик ФОС:

К.т.н., доцент

(должность, степень, ученое звание)

(подпись)

Лаговская Е.В.

(ФИО)

Оценочные материалы по дисциплине рассмотрены и одобрены на заседании кафедры, протокол № 11 от « 10 » 06 2026 г.

И.о. заведующего кафедрой к.т.н., доцент Лаговская Е.В.

**Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю),
соотнесенных с планируемыми результатами образовательной программы**

Таблица 1 – Компетенции и индикаторы их достижения

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения
ПК-2 Способен проводить анализ технического состояния основного и вспомогательного металлургического оборудования на основе проведенных осмотров и диагностики	ПК-2.3: Определяет техническое состояние металлургического оборудования на основе осмотра и диагностики систем смазки металлургического оборудования

Таблица 2 – Паспорт фонда оценочных средств

Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Формируемая компетенция	Наименование оценочного средства	Показатели оценки
Триботехника. Роль триботехники в системе обеспечения долговечности машин. Трибоанализ механических систем. Причины изменения технического состояния машин в эксплуатации	ПК-2	Список литературных источников по тематике, тестовые задания	Составление систематизированного списка использованных источников, решение теста
Трение и изнашивание деталей и рабочих органов машин	ПК-2	Список литературных источников по тематике, тестовые задания	Составление систематизированного списка использованных источников, решение теста
Конструктивные методы повышения долговечности трущихся деталей. Материалы для трущихся деталей	ПК-2	Список литературных источников по тематике, тестовые задания	Составление систематизированного списка использованных источников, решение теста
Технологические методы повышения долговечности трущихся деталей. Смазывание деталей машин	ПК-2	Список литературных источников по тематике, тестовые задания	Составление систематизированного списка использованных источников, решение теста
Зачет	ПК-2	Решение всех тестовых заданий по темам	Решение всех тестовых заданий по темам

1. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующие процесс формирования компетенций

Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, представлены в виде технологической карты дисциплины (таблица 3).

Таблица 3 – Технологическая карта

	Наименование оценочного средства	Сроки выполнения	Шкала оценивания	Критерии оценивания
<i>Промежуточная аттестация в 7 семестре в форме «Зачет»</i>				
	Тестовые задания	В течение обучения по дисциплине	от 0 до 5 баллов	Зачет/Незачет
ИТОГО:		-	___ баллов	-

Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующие процесс формирования компетенций в ходе освоения образовательной программ

ПК-2: Способен проводить анализ технического состояния основного и вспомогательного металлургического оборудования на основе проведенных осмотров и диагностики

Уровень 1. Базовый (проверка основных понятий) – 10 вопросов

1. Задание комбинированного типа с выбором одного верного ответа из четырех предложенных и обоснованием выбора

При осмотре подшипника скольжения прокатного стана вы обнаружили, что антифрикционный слой вкладыша частично отсутствует, и видны участки стальной основы. Каким термином в триботехнике описывается это предельное состояние?

- А) Схватывание
- Б) Задир
- В) Отслаивание (выкрашивание)
- Г) Коррозионно-механическое изнашивание

Ответ: В.

Обоснование: Отслаивание (выкрашивание) характерно для усталостного изнашивания при высоких контактных нагрузках. В антифрикционном слое (например, баббите) под действием циклических напряжений зарождаются микротрещины, которые развиваются параллельно поверхности и приводят к отделению чешуек материала, обнажая основу. Это классический признак усталости материала вкладыша.

2. Задание закрытого типа на установление соответствия

Установите соответствие между видом трения (столбец 1) и параметром, который инженер-диагност оценивает в первую очередь для его идентификации при осмотре металлургического агрегата (столбец 2):

Столбец 1 (Вид трения)

Столбец 2 (Диагностический признак)

1. Жидкостное

А. Наличие разделительного масляного клина, измеряемого по

Столбец 1 (Вид трения)	Столбец 2 (Диагностический признак)
трение	минимальной толщине пленки (h_{min})
2. Граничное трение	Б. Момент срабатывания (пусковой момент) и падение сопротивления при начале движения
3. Трение без смазки	В. Наличие тончайшей пленки ПАВ или оксидов, высокое локальное тепловыделение
4. Трение покоя	Г. Непосредственный контакт ювенильных поверхностей, схватывание и задиры

Ответ: 1-А, 2-В, 3-Г, 4-Б.

3. Задание открытого типа с развернутым ответом

При проведении визуального осмотра открытой зубчатой передачи вращающейся печи вы обнаружили, что на поверхности зубьев появился ярко выраженный «гребень» вдоль начальной окружности, а материал смещен к краям зуба. Назовите вид изнашивания и опишите механизм его развития, связав с ухудшением технического состояния передачи.

Ответ:

Вид изнашивания: Пластическая деформация.

Развернутый ответ: Данный дефект возникает при превышении предела текучести материала поверхностного слоя под действием высоких контактных напряжений в зоне зацепления. При качении с проскальзыванием силы трения вызывают течение (пластическое выдавливание) разупрочненного металла от полюсной линии к краям зуба. Это приводит к образованию «наплывов» и концентрации напряжений, нарушению геометрии зацепления, росту динамических нагрузок и, как следствие, к прогрессирующему усталостному выкрашиванию и аварийной поломке зуба.

4. Задание комбинированного типа с выбором нескольких вариантов ответа из предложенных и развернутым обоснованием выбора

На роликах МНЛЗ (машины непрерывного литья заготовок) в зоне вторичного охлаждения наблюдаются характерные повреждения. Какие из перечисленных факторов являются основными причинами выхода этих роликов из строя? Выберите 3 основных фактора и обоснуйте их взаимосвязь.

Факторы:

1. Высокое контактное давление от ферростатического напора жидкого металла.
2. Термоциклические нагрузки (циклы нагрев-охлаждение).
3. Избыток серы в смазочно-охлаждающей жидкости.
4. Наличие агрессивной среды (вода, пар) и окалина.
5. Вибрация электропривода.

Ответ: 1, 2, 4.

Обоснование:

6. Высокое контактное давление: вызывает пластическую деформацию и ускоряет усталостные процессы в поверхностном слое бочки ролика.
7. Термоциклические нагрузки: разогрев от слитка и резкое охлаждение водой создают термические напряжения (растяжение/сжатие), приводящие к появлению «сетки разгара» (термоусталостных трещин).
8. Агрессивная среда: вода и окалина действуют как абразив и электролит, вызывая коррозионно-механическое изнашивание (фреттинг-коррозию) в подшипниковых узлах и по телу качения.

Взаимосвязь: Термоусталостная сетка трещин ослабляет поверхность, в раскрытые трещины под давлением загоняется окалина и вода (расклинивающий эффект), что при

высоких контактных нагрузках ведет к ускоренному выкрашиванию материала ролика.

5. Задание закрытого типа на установление последовательности

Расположите периоды изнашивания в правильной хронологической последовательности, соответствующей классической кривой И.В. Крагельского («кривая Лоренца») для металлургического оборудования после замены узла:

- А) Период катастрофического износа (заедания)
- Б) Период приработки
- В) Период установившегося (нормального) износа
- Г) Начало эксплуатации (нулевой износ)

Ответ: Г → Б → В → А.

(Начало работы новой детали, сглаживание микронеровностей (приработка), стабильная работа с минимальной скоростью изнашивания, переход за допустимый зазор и лавинообразное разрушение).

6. Задание комбинированного типа с выбором одного верного ответа из четырех предложенных и обоснованием выбора

В цехе горячей прокатки при диагностике нажимного винта обнаружили, что резьбовое соединение работает с частыми микро-смещениями под нагрузкой, а на поверхностях витков резьбы присутствует красно-коричневый налет. Какой процесс является причиной разрушения?

- А) Кавитационная эрозия
- Б) Фреттинг-коррозия
- В) Водородное изнашивание
- Г) Окислительный износ

Ответ: Б.

Обоснование: Ключевые слова в задании – «микро-смещения под нагрузкой» и «красно-коричневый налет» (оксиды железа). Это классический случай фреттинг-коррозии, возникающей при вибрации или малых относительных перемещениях контактирующих номинально неподвижных деталей. Продукты износа, окисляясь, действуют как абразив.

7. Задание закрытого типа на установление соответствия

Соотнесите физический метод диагностики узлов трения (левая колонка) с первичным диагностическим признаком, который он фиксирует (правая колонка):

Метод диагностики	Выявляемый дефект или параметр
1. Феррография	А. Зазор в подшипнике, перекос вала
2. Термометрия (тепловизор)	Б. Модальный состав и крупность частиц износа в масле
3. Акустическая эмиссия	В. Локальный перегрев пятна контакта (дефицит смазки)
4. Вихретоковый датчик (проксиметр)	Г. Зарождение и рост микротрещин в режиме реального времени

Ответ: 1-Б, 2-В, 3-Г, 4-А.

8. Задание открытого типа с развернутым ответом

В процессе осмотра подшипника скольжения турбокомпрессора доменной печи вы зафиксировали смещение вала в подшипнике, при этом система смазки показывала достаточное давление на входе. Анализ масла показал наличие большого количества крупных частиц баббита. Объясните, почему масляный клин «потерял» несущую способность, и опишите последствия этого явления для вала.

Ответ:

Потеря несущей способности масляного клина вызвана не падением давления подачи, а, вероятно, катастрофическим износом самого вкладыша, либо перекосом вала вследствие фундаментных

деформаций. Наличие крупных частиц баббита говорит о схватывании и вырыве материала. Последствия: Исчезновение режима жидкостного трения ведет к переходу в полужидкостной или граничный режим. Коэффициент трения резко возрастает, генерируется тепло. Если баббит выплавлен или выкрошен, стальная основа вкладыша трется о стальную шейку вала. Это вызывает задиры на дорогостоящей шейке ротора, его разогрев, отпуск металла и, в аварийном сценарии, излом вала по месту концентратора напряжений.

9. Задание комбинированного типа с выбором нескольких вариантов ответа из предложенных и развернутым обоснованием выбора

Диагностика шарнира универсального шпинделя прокатного стана показала повышенную вибрацию. Какие виды изнашивания типичны для данного узла, работающего при возвратно-вращательном движении с большими нагрузками и ограниченной смазкой? Выберите 2 наиболее характерных.

1. Абразивное (из-за окалины)
2. Усталостное (питтинг)
3. Изнашивание при фреттинге (бринеллирование)
4. Гидроэрозионное

Ответ: 1 и 3.

Обоснование:

5. Абразивное: Шпиндель и шарнир открыты для попадания окалины и технологической воды, что ведет к абразивному истиранию тел качения и беговых дорожек.
6. Изнашивание при фреттинге (бринеллирование): Для подшипников качения шарниров при малых угловых отклонениях характерно «бринеллирование» (образование вмятин по следам тел качения), вызванное разрушением масляной пленки при качательном движении и микросварками, что является частным случаем фреттинга.

10. Задание закрытого типа на установление последовательности

Установите верную последовательность развития аварийного разрушения (задира) в подшипнике скольжения при внезапном прекращении подачи смазки:

- А) Схватывание ювенильных участков металлов вала и вкладыша
- Б) Разрушение граничных адсорбционных слоев масла
- В) Лавинообразный рост температуры, «наволакивание» мягкого металла вкладыша на вал
- Г) Падение давления масла, уменьшение толщины смазочной пленки ниже критической

Ответ: Г → Б → А → В.

Уровень 2. Средний (анализ, расчёт, применение формул) – 10 вопросов

11. Задание комбинированного типа с выбором одного верного ответа из четырех предложенных и обоснованием выбора

При расчёте радиального подшипника скольжения жидкостного трения выяснилось, что относительный эксцентриситет (χ) близок к 1.0, а минимальный зазор ($h_{\min}$) меньше суммы высот микронеровностей вала и вкладыша ($Rz1 + Rz2$). О чём свидетельствует данное условие работы подшипника?

- А) О запасе по толщине масляного клина и высокой надежности
- Б) О работе в режиме полужидкостного (смешанного) трения с высоким риском задира
- В) Об идеальном режиме гидродинамической смазки
- Г) О возникновении масляного голодания, не влияющем на износ

Ответ: Б.

Обоснование: Коэффициент надежности жидкостной смазки (запас по толщине пленки) рассчитывается как $K = h_{\min} / (Rz1 + Rz2)$. Если $K < 1$, значит, вершины микронеровностей будут периодически контактировать. Это режим смешанного (полужидкостного) трения. Следствием являются разрывы масляной пленки, локальные перегревы и риск молекулярного схватывания (задира), что является недопустимым критическим состоянием для металлургических машин.

12. Задание открытого типа с развернутым ответом

При анализе пробы масла из гидросистемы пресса спектрометром обнаружено резкое повышение

содержания хрома (Cr), молибдена (Mo) и железа (Fe) при стабильном уровне кремния (Si). Назовите пару трения, которая изнашивается, и опишите алгоритм принятия решения о дальнейшей эксплуатации агрегата.

Ответ:

Хром и молибден являются легирующими элементами шарикоподшипниковой стали (например, ШХ15), а железо – основной элемент. Отсутствие роста кремния (абразив, песок) исключает внешнее загрязнение. Вывод: идет интенсивное изнашивание тел качения и колец подшипника (питтинг/выкрашивание).

Алгоритм решения:

1. Провести повторный отбор пробы для исключения ошибки.
2. Сопоставить результат с феррографией для анализа морфологии частиц (наличие усталостных пластин "fatigue flakes").
3. Проверить вибрацию узла (пик-фактор, спектр огибающей). Если уровень вибрации превышает допустимый по ISO 10816, или скорость роста содержания Cr критическая (более 2 ppm за 50 часов), узел должен быть выведен в ремонт немедленно во избежание разрушения сепаратора и заклинивания.

13. Задание комбинированного типа с выбором нескольких вариантов ответа из предложенных и развернутым обоснованием выбора

Для защиты от абразивного изнашивания лопаток дымососа агломерационной фабрики предложены решения. Какие из них технологически и экономически обоснованы для условий высокотемпературного абразивного потока? Выберите 2 верных варианта.

1. Замена подшипников на гидростатические.
2. Наплавка лопаток износостойкими электродами (на основе карбидов вольфрама/хрома).
3. Переход на жидкую смазку подшипников маслом И-20.
4. Установка сменных защитных накладок из высокохромистого чугуна ИЧХ28Н2.
5. Снижение частоты вращения ротора.

Ответ: 2 и 4.

Обоснование: Методы направлены на повышение твердости поверхностного слоя (трибологический принцип положительного градиента механических свойств). Наплавка (вариант 2) создает износостойкий слой с карбидной структурой. Накладки из чугуна ИЧХ (вариант 4) являются отраслевым стандартом защиты от газоабразивного износа. Вариант 1 решает проблему трения в опорах, а не на лопатках. Вариант 5 снижает производительность дымососа и неприемлем.

14. Задание закрытого типа на установление соответствия

Установите соответствие между результатом визуальной диагностики зуба шестерни редуктора (Столбец 1) и доминирующим механизмом повреждения (Столбец 2).

Столбец 1 (Дефект)

Столбец 2 (Трибомеханизм)

1. Раковины в виде узких «кратеров» на ножке зуба

А. Заедание (схватывание I рода)

2. Борозды и риски вдоль высоты зуба

Б. Питтинг (контактная усталость)

3. Вырывы металла на вершине, пластичный «наплыв»

В. Абразивное изнашивание

4. Ямки с пологими краями в зоне полюсной линии

Г. Выкрашивание (прогрессирующее) от изгибной усталости

Ответ: 1-Г, 2-В, 3-А, 4-Б.

15. Задание комбинированного типа с выбором одного верного ответа из четырех предложенных и обоснованием выбора

Рассчитав контактное давление по Герцу для ролика МНЛЗ, вы получили значение 1500 МПа, при этом предел текучести материала ролика (с учетом температуры) составляет 800 МПа.

Коэффициент трения в зоне контакта со слитком равен 0,3. Какое заключение о техническом состоянии поверхности ролика будет наиболее верным?

А) Идет только упругая деформация, износ минимален.

Б) Максимальные касательные напряжения находятся на поверхности, неизбежно пластическое смятие и схватывание.

В) Усталостная трещина разовьется глубоко под поверхностью (подповерхностный максимум).

Г) Нагрев ролика отсутствует из-за низкой скорости.

Ответ: Б.

Обоснование: По критерию пластичности, пластическая деформация возникает, если контактное давление превышает твердость (или предел текучести) в 1,8–3 раза (в зависимости от коэффициента трения). Здесь превышение почти в 2 раза. Главное – высокий коэффициент трения ($f=0.3$) смещает максимум касательных напряжений из подповерхностной зоны непосредственно на поверхность. Как только напряжения на поверхности достигнут предела текучести, начнется пластическое течение (смятие микронеровностей), разрушение оксидных пленок и холодная сварка (схватывание) с металлом слитка.

16. Задание открытого типа с развернутым ответом

В червячном редукторе механизма подъема конвертера обнаружен латунный блеск на масляном фильтре и повышение температуры картера. При вскрытии на стальном червяке видны налипшие частицы бронзы венца колеса. Объясните причину этого явления (взаимодействие материалов) и предложите 2 мероприятия по предотвращению в будущем.

Ответ:

Причина: Молекулярно-механическое схватывание (наволакивание) или заедание II рода. В паре трения «сталь-бронза» при нарушении режима смазывания, превышении нагрузки или перегреве происходит разрушение разделительной граничной пленки. Из-за высокого сродства меди и железа (ограниченная взаимная растворимость) происходит перенос (адгезия) более мягкой бронзы на твердую стальную поверхность червяка. Это катастрофический процесс, вызывающий резкое возрастание коэффициента трения.

Мероприятия:

1. Применить более тугоплавкую и прочную бронзу (например, БрАЖН 10-4-4 вместо оловянистой) или заменить материал венца на латунь с высоким содержанием марганца и кремния, менее склонную к схватыванию со сталью.
2. Увеличить вязкость масла и ввести противоизносные (пакет АW) и противозадирные (пакет EP) присадки для упрочнения граничного слоя в условиях высоких температур вспышки в зацеплении.

17. Задание комбинированного типа с выбором нескольких вариантов ответа из предложенных и развернутым обоснованием выбора

При анализе технического состояния гидроцилиндра печного толкателя выявлен неравномерный износ штока (овальность и конусность) со стороны уплотнения. Выберите факторы, которые являются первопричинами этого эксплуатационного дефекта:

1. Попадание абразивных частиц окалина на поверхность штока.
2. Гидродинамическая кавитация в поршневой полости.
3. Потеря устойчивости штоком при толкании (продольный изгиб) и перекося.
4. Применение масла без антипенных присадок.
5. Отсутствие системы охлаждения штока у печи.

Ответ: 1, 3.

Обоснование:

6. Окалина: Является твердым абразивом, который внедряется в мягкие грязесъемные манжеты и действует как режущий инструмент, оставляя продольные риски и создавая конусность по ходу штока.
7. Перекося (потеря устойчивости): Из-за эксцентричного приложения нагрузки от толкаемых заготовок длинный шток подвержен продольному изгибу. Это вызывает односторонний износ (овальность) и повышенное давление на край уплотнения. Факторы 2 и 4 влияют на

работу поршня и объемные свойства масла, но не являются первопричиной именно неравномерного износа штока снаружи.

18. Задание закрытого типа на установление последовательности

Расставьте этапы анализа отобранной пробы смазки согласно методологии трибомониторинга для раннего предупреждения отказа:

- А) Анализ морфологии частиц (форма, текстура) с помощью оптической или электронной микроскопии.
- Б) Количественное определение частиц по классам размера (класс чистоты по ISO 4406).
- В) Отбор пробы из живого сечения потока масла до фильтра.
- Г) Спектральный элементный анализ для идентификации источника износа.
- Д) Постановка диагноза ("норма", "тревога", "стоп") на основе трендов.

Ответ: В → Б → Г → А → Д.

(Сначала получаем представительную пробу, считаем общее количество грязи (чистота), определяем химию (что изнашивается), смотрим как это выглядит (механизм износа), делаем вывод).

19. Задание закрытого типа на установление соответствия

Соотнесите марку антифрикционного материала, используемого в тяжелонагруженных узлах трения металлургических машин, с его основным эксплуатационным преимуществом:

Материал	Ключевое свойство для диагностики предела износа
1. Баббит Б83	А. Высокая износостойкость при сухом трении в абразивной среде
2. Металлофторопластовая лента	Б. Высокая податливость, способность "поглощать" абразивные частицы
3. Полиамид (Капролон)	В. Способность к самосмазыванию и низкий коэффициент трения без жидкой смазки
4. Бронза БрО10Ф1	Г. Высокое сопротивление задиру и хорошая прирабатываемость при граничной смазке

Ответ: 1-Б, 2-В, 3-А, 4-Г.

20. Задание комбинированного типа с выбором одного верного ответа из четырех предложенных и обоснованием выбора

При осмотре подшипника качения клетки холодной прокатки на наружном кольце обнаружен «гребень» износа строго по центру дорожки качения. О чем свидетельствует этот характерный износ?

- А) О работе подшипника в условиях вибрации без вращения (фреттинг).
- Б) О постоянной высокой осевой нагрузке.
- В) О прохождении электрического тока через подшипник.
- Г) О идеальной центровке, но износе от усталости при радиальной нагрузке.

Ответ: Г.

Обоснование: При правильной центровке и радиальном нагружении максимальная нагрузка на тела качения приходится на нижнюю точку, при этом контактные напряжения максимальны в центре дорожки качения (пятно контакта круглое или эллиптическое). Усталостное выкрашивание (питтинг) и последующий износ развиваются прежде всего в этой зоне, создавая визуальный «желоб» или «гребень» износа строго посередине. При осевой нагрузке желоб был бы смещен к борту.

Уровень 3. Высокий (комплексный анализ, синтез, доказательства) – 5 вопросов

21. Задание комбинированного типа с выбором одного верного ответа из четырех предложенных и обоснованием выбора

В редукторе привода роляганга произошло разрушение зубьев быстроходной шестерни. Вырыв металла имеет усталостный характер, но трещина зародилась не в подповерхностном слое (как при питтинге), а на поверхности у корня зуба. В зоне разрушения выявлена повышенная микротвердость и «траховидный» узор на изломе. Какова наиболее вероятная первопричина отказа?

- А) Перегрузка, вызвавшая смятие зубьев.
- Б) Водородное охрупчивание, вызванное разложением смазки.
- В) Абразивное изнашивание по эвольвенте.
- Г) Термическая усталость (разгар) из-за циклического нагрева.

Ответ: Б.

Обоснование: Ключевой признак – «траховидный» узор (флокены, "рыбий глаз") и повышенная микротвердость в очаге. Это классическая картина водородного изнашивания (водородного охрупчивания). В закрытых передачах при локальных перегревах, воде в масле или воздействии агрессивных присадок происходит выделение атомарного водорода. Диффундируя в сталь, водород накапливается в зонах максимальных напряжений (корень зуба), вызывая декагезию и образование микротрещин, резко снижая предел выносливости стали.

22. Задание открытого типа с развернутым ответом

На стане горячей прокатки при толчковой подаче слитка двигатель главного привода испытывает кратковременные, но многократные перегрузки. Шейка опорного валка (сталь 90ХФ) и вкладыш (бронза) работают на грани перехода от жидкостного к граничному трению. На шейке обнаружена сетка микротрещин, а на поверхности бронзы – черный блестящий налет. Назовите это явление, докажете механизм его возникновения и предложите комплексное конструктивно-технологическое решение для его устранения без замены материала шейки.

Ответ:

Явление: Это классический случай «схватывания при пульсирующем контакте» (частный случай термоусталостного схватывания или водородного изнашивания бронзы).

Доказательство механизма: При каждом пропуске слитка момент захвата создает ударную нагрузку, масляный клин выдавливается, возникает металлический контакт по вершинам микронеровностей. Микроучастки бронзы схватываются со сталью (адгезия), отрываются и окисляются (черный налет оксида меди и железа). Цикличность процесса ведет к наклепу и образованию сетки термических микротрещин на стали.

Комплексное решение:

1. Технологическое: Применить смазочный материал с высокой адгезионной прочностью и противозадирными присадками (например, высоковязкое масло с пакетом EP на основе серы/фосфора, синтетический гель), который удерживается в зоне контакта при ударе.
2. Конструктивное: Выполнить на шейке валка или на вкладыше «карманы-маслоемы» (серповидные канавки в зоне нагружения) для создания гидростатического подпора и гарантированного подвода смазки в момент страгивания, а также дробеструйную обработку шейки для создания сжимающих остаточных напряжений, препятствующих раскрытию трещин.

23. Задание комбинированного типа с выбором нескольких вариантов ответа из предложенных и развернутым обоснованием выбора

При вибродиагностике подшипника качения рабочего валка клетки выявлен рост пик-фактора и появление высокочастотного "белого шума" в спектре огибающей, при этом общий уровень вибрации вырос незначительно. На феррограмме масла обнаружены чешуйки. Выберите верные утверждения, описывающие ситуацию и требуемые действия:

1. Начальная стадия питтинга, требуется планировать замену подшипника в ближайшее окно ППР.
2. Катастрофический износ, требуется немедленная остановка из-за риска заклинивания.
3. Показатели свидетельствуют о нормальной приработке, остановка не нужна.
4. Целесообразно увеличить вязкость масла и продолжать мониторинг тренда каждые 2 часа.
5. Необходимо взять повторную пробу масла на анализ содержания воды, так как причина –

обводнение масла.

Ответ: 1 и 4.

Обоснование:

Начальный питтинг (усталостное выкрашивание микрочешуек) характеризуется ростом высокочастотной энергии («белый шум» в спектре огибающей), но общий уровень вибрации (низкочастотная энергия дисбаланса) еще не растет, так как значительных раковин, нарушающих геометрию, нет. Чешуйки на феррограмме – прямое подтверждение. Действия: Немедленная остановка (п.2) не требуется, стан может работать, но отказ разовьется в течение недель/дней. Увеличение вязкости масла (п.4) повысит толщину смазочной пленки, снизит контактные напряжения на дне выкрашиваний и, возможно, замедлит развитие трещин, закрыв их маслом. Частый мониторинг позволит поймать момент перехода в прогрессирующее выкрашивание. Обводнение (п.5) вызвало бы коррозию (красный налет) и другую картину на феррограмме (оксиды).

24. Задание закрытого типа на установление последовательности

Составьте алгоритм (блок-схему принятия решений) для механика цеха при срабатывании датчика температуры подшипника ($>85^{\circ}\text{C}$) на главном приводе блюминга во время прохода:

- А) Сверить показания с ручным пирометром, проверить систему подачи смазки (насос, фильтр, охладитель).
- Б) Дать команду на снижение обжатия (нагрузки) в текущем пропуске, оценить динамику охлаждения.
- В) Подать аварийный звуковой сигнал, остановить прокатку в данном калибре.
- Г) Проанализировать тренд температуры за последний час (скорость роста).
- Д) Принять решение: "Продолжать работу на пониженной нагрузке с учащенным контролем" или "Аварийный останов и остывание/ремонт".

Ответ: В $\rightarrow$ А $\rightarrow$ Г $\rightarrow$ Б $\rightarrow$ Д.

(Сначала безопасность (стоп), потом верификация сигнала и диагностика причин, анализ динамики, попытка управляемого воздействия для сохранения оборудования, и только потом окончательное решение).

25. Задание комбинированного типа с выбором одного верного ответа из четырех предложенных и обоснованием выбора

При анализе поломки вала шестеренной клетки обнаружено, что усталостная трещина развивалась от шпоночного паза под углом 45° к оси вращения. Твердость шейки вала, измеренная по методу Шора (переносным твердомером), оказалась на 15% выше проектной, а в зоне разрушения видны цвета побежалости. Какое заключение о причине отказа является единственно верным?

- А) Усталостное разрушение из-за концентратора напряжений (шпонки) при номинальных нагрузках.
- Б) Фреттинг-усталость в шпоночном соединении, усугубленная термической обработкой при ремонте (наплавкой).
- В) Изгибная усталость из-за расцентровки клетей.
- Г) Крутильная усталость из-за люфта в муфте.

Ответ: Б.

Обоснование:

1. Геометрия трещины (45° к оси) – классический следствие концентрации контактных напряжений и микротрещины при фреттинге.
2. Цвета побежалости и аномальная (повышенная) твердость шейки указывают на локальный нагрев до высоких температур с резким охлаждением (закалка). Это прямое доказательство того, что ранее на вал производили ремонтную наплавку (например, для восстановления изношенной шейки электродуговым способом) без последующего высокотемпературного отпуска. В ЗТВ (зоне термического влияния) образовались хрупкие закалочные структуры с остаточными растягивающими напряжениями, что многократно ускорило фреттинг-усталость под действием рабочих микро-перемещений шпонки.