

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
**«ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**  
(национальный исследовательский университет)»  
Политехнический институт

Факультет материаловедения и металлургических технологий  
Кафедра процессов и машин обработки металлов давлением

РАБОТА ПРОВЕРЕНА  
Рецензент

\_\_\_\_\_/ Шагидуллин А.В./  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_ 2020 г.

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ  
Заведующий кафедрой

\_\_\_\_\_/Радионова Л.В./  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_ 2020 г.

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИИ КОНСТРУКЦИИ ТЕЛЕЖЕК  
ПОДЪЕМНО-ТРАНСПОРТНЫХ МАШИН ЦЕХОВ ОБРАБОТКИ  
МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ С УЧЕТОМ ЯВЛЕНИЯ ГИГАЦИКЛОВОЙ  
УСТАЛОСТИ ПРИВОДНЫХ УЗЛОВ**

**ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА  
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ МАГИСТРА  
ЮУрГУ – 15.04.02 – 2020 – 309 – 03 – 181 ПЗ**

Нормоконтролер

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_ ст. преподаватель  
*Иванов Василий Александрович*  
\_\_\_\_\_ 2020 г.

Руководитель работы

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_ ст. преподаватель  
*Иванов Василий Александрович*  
\_\_\_\_\_ 2020 г.

Автор работы  
студент группы П-245

\_\_\_\_\_  
*Стругов Сергей Сергеевич*  
\_\_\_\_\_ 2020 г.

## АННОТАЦИЯ

Стругов С.С. Совершенствовании конструкции тележек подъемно-транспортных машин цехов обработки металлов давлением с учетом явления гигацикловой усталости приводных узлов. – Челябинск: ЮУрГУ ПИ, МИМТ, 2020. – 100 с. 16 ил. библиогр. список – 25 наим., 6 прил., 7 листов чертежей ф. А1, 2 листа чертежей ф. А2

При проведении анализа конструкций тележек подъемно-транспортных механизмов с учетом явления гигацикловой усталости предложена новая конструкция крановых колес с целью возможности увеличения ремонтных циклов. Срок эксплуатации колес повысился в 1,3-1,35 раза. Сконструирован колесный блок в сборе с буксами.

На основе стандартного кранового колеса К2Р-320х80 разработана поковка с уширением дисковой части и измененной геометрией отверстия для прошивки. Сконструирован штамп для горячей объемной штамповки колеса и обрезки облоя и вырубки перемычки. Спроектирована тележка для крана грузоподъемностью 5 т.

Использование новой конструкции крановых колес позволит увеличить срок эксплуатации и увеличить промежутки между текущими ремонтами в 1,3-1,35 раза, что приведет к экономическому эффекту – 254 400 руб. с каждого крана в год.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	7
1. ОБЗОР И АНАЛИЗ БИБЛИОГРАФИЧЕСКИХ ИСТОЧНИКОВ.....	10
1.1 Анализ конструкций подъемно-транспортных машин металлургического производства.....	10
1.2 Анализ усталостного разрушения деталей подъемно-транспортных машин металлургического производства.....	19
1.3 Анализ усталостного разрушения деталей подъемно-транспортных машин металлургического производства при гигацикловом нагружении.....	28
2. РАЗРАБОТКА И РАСЧЕТ КРАНОВОЙ ТЕЛЕЖКИ.....	31
Разработка конструктивно-компоновочной и кинематической схемы тележки.....	31
2.2 Расчет механизмов подъема.....	34
2.2.1 Расчет барабана.....	35
2.2.2 Расчет привода.....	37
3. ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ С ЦЕЛЬЮ ДОСТИЖЕНИЯ ПРЕДЕЛОВ ГИГАЦИКЛОВОЙ УСТАЛОСТИ .....	43
3.1 Конструктивно-технологический анализ кранового колеса.....	43
3.2 Характеристика материала детали «колесо крановое».....	43
3.3. Обоснование технологии штамповки поковки «колесо крановое».	44
3.4 Технологическая схема штамповки поковки.....	45
3.5 Исходные данные для конструирования поковки.....	47
3.6 Конструирование поковки.....	47
3.7 Припуски и кузнечные напуски.....	49
3.8 Размеры поковки и предельные отклонения.....	50
3.9 Назначение напусков.....	51
3.10 Разработка чертежа поковки.....	52
3.11 Определение массы поковки.....	53

3.12	Выбор операций и переходов штамповки.....	53
3.13	Температурный режим штамповки.....	54
3.14	Смазка полости штампа.....	54
3.15	Контроль штампованных поковок.....	54
4.	ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТОВ ОТ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ КОНСТРУКЦИИ И ТЕХНОЛОГИИ.....	56
	ВЫВОД.....	57
	БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	59
	ПРИЛОЖЕНИЕ 1.....	63
	ПРИЛОЖЕНИЕ 2.....	64
	ПРИЛОЖЕНИЕ 3.....	65
	ПРИЛОЖЕНИЕ 4.....	66
	ПРИЛОЖЕНИЕ 5.....	67
	ПРИЛОЖЕНИЕ 6.....	68

## ВВЕДЕНИЕ

Подъемно-транспортные машины (далее по тексту ПТМ) – это машины, предназначенные для перемещения груза (отдельные виды ПТМ разработаны для транспортировки людей) в наклонной, горизонтальной, а также вертикальной плоскостях на относительно небольшие расстояния. Наиболее широкое применение данные машины нашли на производственных предприятиях, строительных площадках, портах, складах [1]. ПТМ является главным средством механизации подъемно-транспортных работ в таких отраслях как: промышленность, строительство, транспорт, горная добыча, сельское хозяйство и др.

Подъемно-транспортные машины, задействованные на металлургических предприятиях, в значительной мере позволяют автоматизировать и механизировать производственный процесс комбината. Поскольку на современных металлургических заводах совершенство и уровень развития предприятия оценивается степенью насыщенности средствами механизации. Наличие оборудования, использование внутрицехового транспорта на металлургических предприятиях требуют применения различного рода подъемно-транспортного оборудования и машин [2].

Подъемно-транспортные машины делятся на два основных типа: транспортирующие машины непрерывного действия (конвейеры) и грузоподъемные машины периодического действия (краны) [3].

Транспортирующие машины в основном используются для перемещения массы груза одного вида. Подобные транспортные операции легко поддаются автоматизации и отличаются однотипностью. Однако для перемещения тяжелых грузов с разными циклами перемещения и в различные места больше подходят грузоподъемные машины периодического действия. Данные машины как правило управляются машинистом и более сложны в автоматизации, однако нашли наиболее широкое применение из-за своей универсальности. Именно используя крановое оборудование производят загрузку шихты в печи, заливают чугун и разливают сталь.

Грузоподъемные машины обычно работают в повторно кратковременном режиме.

По назначению, в металлургической промышленности, различают краны, обслуживающие грузопотоки сырых материалов на рудных и шихтовых дворах, грузопотоки жидкого материала в сталеплавильных цехах (литейные краны), склады холодного чугуна, слитков и готовой продукции прокатных цехов, ремонтные и монтажные работы. Также имеются краны специального назначения, например, клещевые для посадки слитков в нагревательные колодцы, для раздевания слитков, отлитых в изложницы.

В нормативной документации установлены следующие режимы работы машин: Л – легкий, С – средний, Т – тяжелый и ВТ – весьма тяжелый [4].

К машинам, работающим в легком режиме, относят редко работающие краны машинных залов и лебедки противоугольных устройств; к работающим в среднем режиме – краны ремонтных цехов и др.; в тяжелом режиме – уборочные краны в доменных цехах и краны на складах слитков, в весьма тяжелом режиме – литейные краны, магнитные и грейферные краны шихтовых дворов, мосты перегружатели, краны с лапами и клещевые краны.

Наиболее широкое применение в металлургии нашли мостовые краны, установленные почти на всем производстве, как правило с целью обслуживания тяжелого оборудования: подъем комплектующих и их монтаж на прокатные станы, доменные печи и т.д. Как правило это краны грузоподъемностью от 3,2 до 50 тонн.

Мостовые краны подразделяют на следующие типы:

- 1) Подвесные;
- 2) Опорные;
- 3) С креплением на двух балках;
- 4) Однобалочные краны.

По конструкции мостовые краны классифицируют:

- a. Опорные – краны мостовой конструкции, которые напрямую и сверху опираются на рельсовый путь, по которому происходит перемещение крана.
- b. Подвесные – модели, крепящиеся на рельсовый путь снизу, к его полкам.

Мостовая конструкция моделей достаточно проста, так как представляет из себя соединение двух пролетов коробчатого сечения с концевыми балками. Совместно они образуют рельсовый путь, с упорами-ограничителями на концах, с целью блокирования и ограничения движения тележки.

По рельсовому пути происходит перемещение крановой тележки, обычно представляет собой металлическую раму с установленными на ее основании механизмами передвижения и подъема грузов.

Рама, в свою очередь, представляет из себя пересеченные продольных и поперечных балки с настилом. На тележке, в качестве дополнительных опций, иногда устанавливают буфер ограждения, ограничителя подъема крюка, линейку для фиксации крайних положений. Масса тележки, как правило, составляет 0,2-0,4 номинальной грузоподъемности мостового крана.

Перемещение тележки осуществляется при помощи механизма передвижения, в составе которого имеются цилиндрические колеса. Механизм передвижения как правило изготавливают по унифицированной схеме. Привод может быть на оба колеса или отдельный на каждое, так же в составе привода устанавливается редуктор и тормоз. Сами колеса, в свою очередь, могут быть так же и коническими, установленные вершиной в наружную или внутреннюю стороны (в последнем случае только в исполнении холостого колеса).

## 1. ОБЗОР И АНАЛИЗ БИБЛИОГРАФИЧЕСКИХ ИСТОЧНИКОВ

### 1.1. Анализ конструкций подъемно-транспортных машин металлургического производства

Как уже упоминалось выше, парк подъемно-транспортного оборудования в металлургии представлен разнообразными машинами, работающие в самых разнообразных агрессивных средах (высокие температуры, обилие абразивной пыли и т.д.), режимах нагружения (как правило тяжелых и крайне тяжелых). Рассмотрим основные машины подъемно-транспортного парка металлургических предприятий [5].

В целях механизации процесса загрузки шихтовых материалов – завалки металлолома, заливки жидкого чугуна, загрузки сыпучих и кусковых материалов – применяются комплексы специальных машин и агрегатов. Для проведения этих операций применяются загрузочные машины, выполняющие операции по транспортированию грузеного совка от скраповоза к конвертеру и по загрузке в него металлолома. Загрузка осуществляется наклоном совка, предварительно введя его носок в горловину наклоненного конвейера.

В качестве примера рассмотрим *мостовую загрузочную машину* грузоподъемностью 2х200 т. (рисунок 1), обслуживающая конвертеры вместимостью 350...400 т, производит загрузку металлолома последовательно двумя совками вместимостью по 50 м<sup>3</sup> и выполняет следующие операции: перемещение тележек с совками в направлении, перпендикулярном движению машины, вертикальные перемещения совков и их кантование.

Состав машины представлен мостом 5 с кабиной 2 машиниста и панелями управления. Ходовая часть с механизмом 6 передвижения и две тележки 4 с грузозахватными устройствами 1 для совков. Сплошной мост выполнен в виде сварной конструкции и изготовлен из четырех жестких продольных балок и двух концевых балок. На продольных балках размещены рельсовые пути для передвижения тележки. Каждая концевая балка 7 моста шарнирно связана с главным балансиром 8, который соединен шарнирами с четырьмя двухколесными балансирными тележками 11. В результате чего конструкция



обеспечивает статически определимую систему и равномерность нагружения ходовых колес пары балансирных тележек.

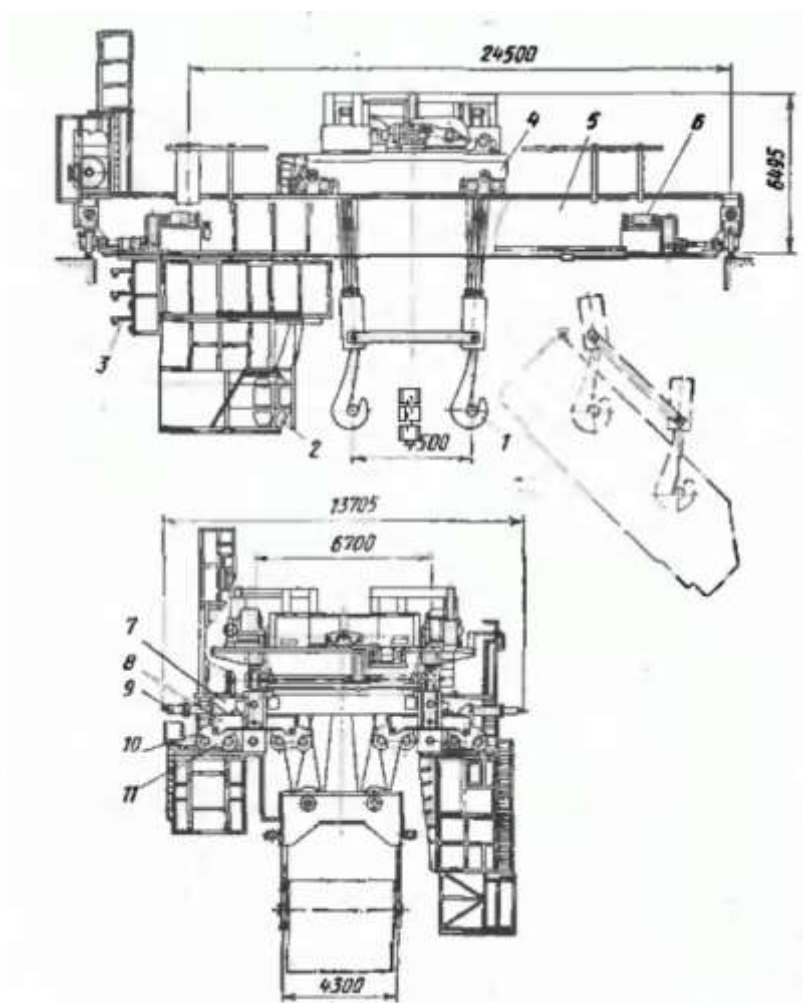


Рисунок 1 Мостовая загрузочная машина

Из шестнадцати ходовых колес 10 моста четыре являются приводными. Механизм передвижения моста снабжен четырьмя индивидуальными приводами, каждый из которых состоит из электродвигателя переменного тока, тормоза и трехступенчатого вертикального редуктора. Последний соединен с валом приводного ходового колеса при помощи двух зубчатых муфт (МЗП) и промежуточного вала.

Для обслуживания конвертеров более низкой производительности используются *полупортальные загрузочные машины* грузоподъемностью 2х130 т, состоящие из полупортала 3 решетчатой конструкции с ходовой

частью и механизмом передвижения как тележек, которые установлены на верхней площадке, и оснащенных грузозахватными устройствами 4 для совков.

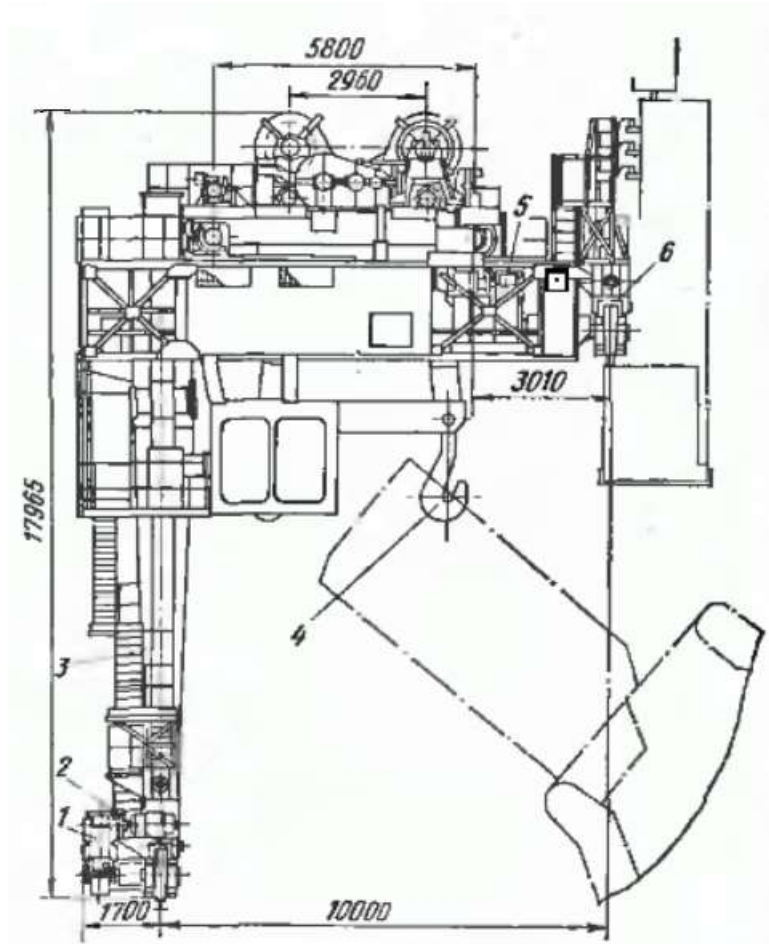


Рисунок 2 Полупортальная загрузочная машина

Полупортал 3 опирается на два рельса, установленные на рабочей площадке и подкрановых балках. Ходовая часть машины состоит из четырех двухколесных балансирующих тележек 2 и 6. Они установлены попарно на двух уровнях. Каждая балансирующая тележка имеет одно приводное ходовое колесо. Приводы 5 верхних балансирующих тележек расположены на платформе полупортала. Каждый из приводов состоит из электродвигателя, тормоза, вертикального трёхступенчатого редуктора и соединен с ходовым колесом промежуточным валом с двумя зубатыми муфтами.

В металлургическом производстве широко применяются *разливочные краны*. Это особый вид подъемно-транспортного оборудования, отличающееся от мостовых кранов тем, что в их составе две тележки, которые перемещаются по мосту в разных направлениях и на разных уровнях. Так же следует отметить, что разливочные краны работают в тяжелых режимах, отличаются сложностью конструкции, а также к ним предъявляются высокие требования качества, надежности и безопасности. В качестве примера рассмотрим разливочный кран грузоподъемностью 450 + 100/200 т. (Рисунок 3):

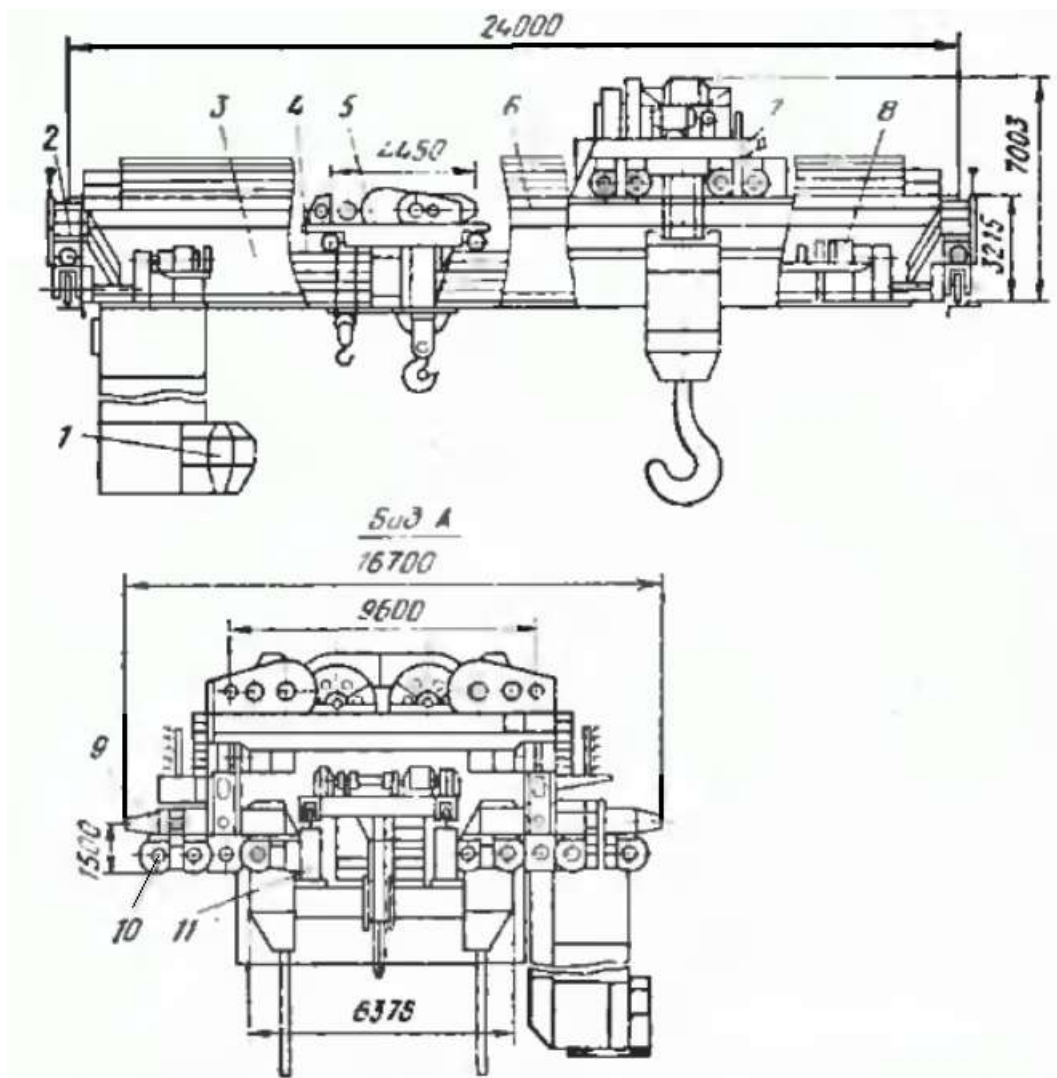


Рисунок 3 Разливочный кран грузоподъемностью 450 + 100/200 т.

Разливочный кран состоит из моста 3 с механизмом передвижения 8 и кабиной 1, главной тележки 7 и вспомогательной тележки 5 с двумя подъемами.

Мост крана – сварной конструкции, закрытого типа, состоит из главных продольных балок 6 коробчатого сечения, поперечных концевых балок 2, вертикальных и горизонтальных связей. Конструкция моста обеспечивает независимое передвижение на разных уровнях главной и вспомогательной тележек. По двум главным наружным балкам уложены рельсы для передвижения главной тележки, а ниже, между главными наружными балками расположены внутренние балки 11, по которым передвигается вспомогательная тележка.

После выдержки в разливочном пролете сталеплавильных цехов, составы со слитками попадают в специальное (стрипперное) отделение для того, чтобы извлечь слитки из изложниц. Благодаря конусности и уменьшению объема благодаря остыванию, большая часть слитков свободно выходит из изложниц под действием собственного веса. Однако многие слитки залипают в изложницах и для их извлечения требуется приложить довольно большие усилия.

Механизмы, используемые для извлечения и выталкивания слитков, делятся на однооперационные, служащие только для выталкивания слитков с уширением книзу, двухоперационные – для извлечения слитков с уширением кверху и книзу и трехоперационные, при помощи которых, кроме указанных операций, можно также открывать слитки, приварившиеся к поддону.

В качестве примера рассмотрим *трехоперационный стрипперный кран 250 – 50/25*. Общий вид крана приведен на рисунке 4, где указаны так же схемы операций, выполняемых краном. Мост крана – сварной конструкции, опирается на шестнадцать ходовых колес, попарно вмонтированных в балансирные тележки. По верхним поясам главных балок уложены рельсы, по которым перемещается тележка.

Механизм передвижения крана представлен двумя отдельными механизмами, работающими параллельно. В случае выхода из строя какого-либо механизма, кран способен работать на исправном приводе.

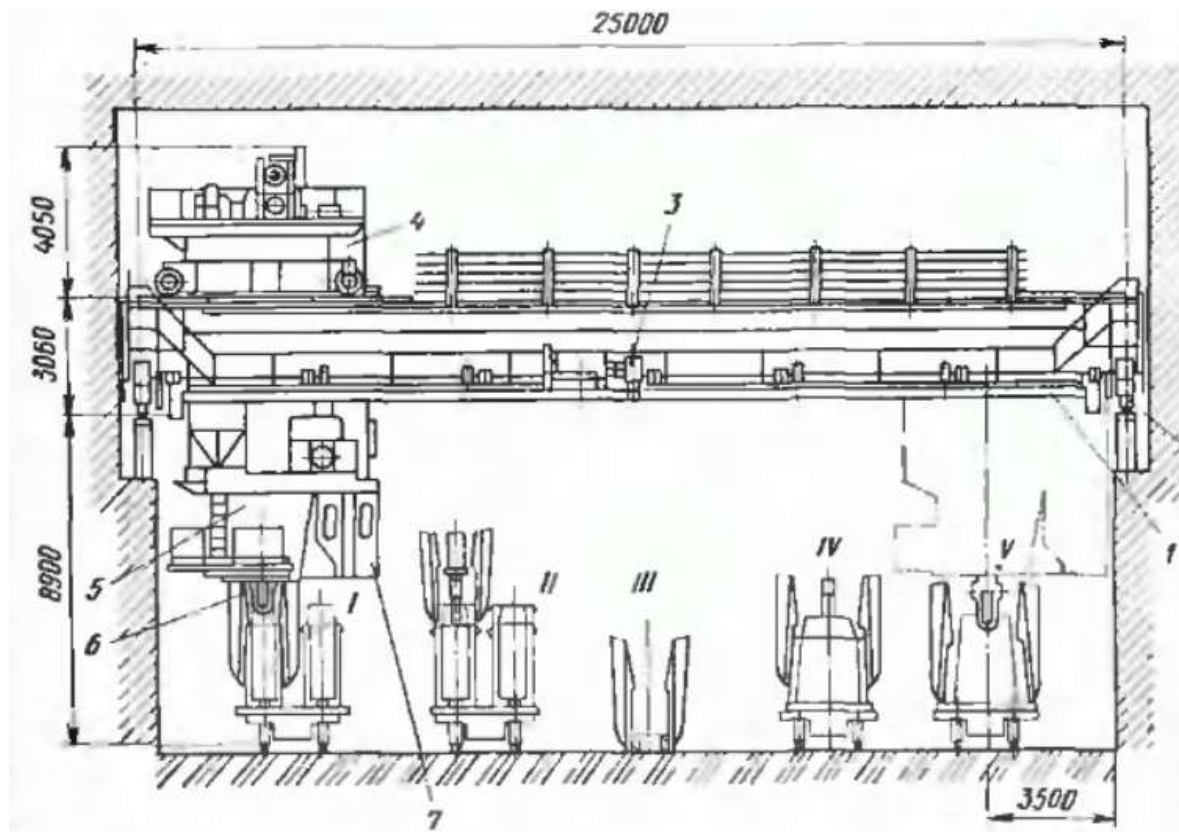


Рисунок 4 Трехоперационный стипперный кран 250 – 50/25

Особенностью стрипперных кранов является большая напряженность их работы с частыми пусками и торможениями. Поэтому для устойчивости работы крана без буксирования установлено восемь приводных колес. Рассмотрим тележку стрипперного крана (рисунок 5).

Тележка крана. На сварной раме смонтированы механизмы главного подъема 1, управления клещами 2, передвижения 4 и привод механизма выталкивания 3.

Механизм передвижения не отличается от обычной крановой конструкции. На раме тележки смонтирован привод механизма

выталкивателя, сам механизм находится внутри шахты 8, по направляющим которой перемещаются ползуны 9 литого патрона с рабочими органами крана.

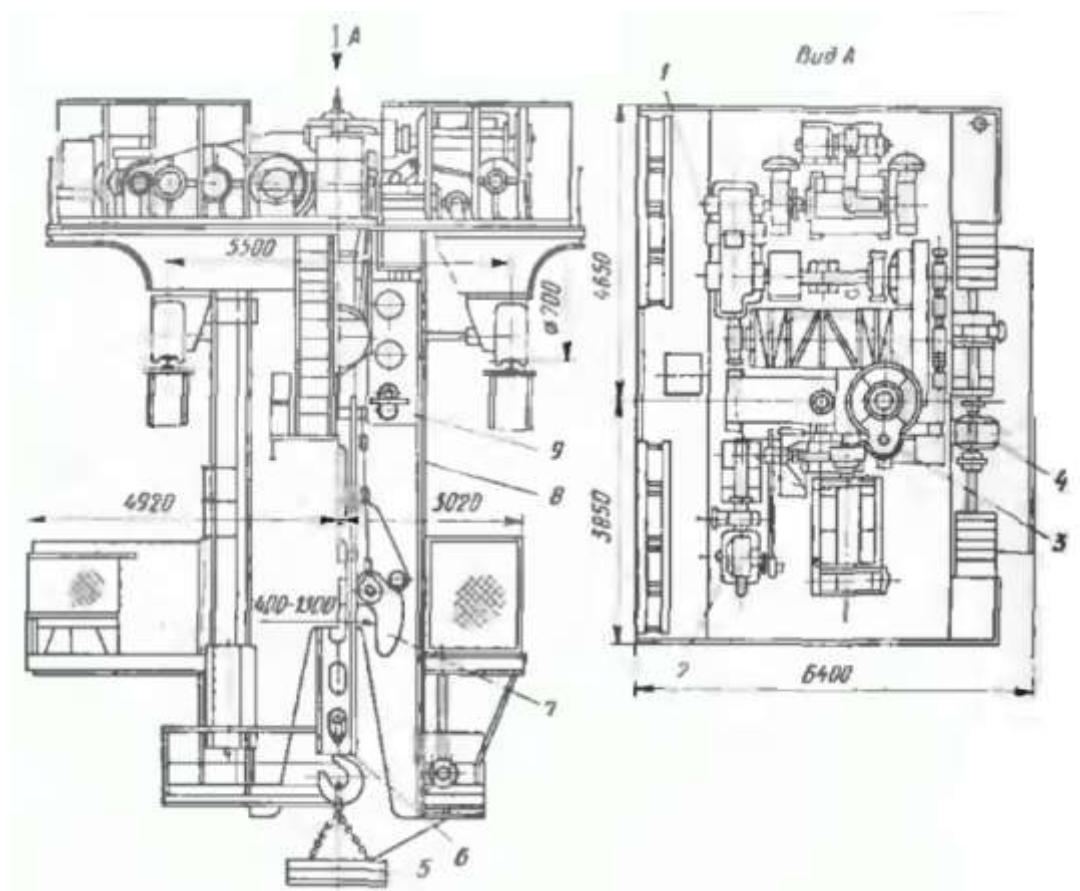


Рисунок 5 Тележка стрипперного крана

Рабочие органы стрипперного крана – клещи большие 6 и малые 7 и выталкивающий штампель. Для выполнения вспомогательных и ремонтных работ к большим клещам подвешивают траверсу с крюком, а к последнему – электромагнит 5 для выполнения работ с магнитными материалами.

Список подъемно-транспортного оборудования, задействованного на металлургических производствах, имеет большое количество разнообразных кранов. Однако, в рамках данной работы будет рассматриваться тележка мостового крана, так как именно эти краны наиболее распространены и улучшение конструкций данных машин является наиболее актуальной задачей. На данный момент в Российской Федерации и странах СНГ выпускается как минимум 1500 экземпляров различных мостовых кранов

грузоподъемностью от 3,2 до 50 тонн. Среди предприятий по выпуску подобного оборудования высокая конкуренция, что способствует развитию конструкций мостовых кранов и их комплектаций.

Рассмотрим классификацию и конструкции основных видов мостовых кранов.

По конструкции моста краны подразделяют на *однбалочные* и *двухбалочные*. Мостовой кран, опирающийся ходовыми колесами на проложенный рельс, называют опорным. Пример двухбалочного опорного крана представлен на рисунке 6.

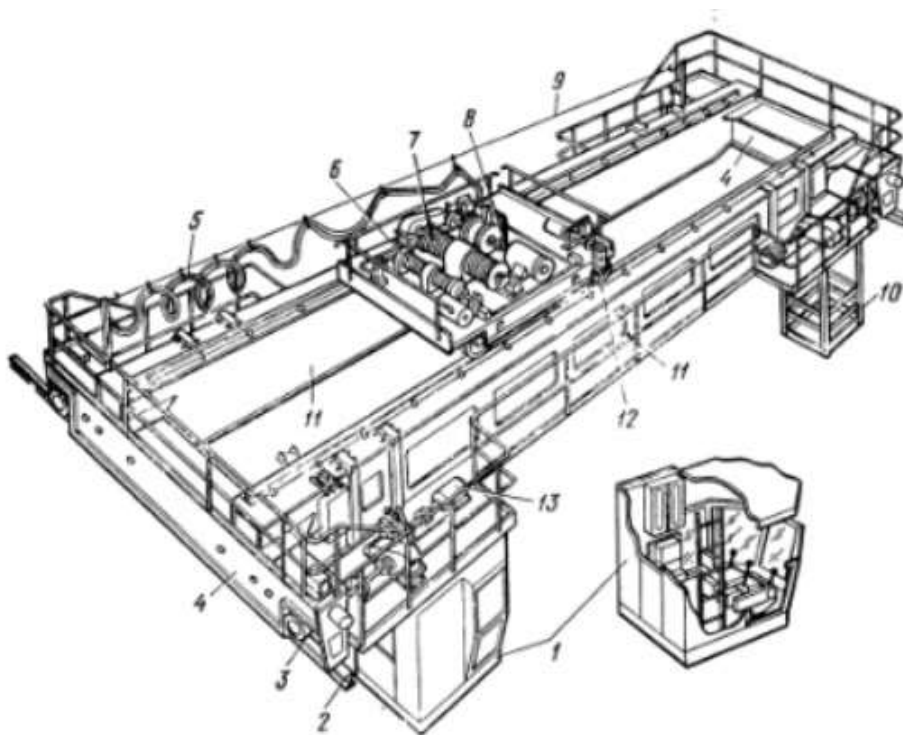


Рисунок 6 Двухбалочный опорный кран

Второй тип мостовых кранов – подвесные, отличающиеся тем, что перемещение происходит по подвесному крановому пути. Однопролетный мостовой кран перемещается по двум рельсам, тогда как двух- и многопролетные краны двигаются по трем и более рельсам. Пример мостового однобалочного подвесного крана приведен на рисунке 6.

Подвесной кран передвигается по нижним полкам двутавровых балок, закрепленных под нижними поясами строительных ферм здания. Мостовые краны выполняют с гибкой и жесткой подвеской груза.

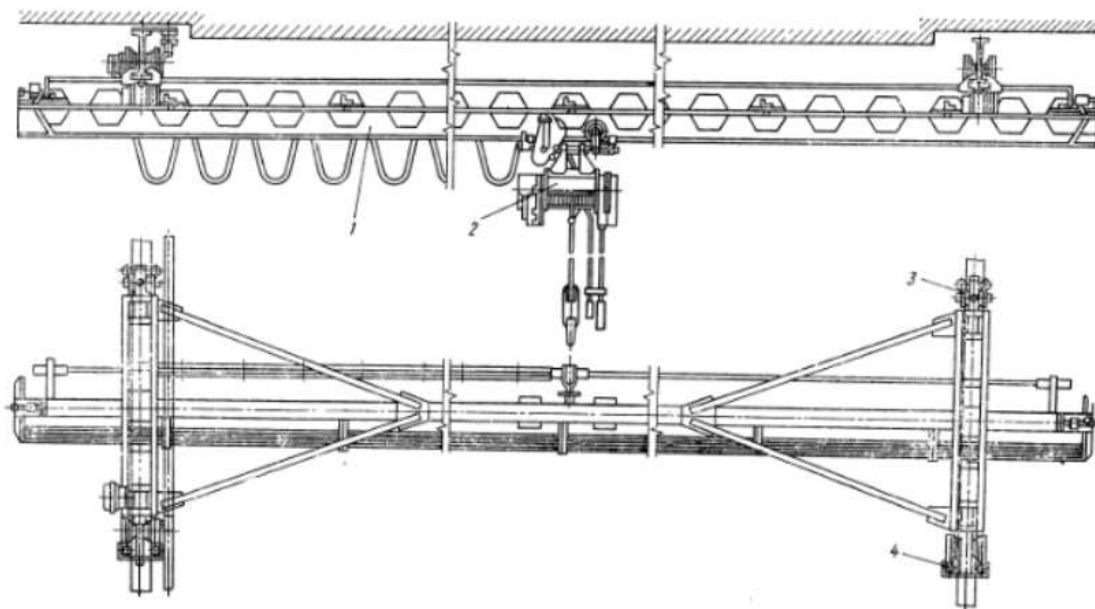


Рисунок 7 Мостовой однобалочный подвесной кран

Для перемещения груза поперек движения по рельсам устанавливают: на однобалочные краны передвижные электротали, а на двухбалочные – грузовые тележки. В свою очередь крановые тележки бывают трех типов: крюковые, грейферные и магнитными, то есть в зависимости от типа грузозахватного приспособления (Рисунок 8).

Талью называют подвесное грузозахватное устройство с ручным, электрическим или пневматическим приводом; состоит из лебедки и тележки. Электротали с однорельсовыми тележками называются тельферами.

Краны мостовые опорные однобалочные имеют грузоподъемность 1-5 тонн и длину пролета 4,5-28 м (ГОСТ 22045-76) [6]. Краны мостовые электрические общего назначения должны соответствовать требованиям ГОСТ 24378-80Е [7], грузоподъемность их 5-50 тонн. Краны электрические



магнитные выпускают грузоподъемностью 5-32 тонн при длине пролетов 10-34,5 м по ГОСТ 19482-74 [8].

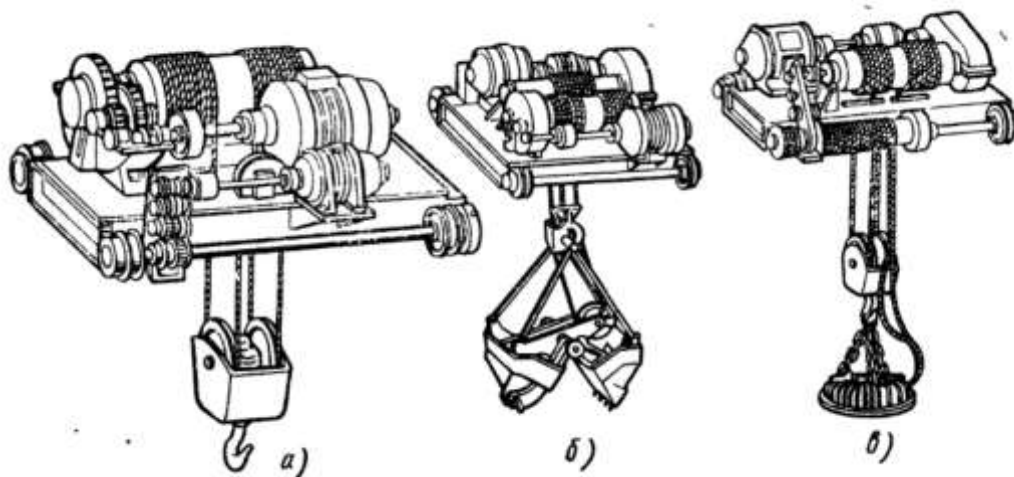


Рисунок 8 Общий вид грузовых тележек:

а – крюковой, б – рейферной, в - магнитной

## 1.2 Анализ усталостного разрушения деталей подъемно-транспортных машин металлургического производства

Значительная часть элементов конструкций и деталей машин подъемно-транспортного машиностроения в реальных условиях эксплуатации работают при нестационарных циклических нагружениях (Часто с нарушениями правил эксплуатации машин). Наиболее характерными являются нестационарные пусковые режимы и режимы торможения, отличающиеся недогрузкой или перегрузкой, или совмещающие то и другое. Указанные изменения амплитуд могут повторяться, могут представлять набор подобных блоков нагружения.

## 1.2 Анализ усталостного разрушения деталей подъемно-транспортных машин металлургического производства

Нестационарное нагружение таких деталей существенно влияет на процессы деформирования, а, следовательно, и на их долговечность. Поэтому требования к таким деталям сильно возрастают и вопросы прогнозирования

прочности и ресурса должны рассматриваться применительно к заданным, в большинстве случаев нестационарным условиям нагружения. Решение проблемы снижения материалоемкости элементов конструкций при одновременном повышении их надежности, экономичности и технологичности требует знания процессов генерирования и развития повреждений. Знание кинетики указанных процессов дает ключ к достоверной оценке долговечности объектов в заданных условиях эксплуатации.

Так же не следует забывать, что подъемно-транспортные машины являются источниками повышенной опасности и их обслуживание требует тщательного контроля. В аспекте промышленной безопасности на подъемных сооружениях Российской Федерации в настоящее время сложилась следующая ситуация: в условиях старения парка подъемно-транспортного оборудования на большинстве предприятий (около 80 % парка грузоподъемных кранов отработали свой нормативный срок службы) и сокращения количества грузоподъемных кранов растут объемы погрузочно-разгрузочных работ. Возрастающие нагрузки на устаревающее подъемно-транспортное оборудование при остром дефиците необходимой ремонтной базы и квалифицированных кадров приводят к увеличению числа аварий и случаев производственного травматизма со смертельным исходом, обусловленных техническими причинами – в период 1997 – 2009 гг. 27,4 % аварий на грузоподъемных кранах произошли по техническим причинам. Данные о причинах случаев производственного травматизма со смертельным исходом свидетельствуют о том, что наибольшее число – 19,8 % – случаев производственного травматизма происходит на грузоподъемных кранах из-за применения неисправных или несоответствующих массе и характеру груза грузозахватных органов (грузозахватных приспособлений), нарушения схем строповки грузов [9-10].

Подобное отношение к технике безопасности и отсутствию своевременного ремонта и замены комплектующих подъемно-транспортных машин приводит к усталостному разрушению комплектующих кранов. В

качестве примера рассмотрим пример усталостного разрушения хвостовика двурогого крюка грузоподъемностью 40 тонн.

Фотография места излома крюка показано на рисунке 9.

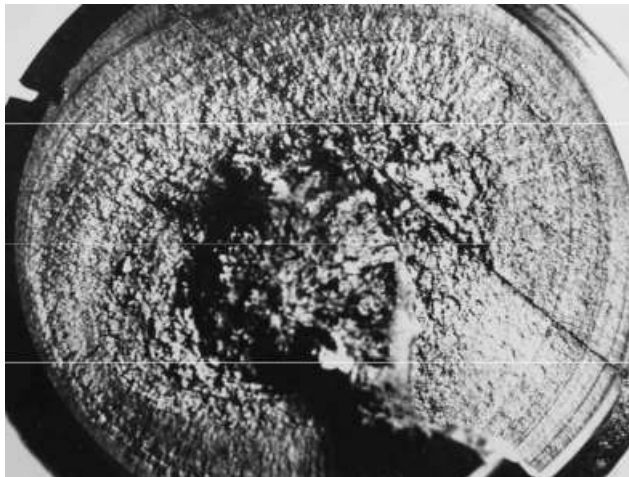


Рисунок 9 Зона усталостного разрушения и хрупкого долома в центре сечения хвостовика двурогого крюка грузоподъемностью 40 т

Металлографические исследования позволили сделать вывод, что разрушению способствовала пониженная прочность (твердость) металла крюка, связанная с нарушением технологии производства, а именно с нарушением термической обработки материала крюка после штамповки, что подтверждается наличием в центральной зоне излома микроструктуры с неметаллическими включениями.

После травления 4 %-м раствором азотной кислоты была выявлена ферритоперлитная микроструктура, которая характеризуется ориентированными (игольчатыми) выделениями феррита с перлитными промежутками и носящая следы перегрева, возникшие при горячей пластической деформации – штамповке. Принимая во внимание ориентированный и перегретый характер микроструктуры, можно предположить, что термообработка после проведения операции штамповки не проводилась. Измерение твердости проводилось по Роквеллу (шкала «В»). Значения твердости составили 68...75 HRB, что в переводе в значения

твердости по шкале Бринелля составит 114...128 НВ. Механические свойства не определялись ввиду малых размеров представленного фрагмента разорванного хвостовика крюка. Расчетное значение предела прочности – 415 МПа – значительно ниже величины предела прочности стали крюка, заявленной в сертификате завода-изготовителя.

Проведенное исследование разрушенного двурогого крюка крана показало, что разрушение возникло в результате многократно повторяющихся циклических нагрузок и развивалось по усталостному механизму. Ускоренному разрушению способствовала пониженная твердость и прочность металла крюка, что связано с нарушением технологии или вовсе с отсутствием термической обработки послековки. Кроме того, окончательному долому благоприятствовала некачественная микроструктура в центральной зоне излома с повышенной загрязненностью недеформированными неметаллическими включениями. Исследование резьбовой части хвостовика крюка выявило множественные трещины в угловых впадинах резьбы. Усталостная трещина в резьбовой части хвостовика крюка, возникшая при эксплуатации крана на более ранней стадии, не была своевременно обнаружена при проведении работ по техническому освидетельствованию крана. Внешним осмотром данная трещина не могла быть выявлена, так как она располагалась на хвостовике крюка под гайкой. Следует отметить, также, что снять гайку с крюка во время текущего ремонта довольно проблематично, так как при работе гайка практически приваривается к резьбе крюка, помимо этого следует отметить, что работа крюков мостовых кранов металлургического производства ведется в контакте с агрессивными внешними средами.

Вышеприведенный пример аварии показывает большую значимость предупреждения усталостного разрушения для обеспечения безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов.

На наш взгляд, высокому числу случаев производственного травматизма, происходящих на грузоподъемных кранах из-за применения

неисправных грузозахватных органов, могут способствовать и некоторые положения нормативно-технических документов.

Рассмотрим критерии выбраковки, выдвигаемые действующими нормативно-техническими документами к грузозахватным органам. Приложение 14 ПБ 10-382-00 определяет следующие предельные нормы браковки крюков:

- трещины и надрывы на поверхности;
- износ зева более 10 % от первоначальной высоты вертикального сечения крюка.

**Пункт 1.12 ГОСТ 2105-75 [11]** гласит – «Срок службы крюка определяется временем износа зева крюка, который не должен превышать 10 % первоначальной высоты сечения».

**Пункт 9.3.9 ПБ 10-382-00** гласит – «... при техническом освидетельствовании крана должны быть проверены: ... б) состояние крюка, блоков. У кранов, транспортирующих расплавленный металл и жидкий шлак, у механизмов подъема и кантовки ковша ревизия кованных и штампованных крюков и деталей их подвески, а также деталей подвески пластинчатых крюков должна проводиться заводской лабораторией по инструкции с применением методов неразрушающего контроля ... Такая проверка должна проводиться не реже одного раза в 12 месяцев ...».

Крюки не подлежат ремонту, а также не допускается механическое и термическое воздействие на рабочую зону крюка. Однако, такие рабочие органы крана как крановые колеса вполне пригодны для восстановления. Безусловно, что для принятия решения об восстановлении кранового колеса следует убедиться, что в нем отсутствуют внутренние дефекты, его можно демонтировать и извлечь из него вал, не повредив посадочное отверстие.

Крановая система колесо – рельс является неоднородной системой, т.к. при взаимодействии колеса и рельса имеют место не геометрические условия связи, а изменяющиеся во времени силы трения. Трение прокатывания состоит из трения качения с наложением трения скольжения; в зоне контакта

прокатывающихся тел возникают сменяющие друг друга зоны сцепления и зоны скольжения и результирующие из этого упругое проскальзывание и упругое пробуксовывание. Подобные закономерности имеют место для относительных движений прокатывающихся тел в направлении, поперечном к направлению качения. Пример «типичного» износа крановых колес приведен на рисунке 10:



Рисунок 10 Износ двухребордных крановых колес

Наиболее распространенными причинами износа ходового колеса крана являются интенсивные повторно-кратковременные режимы работы подъемно-транспортных машин. Наличие упругих механических связей, зазоров и несовершенство применяемых систем электроприводов, приводит к преждевременному выходу из строя элементов крановой системы: усталостным разрушениям концевых балок крана, разрушениям валов механизма, повышенному износу ходовых колес, расшатыванию и износу рельсов.

Среди всех причин ранних отказов работы мостовых кранов наиболее остро стоит проблема малого срока службы крановых колес. Разрушение колес происходит в основном вследствие интенсивного износа их реборд из-за постоянных соударений и контакта с рельсами подкранового пути. Наиболее интенсивно краны эксплуатируются на металлургических заводах, по данным этих предприятий, в среднем замена всех колес крана происходит в течение года, а подкрановые пути в пролете цеха меняются с интервалом в два – три года в зависимости от интенсивности работы мостовых кранов. Так же следует отметить, что нарушение режимов работы и управления краном так же существенно влияет на долговечность колес (распространен вид остановки крана включением противоположного направления, а не тормозом).

В реальных системах качения, вследствие структурных деформаций, различий в шероховатости возникают неоднородные анизотропные зоны контактов поверхностей. Появляются пластичные деформации, между телами качения находятся промежуточные вещественные включения в форме адсорбционных слоев, частиц износа, загрязнения, влаги и т.п. Для отношения между относительным движением и горизонтальной силой, т.е. для закона замыкания сил, ввиду сложности этих влияющих воздействий, до сих пор не могут быть найдены достаточно достоверные, физически обоснованные математические подходы.

На мостовой кран, действуют внешние и, передаваемые через силовое замыкание силы, которые являются следствием, прежде всего, воздействия:

- ускорения и замедления перемещений крановых тележек и крановых мостов;
- раскачивания груза как при горизонтальном, так и при вертикальном перемещении;
- скручивания при разворотах;
- ветрового воздействия.

Внутренние силы – следствие перекоса крана во время его движения. Первой предпосылкой (причиной) появления перекоса являются различия

между вертикальными силами и, как следствие, между сопротивлениями движению ходовых колес, следствием которых, в свою очередь, становятся разные моменты моторов и разные числа оборотов моторов. Это приводит к ограниченному элементам системы ориентации направления движения крана опережению одной несущей концевой балки по отношению к другой и тем самым к возникновению горизонтальных сил и деформаций несущей конструкции крана.

Следует отметить, что в ходе эксплуатации кранового оборудования часто из строя выходят и приводные валы крановых колес. Усталость валов возникает в результате циклических напряжений, что связано с особенностью работы крана. При этом силы, вызывающие усталостные разрушения, значительно меньше, чем те, которые привели бы к пластической деформации. Так же сильное влияние оказывает тот факт, что коррозия уменьшит усталостную прочность материала. Степень уменьшения зависит как от серьезности коррозии, так и от количества циклов напряжения. Исходя из условий эксплуатации кранов металлургии, следует особое внимание уделять осмотрам приводов во время периодических ремонтов.

Состояние или шероховатость поверхности излома — один из наиболее важных моментов, на которые следует обратить внимание при анализе повреждений, в связи с разницей между повреждениями вследствие перегрузки и усталостными разрушениями. При повреждениях вследствие перегрузки — так как трещина развивается с постоянной скоростью — поверхность однородно шероховатая. Однако трещины, вызванные усталостью, распространяются по поверхности излома с постоянно увеличивающейся скоростью. В результате типичная поверхность усталостного разрушения относительно ровная около очага (или очагов) и заканчивается сравнительно шероховатым окончательным разрушением.

Типичная поверхность усталостного разрушения при изгибе показана на рисунке 11. Развитие трещины началось в очаге и медленно



продолжилось по усталостной зоне (FZ). Когда она достигла границы мгновенной зоны (IZ) скорость роста трещины резко увеличилась, трещина распространялась по Мгновенной зоне со скоростью приблизительно 8000 футов/с. Во время распространения по Усталостной зоне нагрузка на вал может измениться, что приводит к изменению поверхности, что проявляется в виде следов распространения.

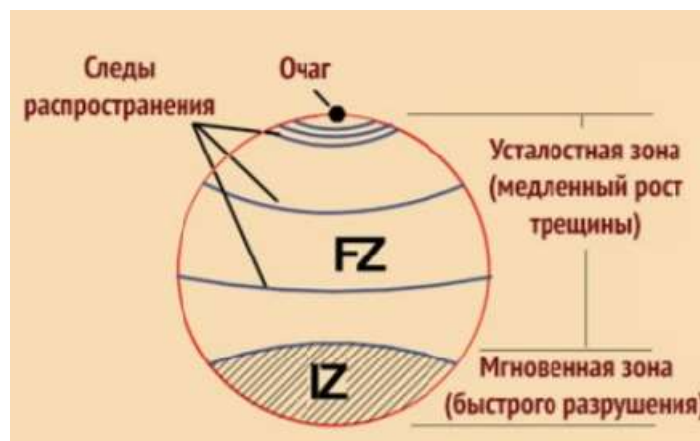


Рисунок 11 Типовая поверхность усталостного разрушения

Для того чтобы произошло усталостное разрушение, силы должны были прилагаться много раз. Существуют малоцикловые разрушения, но большая часть промышленных усталостных разрушений включает более 1 000 000 циклов нагрузки. Важной особенностью анализа усталостных разрушений является то, что по росту трещин, то есть внешнему виду поверхности, можно сказать о том, как была приложена нагрузка. Если трещина разрастается прямо через вал силой, вызвавшей разрушение, должна быть изгибающая нагрузка, действующая в одной плоскости.

На рисунке 12 показан вал приводного колеса, вышедший из строя после полутора лет эксплуатации. Никакие следы распространения не говорят о том, что усталостная нагрузка была постоянной. Мгновенная зона относительно большая, что указывает на то, что вал находился под высокой

циклической нагрузкой. Трещинообразование началось в нескольких местах вокруг вала, что указывает на то, что причиной был изгиб с вращением.



Рисунок 12 Усталостное разрушение вала приводного колеса мостового крана

### 1.3 Анализ усталостного разрушения деталей подъемно-транспортных машин металлургического производства при гигацикловом нагружении

Проблемы, возникающие при эксплуатации сложных долговечных машин и систем (дизельные двигатели судов, высокоскоростные поезда, турбинные двигатели и т.д.), делают важной проблему циклической прочности в чрезвычайно широком диапазоне чисел циклов нагружения – от  $10^0$  до  $10^{12}$  и более. В настоящее время усталость металлических конструкционных материалов при числах циклов  $10^0 - 10^{12}$ , которые имеют место в сложных технических объектах, имеет шесть характерных видов [12-13]:

–  $10^0 - 10$  – инфрамалоцикловое (декацикловое) динамическое, статическое и квазистатическое разрушение при аварийных или катастрофических ситуациях за счёт первичных и вторичных повреждающих факторов;

–  $10^0 - 10^3$  – малоцикловое (гектоцикловое) квазистатическое или усталостное разрушение при наличии больших микропластических деформаций в зоне разрушения на макроструктурном уровне;

–  $10^3 - 10^5$  - малоцикловое (килоцикловое) усталостное разрушение при наличии относительно малых микропластических деформаций в зоне разрушения на макроструктурном уровне;

–  $10^5 - 10^8$  - классическое многоцикловое (мегацикловое) усталостное разрушение при наличии микропластических деформаций в микро- и макрообъёмах вблизи зоны разрушения;

–  $10^8 - 10^9$  - усталостное гиперцикловое (гигацикловое) разрушение на сверхвысоких базах (числах циклов) при наличии микропластических деформаций в микрообъёмах вблизи зоны разрушения;

–  $10^{10} - 10^{12}$  - гиперусталостное (терацикловое) разрушение на супервысоких базах при формировании разрушения на макроструктурном уровне;

В последнее время возникла необходимость проводить усталостные испытания на базах испытания, превышающих  $10^9 - 10^{10}$  циклов нагружения, – это так называемая гигаусталость (рисунок 13).

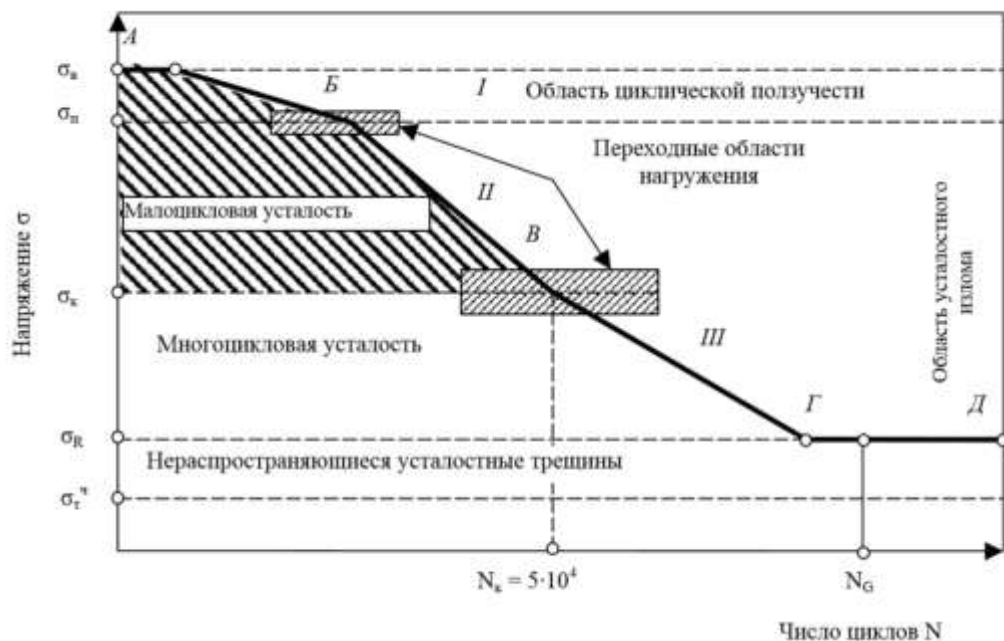


Рисунок 13 Полная кривая усталости

Это связано с тем, что ресурс нагружения многих ответственных конструкций, работающих в режиме циклических нагрузок, превышает стандартные нормы. При исследовании гигаусталости выяснилось, что для металлических материалов, у которых при стандартных базах испытания наблюдался четко выраженный горизонтальный участок - физический предел выносливости, при базах испытания  $10^8$  -  $10^{10}$  циклов вновь происходит усталостное разрушение. При этом, в ходе усталостных испытаний образцов из высокопрочных пружинных легированных сталей в условиях симметричного растяжения – сжатия с частотой 20 кГц была отмечена интересная особенность. Если образцы разрушались при числе циклов нагружения до  $10^7$ , то усталостные трещины зарождались в поверхностном слое образцов. После  $10^7$  циклов зарождение трещин происходит под поверхностным слоем.

## 2. РАЗРАБОТКА И РАСЧЕТ КРАНОВОЙ ТЕЛЕЖКИ

### 2.1 Разработка конструктивно-компоновочной и кинематической схемы тележки

Кинематическая схема механизма подъема представлена на рис. 2.

Вращающий момент от электродвигателя 1 через зубчатые муфты быстроходного вала 2 и редуктор 3 передается на барабан 4. Барабан имеет одностороннюю нарезку, на которую наматывается канат.

Для проектируемого крана грузоподъемностью  $Q=5$  т выбираем двоянный полиспаст ( $a=2$ ) кратностью  $i=2$ .

Полиспаст образуется барабаном 4 в крюковой подвеске 7. На быстроходном валу установлен колодочный тормоз 5, а барабан соединяется с тихоходным валом редуктора с помощью муфты.

Применением двоянного полиспаста обеспечивается вертикальный подъем и перемещение груза, одинаковая нагрузка на подшипники барабана и ходовые колеса тележки независимо от высоты подъема груза.

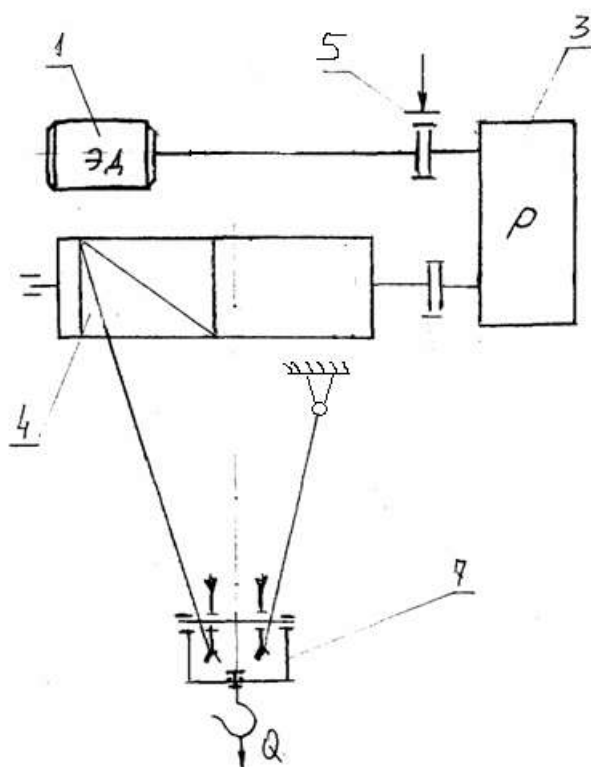


Рисунок 14 Кинематическая схема механизма подъема

При  $Q=6t$  и группе режимов работы механизма подъема 3К выбираем крюк N14 ГОСТ 6627-66 [14] и укороченную подвеску конструкции согласно ОСТ 24.191.08-81 [15].

Блоки установлены на подшипниках качения и закрыты защитными кожухами. Уравнительные блоки также расположены на подшипниках качения и имеют одинаковую конструкцию с блоками крюковой подвески.

Схема механизма передвижения тележки представлена на рисунке 15.

Тележка мостового крана выполняет операцию перемещения поднятого груза вдоль фермы крана с площадки загрузки на площадку выгрузки. Грузовая тележка отвечает за подъем и перемещение рабочего органа крана. Они конструируются с расчетом для использования как на однобалочных, так и на двухбалочных конструкциях. На площадке загрузки груз зацепляется, механизм подъема обеспечивает подъем груза. Включается двигатель тележки, осуществляется перемещение тележки с грузом с установившейся рабочей скоростью  $V_p$ .

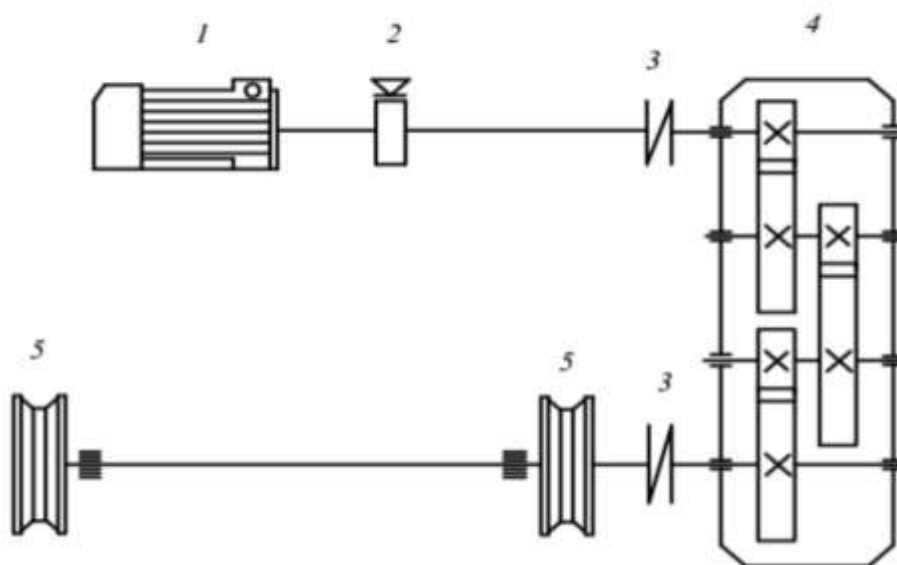


Рисунок 15 Кинематическая схема передвижения тележки

По прибытии к площадке выгрузки двигатель затормаживается, переключается на пониженную скорость с целью обеспечения точности остановки, тележка останавливается в заданном месте, переместившись на длину  $L$ . Происходит опускание груза, его отцепляют, пустой крюк

поднимается. Включается двигатель для движения в обратную сторону с установившейся скоростью  $V_b$ , тележка возвращается в зону загрузки, пройдя вновь расстояние  $L$ . Таким образом, тележка совершает возвратно-поступательное движение на длину  $L$  от одного крайнего положения до другого. В цикл работы тележки входит время пауз, когда тележка стоит, производятся зацепление груза, его подъем, опускание, расцепление, подъем и опускание пустого крюка [16].

В настоящей работе механизм передвижения крановой тележки не рассматривается.

При разработке технического проекта максимально применены унифицированные узлы (колёса, муфты, редуктор для механизма подъёма и т.д.).

Тележка крана состоит из следующих узлов:

- Металлоконструкция;
- Механизм передвижения крана (в данной работе не показан);
- Подвеска крюковая;
- Электрооборудование;
- Механизм подъема.

Для обеспечения достаточного запаса сцепления колёс тележки с рельсами и исключения пробуксовки применены два привода передвижения тележки и 100 % приводных колёс.

Механизм передвижения крана - отдельный, имеет 4 привода, все колёса приводные, что обеспечивает достаточный запас их сцепления с рельсами.

Электропитание крана и тележки осуществляется с помощью гибкого кабеля, закреплённого на каретках, передвигающихся по монорельсу (рельс КР-70).

Конструкция узлов крана соответствует ГОСТам.

Применены электродвигатели без встроенного тормоза, т.к. внешние тормоза обладают наиболее высокими характеристиками и более просты, и дешевы в эксплуатации.

Укажем необходимые технические характеристики на кран, согласно техническому заданию заказчика:

Таблица 2.1 Техническая характеристика крана согласно технического задания

<b>Техническая характеристика</b>	
Грузоподъёмность, т	5
Пролёт, м	24
Высота подъёма, м	16
Скорости, м/с:	
подъёма и замыкания грейфера	0,24/0,06
передвижения тележки	0,46/0,20
передвижения крана	1,02/0,32
Режим работы, ПВ%	40
Питание крана и тележки	гибким кабелем
Место управления	закрытая кабина
Род тока	трехфазный, 380В
Тип кранового рельса	Кр-70
Масса крана, т	49
Давление колеса на подкрановый рельс, т	20

## 2.2. Расчет механизмов подъема

Воспользуемся исходными данными технического задания:

Грузоподъемность  $Q = 10$  т



Высота подъема  $H = 16$  м

Скорость подъема  $V = 0,24/0,06$  м/с

Режим работы – Т (тяжелый),

Принимаем механизм подъема со сдвоенным полиспастом кратностью,  $a = 1$ .

### 2.2.1 Расчет барабана

Для расчета барабана необходимо выбрать и провести расчет каната. Это так же необходимо для дальнейшего конструирования крюковой подвески (согласно ОСТ 24.191.08-81) [17].

Наибольшее натяжение, наматываемой на барабан, ветви каната механизма подъема:

$$S_{max} = \frac{k \cdot Q_H}{m \cdot Q_n \cdot \mu_n} \quad (1)$$

где:  $k$  – коэффициент загрузки механизма подъема ( $k = 0.6$ );

$Q_H$  – сила тяжести номинального груза ( $Q_H = 50000$  Н);

$m$  – число полиспастов в механизме ( $m = 2$ );

$\mu_n$  – КПД полиспаста ( $\eta_n = 0.97$ ).

$$S_{max} = \frac{0,6 \cdot 50000}{2 \cdot 1 \cdot 0,97} = 15\,450 \text{ Н}$$

Канат выбираем исходя из условия разрывного усилия:

$$S_k > [k] \cdot S_{max} \quad (2)$$

где:  $S_k$  – разрывное усилие каната в целом;

$[k]$  – наименьший допустимый коэффициент запаса прочности для канатов,  $[k] = 6$ .

$$[k] \cdot S_{max} = 6 \cdot 15450 = 92\,700 \text{ Н}$$

Выбираем канат 15-Г-1-0-Н-1770 (180) ГОСТ 26880 - 80 с разрывным усилием  $S_k = 102000$  Н.

Диаметр каната  $d_k = 15$  мм, грузового назначения, марки 1, для средних агрессивных работ, правой крестовой свивки, нераскручивающийся.

Коэффициент запаса прочности каната:

$$\frac{S_k}{S_{max}} = \frac{102000}{15450} = 6,6 > [k] = 6$$

Следовательно, можно сделать вывод о том, что данный канат подходит для данного грузоподъемного механизма.

Диаметр барабана, измеренный по дну нарезанной канавки:

$$D_6 > d_k(e - 1) \quad (3)$$

где:  $e = 30$  - коэффициент, принятый по таблице 4 [].

$$d_k(e - 1) = 0,09(30 - 1) = 0,27 \text{ м}$$

Принят диаметр барабана 0,27 м с учётом того, что расчётную величину диаметра барабана 0,27 можно уменьшить на 15%, т.е. до 0,2295 м.

Определим диаметр, измеренный по средней линии навитого каната:

$$D_{6cp} = D_6 + d_k(2n - 1) \quad (4)$$

где:  $n = 1$  – количество слоев навивки каната.

$$D_{6cp} = 0,27 + 0,015(2 \cdot 1 - 1) = 0,285$$

Определим длину барабана при навивке в один слой:

$$L_6 = (L_0 + L_1 + L_2 + L_3) \quad (5)$$

где:  $L_0$  - длина участка барабана для нарезки каната в один слой;

$L_1 = 3t$  - длина участка барабана для крепления каната

прижимными планками;

В свою очередь  $t$  – шаг навивки каната:

$$t = (1,1 \div 1,2)d_k = 0,0165 \text{ м}$$

Найдем  $L_1$ :

$$L_1 = 3t = 3 \cdot 0,0165 = 0,0495 \text{ м}$$

Конструктивно принята длина  $L_1 = 0,495$  м со стороны реборды;

$L_2$  - длина участка барабана для крепления каната прижимными планками со стороны опоры;

$$L_2 = 3t = 3 \cdot 0,0165 = 0,0495 \text{ м}$$

Конструктивно принята длина  $L_2 = 0,0495$  м - для барабана механизма замыкания грейфера и длина  $L = 0,081$  м - для механизма подъёма;

$L_3$  - длина ненарезанной части.

Для барабана механизма подъёма  $L_3 = 0,3$  м.

Требуемая длина  $L_0$  для барабана механизма подъёма:

$$L_0 = \left( \frac{H+i_n}{\pi+D_{\text{бср}}} + Z_n \right) \cdot t \quad (6)$$

где  $Z_n = 1,5$  - количество неприкосновенных витков каната.

$$L_0 = \left( \frac{16 + 1}{3,14 + 0,285} + 1,5 \right) \cdot 0,0165 = 0,6 \text{ м}$$

Конструктивно принята требуемая длина:

для барабана механизма подъёма –  $L_0 = 0,63$  м,

Длина барабана механизма подъёма

$$L_6 = (0,63 + 0,0495 + 0,0495 + 0,3) = 1,03 \text{ м}$$

Рассчитаем толщину цилиндрической стенки барабана при однослойной навивке при расчёте на сжатие:

$$\delta \geq \frac{F_{\text{max}}}{t \cdot [\sigma_{\text{сж}}]} \quad (7)$$

где  $[\sigma_{\text{сж}}]$  – допустимое напряжение сжатия барабана;

$$\sigma_{\text{сж}} = \frac{\sigma_y}{2} \quad (8)$$

где  $\sigma_y$  - расчётное сопротивление по пределу текучести материала барабана. Для стали 09Г2С  $\sigma_y = 290$  МПа,  $[\sigma_{\text{сж}}] = 290/2 = 145$  Мпа.

Следовательно:

$$\delta \geq \frac{15\,450}{0,0165 \cdot 145 \cdot 10^6} = 6,46 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

Принята минимальная толщина стенки барабана  $\delta = 25$  мм.

## 2.2.2 Расчет привода

Мощность двигателя, необходимая при подъёме номинального груза (согласно технического задания) [18]:

$$N_{\text{ст}} = \frac{Q_n \cdot V_n}{m_k \cdot 102 \cdot \mu} \quad (9)$$

где: малая скорость  $V_n = 0,06$  м/с

$$N_{\text{ст}} = \frac{5000 \cdot 0,06}{2 \cdot 102 \cdot 0,85} = 1,73 \text{ кВт}$$

Расчет для большой скорости  $V_{\text{нб}} = 0,24$  м/с

$$N_{\text{ст}} = \frac{5000 \cdot 0,24}{2 \cdot 102 \cdot 0,85} = 6,9 \text{ кВт}$$

Выбираем двигатель без встроенного тормоза: 4МТКФ132LB6 - 7,5кВт;  
380 В; 50 Гц; 918/320 об/мин;  $M_{\text{max}} = 250/250$  Н·м;

ПВ = 40/15%;  $M_{\text{пуск}} = 230/250$  Н·м;

Крановые электродвигатели 4МТКН 132LB6 и их полные аналоги двигатели кранов ДАМТКФ 132L6, 4МТКФ 132LB6, АМТКН 132L6, МТКФ 132L6 - короткозамкнутые, отличаются друг от друга только заводом-изготовителем и, незначительно, габаритными размерами (присоединительные размеры одинаковы). Используются для работы в электроприводах металлургических агрегатов и подъемно-транспортных механизмах всех видов и поставляются на комплектацию башенных, козловых, порталных, мостовых и других кранов.

Электродвигатели кранов 4МТКН 132LB6 производятся для эксплуатации в районах с умеренным (У), тропическим (Т), умеренно-холодным (УХЛ) и общеклиматическим (О) климатом с категорией размещения 1 (на улице, без укрытия).

Выберем стандартный редуктор для увеличения крутящего момента. Расчет так же проведем для малой и большой скорости перемещения.

Определим частота вращения барабана по следующей формуле:

$$n_6 = \frac{60 \cdot V_n \cdot i_n}{\pi \cdot D_6} \quad (10)$$

для малой скорости  $V_n = 0,06$  м/с

$$n_6 = \frac{60 \cdot 0,06 \cdot 1}{3,14 \cdot 0,27} = 5,4 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$$

большая скорость  $V_{н6} = 0,24 \text{ м/с}$

$$n_6 = \frac{60 \cdot 0,24 \cdot 1}{3,14 \cdot 0,27} = 1,9 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$$

Рассчитаем передаточное число привода для медленного режима подъема:

$$U_m = \frac{n}{n_6} = \frac{230}{1,9} = 121$$

А также посчитаем передаточное число для быстрого режима подъема:

$$U_m = \frac{n}{n_6} = \frac{918}{5,4} = 159$$

Выбираем редуктор РСМ - 450 - 159 модернизированный.

Передаточное отношение  $U = 159$

КПД редуктора для расчет принимаем  $\eta = 0,94$

Для проверки корректности расчетов кинематической схемы механизма подъема крановой тележки выполним проверочный расчет электродвигателя привода.

Рассчитаем Номинальный момент двигателя для скоростей по следующей формуле:

$$M_H = \frac{9550 \cdot N_H}{n_H}, \text{ Н} \cdot \text{ м} \quad (11)$$

Для малой скорости:

$$M_H = \frac{9550 \cdot 1,73}{230} = 71,8 \text{ Н} \cdot \text{ м}$$

Для большой скорости:

$$M_H = \frac{9550 \cdot 5,4}{918} = 56,2$$

Рассчитаем статический момент нагрузки по следующей формуле:

$$M_{ст} = \frac{Q_H \cdot D_H \cdot g}{2 \cdot u \cdot \mu \cdot m_k}, \text{ Н} \cdot \text{ м} \quad (12)$$

Подставим расчетные данные в формулу 12, получим:

$$M_{ст} = \frac{5000 \cdot 0,27 \cdot 9,81}{2 \cdot 159 \cdot 0,85 \cdot 2} = 24,5 \text{ Н} \cdot \text{ м}$$

Среднеквадратичный момент статической нагрузки:

$$M_{ср.ст} = k_H k_3 M_{ст} \quad (13)$$

где:  $k_H = 0,8$  – коэффициент использования;

$k_3 = 1,1$  – коэффициент запаса при захвате груза, большего номинального.

$$M_{ср.ст} = 0,8 \cdot 1,1 \cdot 24,5 = 21,56$$

Рассчитаем скорость подъема груза:

$$V_{п} = \frac{\pi \cdot D_6 \cdot n_p}{60 \cdot u_3} \quad (14)$$

где:  $n_p$  - потребная скорость вращения двигателя, рассчитывается по следующей формуле:

$$n_p = \frac{60 \cdot V_{п} \cdot u_p}{\pi \cdot D_6}$$

Определим потребную скорость вращения электродвигателя для малой скорости:

$$n_p = \frac{60 \cdot 0,06 \cdot 159}{3,14 \cdot 0,27} = 342 \text{ об/мин}$$

Также определим потребную скорость вращения электродвигателя для большой скорости механизма подъема крана.

$$n_p = \frac{60 \cdot 0,2 \cdot 159}{3,14 \cdot 0,27} = 907 \text{ об/мин}$$

Рассчитаем скорость подъема груза:

В первую очередь для малой скорости:

$$V_{п} = \frac{3,14 \cdot 0,27 \cdot 342}{60 \cdot 159} = 0,057 \text{ м/с}$$

И так же для большой скорости:

$$V_{п} = \frac{3,14 \cdot 0,27 \cdot 907}{60 \cdot 159} = 0,238 \text{ м/с}$$

Вычислим суммарный момент инерции:

$$\sum J_{\text{общ}} = 1,3 \cdot J_{\text{дв}} + \frac{91 \cdot Q_{\text{н}} V_{\text{п}}^2}{n_{\text{п}}^2 \cdot m_{\text{к}}} \quad (15)$$

Согласно предварительным расчетам, получим:

$$\sum J_{\text{общ}} = 1,3 \cdot \frac{29}{9,81 \cdot 4} + \frac{91 \cdot 5000 \cdot 0,238^2}{918 \cdot 2} = 0,97$$

Определим средний пусковой момент согласно формулы ниже:

$$M_{\text{ср.п.}} = \frac{M_{\text{max}} + M_{\text{min}}}{2} \quad (16)$$

Рассчитаем средний пусковой момент для двух режимов работы грузоподъемного механизма. Для начала для малой скорости работы механизма подъема:

$$M_{\text{ср.п.}} = \frac{250 + 250}{2} = 250 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Для большой скорости:

$$M_{\text{ср.п.}} = \frac{250 + 230}{2} = 240 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Двигатель должен разгонять механизм до номинальной скорости при: 110% номинального груза и снижении напряжения на 90%.

$$M_{\text{ср}} > m_{\text{п}} \cdot M_{\text{ср.ст}}$$

где:  $m_{\text{п}}$  - коэффициент ( $m_{\text{п}} = 1,85$ );

Данное неравенство должно выполняться для двух режимов.

Рассмотрим это для случая с малой скоростью:

$$m_{\text{п}} \cdot M_{\text{ср.ст}} = 1,85 \cdot 71,8 = 132,83 \text{ Нм}$$

Следовательно, получим следующее неравенство:

$$M_{\text{ср}} = 250 \text{ Нм} > 132,83 \text{ Нм}$$

Проверим неравенство для большой скорости:

$$m_{\text{п}} \cdot M_{\text{ср.ст}} = 1,85 \cdot 56,2 = 103,97 \text{ Нм}$$

Аналогично рассмотрим неравенство:

$$M_{\text{ср}} = 250 \text{ Нм} > 103,97 \text{ Нм}$$

Следовательно, можно сделать заключение, что выбор двигателя был сделан корректно.



### 3. ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ С ЦЕЛЬЮ ДОСТИЖЕНИЯ ПРЕДЕЛОВ ГИГАЦИКЛОВОЙ УСТАЛОСТИ

#### 3.1 Конструктивно-технологический анализ кранового колеса

Деталь колесо крановое К2Р-320х100, чертеж ЮУрГУ-15.04.02-2020-309-03-181-01-02-001 относится к классу типовых стальных колес.

Описание детали: Объемная осесимметричная деталь типа двухребордное колесо с отверстием для посадки.

Габаритные размеры:

- По диаметру: 360 мм;

- Высота: 140 мм;

Масса детали 52,75 кг.

Материал детали «шестерня» - легированная сталь 65Г по ГОСТ 14959-79 [19]: материал заменитель стали: 70, У8А, 70Г, 60С2А, 9ХС.

Деталь типа крановое колесо является одной из базовых в приводах подъёмно-транспортных машин, используемая для передвижения крана и обеспечения сцепления с рельсом. Применяется во всех типах кранов (козловые, мостовые и т.д.) Эксплуатируется в условиях высоких нагрузок.

Группа поковки – II НВ не более 269 ГОСТ 8479-70. II Группа определяет твердость поковок одной марки стали прошедших термическую обработку по одинаковому режиму.

Деталь подвергается механической обработке: токарная обработка (обточка торцев и растачивание отверстия, обработка катающей поверхности), сверление технологических отверстий.

#### 3.2 Характеристика материала детали «колесо крановое»

Для изготовления детали «колесо крановое» применим материал сталь 65Г по ГОСТ 14959-79[20].

Сталь 65Г – Сталь конструкционная рессорно-пружинная

Применяется для изготовления: пружин, рессор, упорных шайб, тормозных лент, фрикционных дисков, шестерен, фланцев, корпусов подшипников, зажимных и подающих цанг и других деталей, к которым предъявляются требования повышенной износостойкости, и детали, работающие без ударных нагрузок.

Химический состав стали приведен в таблице 3.1 Сталь 65Г, ГОСТ 14959-79.

Таблица 3.1 Химический состав стали [20].

Сталь	C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Cu	Fe
65Г	0,62 - 0,7	0,17- 0,37	0,5- 0,8	до 0,25	до 0,035	до 0,035	До 0,25	до 0,2	~97

Механические свойства стали 65Г при ковочных температурах приведены в таблице 3.2.

Таблица 3.2 Механические свойства стали 65Г [20].

Температура, °С.	$\sigma_{02}$ , МПа	$\sigma_b$ , МПа	$\delta$ , %	$\psi$ , %	$K_\psi$ , %/МПа
700	120	150	48	89	0,58
800	63	93	56	74	0,78
900	51	84	64	88	1,02
1000	33	51	78	97	1,88
1100	21	33	98	100	2,94
1200	14	25	-	-	-

Где,  $\sigma_{02}$  – предел текучести;

$\sigma_b$  - временное сопротивление;

$\delta$  - относительное удлинение после разрыва;

$\psi$  - относительное сужение с зоне разрыва;

$K_\psi$  – ковкость.

Плотность стали 7,85 г/см<sup>3</sup>.

### 3.3. Обоснование технологии штамповки поковки «крановое колесо»

При разработке технологического процесса штамповки, необходимо учитывать все преимущества и недостатки того или иного существующего на данный момент методов обработки, видов оборудования, а также характер работы самой детали, её нагруженность.

При объемной штамповке широко используют ПВШМ благодаря следующим преимуществам по сравнению с другим технологическим оборудованием [21]:

1. Возможность регулирования силы и частоты ударов при деформировании заготовки в любом из ручьёв штампа;
2. Большие скорости деформирования, способствующие лучшему заполнению заготовкой формы окончательного ручья.

Существуют так же и недостатки:

1. Ударный характер нагрузок вызывает частую разладку штампов;
2. Большие уклоны на поковках вследствие отсутствия выталкивателей в штампах, в результате – повышенные потери металла;
3. Возрастают припуски и трудоёмкость обработки резанием;
4. При ударах молоты вызывают вибрацию зданий и соседнего оборудования и шум, отрицательно влияющий на работающих в цехе;
5. Ударный характер работы молотов сужает возможности автоматизации технологических процессов штамповки.

### 3.4 Технологическая схема штамповки поковки

Учитывая приведенные выше преимущества штамповки на ПВШМ, а также учитывая конструктивные особенности детали – тело вращения ступенчатой формы, диаметального размера в плане, можно сделать вывод о том, что для изготовления данной детали оптимальным вариантом будет применение технологии горячей штамповки на ПВШМ в открытом штампе, с применением индукционного нагрева, так как это позволит увеличить

коэффициент использования материала и производительность, а также позволит исключить обязательное участие в процессе высококвалифицированного рабочего.

Последовательность технологических операций для изготовления поковки детали колесо крановое приведена ниже:

- Разделка сортового проката на заготовки для штамповки на сортовых ножницах.

- Нагрев заготовки до ковочных температур в индукционном нагревателе. Штамповка на двух ПВШМ за два перехода включающая в себя предварительную осадку и основную формообразующую операцию.

- Обрезка облоя и прошивка перемычки.

- Контрольные операции.

- Маркировка.

Конструирование поковки детали «колесо крановое К2Р-320х100»

Исходной информацией для разработки чертежа поковки является чертеж детали (см. ЮУрГУ-15.04.02-2020-309-03-181-01-02-001) с указанными на нем размерами, предельными отклонениями размеров, шероховатостью поверхностей, маркой материала и установленными базами первичной механической обработки.

Выбор поверхности разъема штампа:

Поверхность разъема – это поверхность, по которой сопрягаются верхняя и нижняя часть штампа. При выборе положения разъема необходимо выполнить условия:

- поковка должна свободно извлекаться из верхней и нижней половины штампа, для чего линия разъема располагается в плоскости сечения поковки с наибольшим периметром, что обеспечивает наименьшую глубину и наибольшую ширину ручья, облегчает очистку ручья от окалины;

- взаимное расположение поверхности разъема и поковки должно исключать поднутрения на боковых поверхностях поковки;

- ручки ориентируют таким образом, чтобы их заполнение осуществлялось за счет осадки, а не выдавливания;
- должна быть обеспечена возможность контроля сдвига штампа, удобство визуального осмотра;
- не должно быть перерезания волокон
- поверхность разъема должна быть расположена так, чтобы обеспечить более экономичную обработку ручьев штампа, а также простейшую конфигурацию обрезающей матрицы.

Учитывая эти рекомендации, наружную поверхность разъема принимаем на расстоянии 74 мм от нижнего контура детали, а внутренняя поверхность на расстоянии 65 мм от нижнего контура детали, по середине толщины фланца детали.

### 3.5 Исходные данные для конструирования поковки

Деталь: колесо крановое (ЮУрГУ-15.04.02-2020-309-03-181-01-02-001);

Штамповочное оборудование – ПВШМ;

Нагрев заготовок газопламенный;

Исходные данные по детали:

Материал – 65Г, конструкционная низколегированная сталь;

Масса детали – 52,75 кг.

### 3.6 Конструирование поковки

#### 1. Масса поковки (расчетная).

Величина расчетной массы поковки детали вычисляется по формуле [21, стр. 56]:

$$G_{p.п.} = M_d \times K_p. \quad (17)$$

где  $G_{p.п.}$  – расчетная масса поковки;

$M_d$  – масса детали;

$K_p.$  – коэффициент для определения расчетной массы поковки.

$K_p = (1,5 \div 1,8)$ , группа 2.1: Круглые: шестерни, ступицы, фланцы. Деталь описывается цилиндром. Примем для данной детали коэффициент 1,6. Подставим данные в формулу (17).

$$G_{p.п.} = 52,75 \times 1,6 = 84,4$$

2. Класс точности – **T4** [3, стр.28, табл.19], так как задана штамповка на ПВШМ, в открытом штампе.

3. Группа стали – **M2**. [21, стр.8, табл.1].

4. Степень сложности.

Посчитаем размер описывающей фигуры (цилиндр), с учетом коэффициента 1,05 мм:

диаметр  $360 \cdot 1,05 = 378$  мм;

высота  $140 \cdot 1,05 = 147$  мм.

Масса описывающей фигуры рассчитывается по формуле:

$$G_{\phi.} = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot h \cdot \rho \quad (18)$$

где:  $d$  – диаметр описывающей фигуры;

$h$  – высота описывающей фигуры;

$\rho$  – плотность стали, равная  $7,85$  г/см<sup>3</sup>.

Подставим данные в формулу 18:

$$G_{\phi.} = \frac{\pi \cdot 0,36^2}{4} \cdot 0,14 \cdot 7850 = 111,08 \text{ кг.}$$

Степень сложности детали определяется по отношению  $G_{p.п.} / G_{\phi.}$ , где  $G_{p.п.}$  – расчетный вес поковки,  $G_{\phi.}$  – вес описанной фигуры. В данном случае это отношение будет иметь вид:

$$\frac{G_{p.п.}}{G_{\phi.}} = \frac{84,4}{111,8} = 0,62$$

Так как значение попадает в интервал  $0,32 \dots 0,63$ , степень сложности **C2** [21, стр. 29. прл 2].

5. Конфигурация поверхности разъема плоская.

6. Определим исходный индекс поковки по номограмме, исходя из класса точности, группы стали и степени сложности детали. **Исходный индекс 14.** Определение исходного индекса поковки показано на рисунке 16.

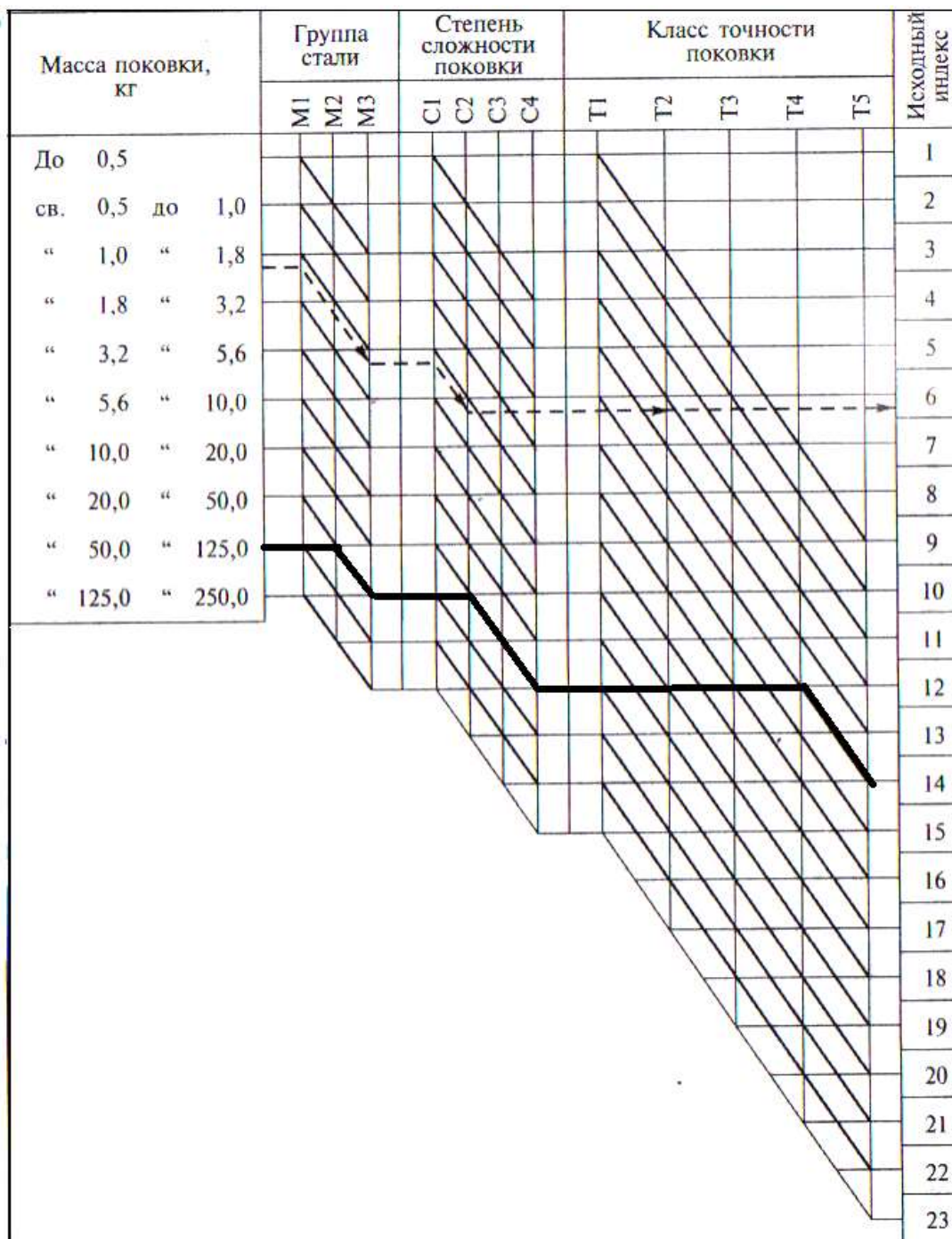


Рисунок 16 Определение исходного индекса поковки.

### 3.7 Припуски и кузнечные напуски

Припуск - это предусмотренное одностороннее увеличение размера заготовки по сравнению с наименьшим размером детали, обеспечивающие после обработки резанием требуемые, проставленные на чертеже размеры детали и шероховатости по поверхности.

Основные припуски на обрабатываемые размеры [21. табл. 2]:

Диаметр 360 мм и чистота поверхности Ra 25 – припуск 7 мм.

Внутренний диаметр 71 и чистота поверхности Ra 3,2 – припуск 1,74 мм.

Толщина 140 и чистота поверхности 12,5 – припуск 4 мм.

Дополнительные припуски, учитывающие: смещение по поверхности разъема штампа – 0,3 мм [21.табл. 4]; отклонение торцов от плоскостности - 0,4 мм [21. табл. 5].

Штамповочные уклоны:

Штамповочные уклоны необходимы для облегчения удаления поковки из полости ручья. Так как для штамповки применяется ПВШМ, не имеющий верхний и нижний выталкиватели, то имеется нет возможности уменьшения уклонов по сравнению со штамповкой на прессах для экономии материала. Поэтому принимаем штамповочный уклон по наружной поверхности принимают  $7^\circ$ , по внутренней поверхности  $10^\circ$ .

### 3.8 Размеры поковки и предельные отклонения

Допуск – отклонение размера поковки от номинального, обусловленное неточностью изготовления, недоштамповкой, износом ручья штампа и т.д. Допуск зависит от массы поковки, степени сложности, группы стали, и размеров поверхностей, то есть индекса поковки.

Размеры поковки:

Диаметр  $360 + (7,6 + 0,6) \cdot 2 = 374,2$ , принимаем 374;

Диаметр  $71 - (3,7 + 0,3) \cdot 2 = 63$ , принимаем 63;

Толщина  $140 + (3,7 + 0,4) \cdot 2 = 148,2$ , принимаем 148;



Наружные радиусы закруглений 7,5 мм (минимальный), принимаем 8 мм [3. табл. 7].

Допускаемые отклонения размеров [21. табл. 8].

- Диаметр  $374_{-3,0}^{+1,3}$ ;

- Диаметр  $63_{-1,5}^{+1,3}$ ;

- Диаметр  $119_{-1,5}^{+3,0}$ ;

- Толщина  $144_{-0,8}^{+1,4}$ ;

Неуказанные предельные отклонения размеров.

Допуск размеров, не указанных на чертеже поковки, принимается равным 1,5 допуска соответствующего размера поковки с равными допускаемыми отклонениями.

Неуказанные допуски радиусов закруглений, устанавливается по [21. табл.17].

Допускаемая величина остаточного облоя до 1,6 мм на сторону [21. табл.10].

Допускаемое отклонение от плоскостности 2,5 мм [21. табл.13].

2.5.9. Допускаемое смещение по поверхности разъема штампа 1,4 мм [321. табл. 9].

2.5.10. Допускаемая величина высоты заусенца 3 мм [21. п. 5.10.].

### 3.9 Назначение напусков

Напуск – увеличение припуска в целях упрощения конфигурации поковки из-за невозможности или нерентабельности ее изготовления с контуром, соответствующим контуру готовой детали.

К кузнечным напускам относятся: напуск на зубчатый венец, штамповочные уклоны, внутренние и внешние радиусы скругления. Их назначают с целью увеличения стойкости рабочих элементов штампов.

Так как в чертеже детали колесо крановое (ЮУрГУ-15.04.02-2020-309-03-181-01-02-001) нет особых требований к волокну зубчатого венца, то

возможно получение профиля обработкой резанием. Поэтому зубчатый профиль закроется напуском по наибольшему диаметру вершин зубьев.

### 3.10 Разработка чертежа поковки

Разработка чертежа поковки производится по ГОСТ 3.1126-88 [22].

Чертеж поковки необходимо составлять в том же масштабе, что и чертеж детали. Контуры готовой детали на чертеже поковки следует вычерчивать тонкой штрихпунктирной линией с двумя точками или сплошной тонкой линией, наглядно показывающей припуски и напуски. Размеры готовой детали можно проставить в скобках под размерами поковки (см. Приложение Б)

Необходимо указывать базы механической обработки и от них поставить размеры с допусками.

В соответствии с ГОСТ 8479-70 [23] чертеж поковки должен быть снабжен техническими требованиями на приемку поковок, регламентирующими отношения между потребителем и изготовителем. Чертеж должен обладать данными для изготовления, контроля и приемки.

Технические требования к поковке:

1. Поковка разработана по ГОСТ 7505-89 [21];
  - 1.1 Группа стали М2;
  - 1.2 Степень сложности С2;
  - 1.3 Класс точности Т4;
  - 1.4 Исходный индекс 14.
2. Неуказанные радиусы закруглений 8 мм.
3. Допускаемая величина смещения по поверхности разъема штампа 1,4 мм.
4. Допускаемое отклонение от concentричности пробитого отверстия 2,5 мм.
5. Термическая обработка – нормализация;
6. Группа II НВ 174...217 ГОСТ 8479-70;

7. Без очистки поверхности от окалины дробью;
8. ( ) – размеры механически обработанной детали;
9. \* - размеры обеспечиваются инструментом;
10. Допускаемое отклонение от плоскостности 0,4 мм.

### 3.11 Определение массы поковки

Масса поковки и перемычки рассчитывается для дальнейшего определения массы исходной заготовки. При многократной штамповке ручей изнашивается, что приводит к увеличению всех размеров гравюры штампа и вследствие этого к возможной нехватки металла для заполнения некоторых полостей, т.е. к браку.

Для определения объема заготовки используем программу КОМПАС-3D. Построение модели ведется с учетом половины допуска на соответствующий размер. Если размер внешний, то к номинальному размеру прибавляется половина допуска, если внутренний, то соответственно отнимается.

### 3.12 Выбор операций и переходов штамповки

Поковки, штампуемые на ПВШМ, подразделяют:

В зависимости от характера формоизменения и течение металла при формоизменении - на два класса: класс поковок получаемых с преобладанием процесса осадки, и класс поковок, получаемых с преобладанием процесса выдавливания.

В зависимости от конфигурации и сложности изготовления - на пять основных групп. Методы изготовления учитывают при выделении подгрупп поковок.

Поковка детали колесо крановое является симметричной поковкой, круглой в плане, изготавливаемой осадкой в торец с одновременным выдавливанием. По всем этим признакам она относится к 1-ой группе 3-ей подгруппы. Учитывая принадлежность поковки к этой группе и подгруппе ее

можно получить за два перехода с применением осадочной площадки.

Штамповка производится в открытом штампе.

В технологии изготовления применяются следующие операции:

1. Резка проката на мерные заготовки;
2. Транспортировать тару с заготовками к газопламенной печи;
3. Индукционный нагрев заготовок;
4. Контролировать температуру нагрева заготовок;
5. Осадка в торец (удаление окалины и увеличение площади поперечного сечения заготовки);
6. Штамповка в чистовом ручье;
7. Обрезка облоя и удаление перемычки;
8. Заключительный контроль качества поковок.

### 3.13 Температурный режим штамповки

Нагрев металла является одним из важнейших звеньев производственного процесса в металлургии и машиностроении, влияющий на производительность, энерго- и материалоемкость производства, себестоимость и качество продукции. Выбор же метода нагрева существенным образом отражается на технико-экономических показателях продукции. Здесь необходимо учитывать технологичность и мобильность производства, его объемы, стоимость сырья и энергоносителей, качественные показатели продукции и другие факторы.

После разрезки проката на сортовых ножницах по скату – рольгангу заготовки попадают в тару, которая транспортируется мостовым краном к газопламенной печи для нагрева.

Температура стали 65Г [19]:

- под осадку 1250 °С;
- под штамповку 1150 °С;
- обрезка облоя и прошивка отверстия 950 °С.

### 3.14 Смазка полости штампа

Технологические смазочные материалы при штамповке на ПВШМ применяют с целью снижения трения и усилия деформирования, охлаждения инструмента и предотвращения его разупрочнения, улучшения качества поверхности изделия при уменьшении износа инструмента. Одно из основных требований к смазочному материалу – хорошая экранирующая способность, т.е. способность надежно разделять поверхности деформируемой заготовки и инструмента.

При горячей штамповке поковок простой конфигурации осаживанием в открытых штампах применяют лигносульфат технический, ЛТС, марки А. состав: ЗТУ-13-0281036-05-89 – 10%, вода техническая – 90%. [20].

### 3.15 Контроль штампованных поковок

Данная поковка детали шестерни по условию заказчика должна пройти испытания по Гр. II ГОСТ 7984-70. Для данной группы испытаний предусмотрена проверка на твердость. Условия комплектования партии по ГОСТ 7984-70: Поковки одной марки стали, прошедшие термическую обработку по одинаковому режиму. Нормы твердости для поковок II и III групп устанавливаются по соглашению изготовителя с потребителем. Марка стали устанавливается по соглашению изготовителя с потребителем и указывается на чертеже детали и поковки.

#### 4 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТОВ ОТ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ КОНСТРУКЦИИ И ТЕХНОЛОГИИ

При расчете экономической эффективности оборудования под ремонтными затратами понимается технологическая себестоимость транспортировки, замены частей крана и дальнейший запуск оборудования.

Под технологической себестоимостью понимается совокупность затрат, изменяющихся в зависимости от варианта технического решения. Чаще всего изменениям подвержены следующие статьи затрат:

- а) заработная плата рабочих;
- б) стоимость потребляемой энергии;
- в) затраты на ремонт;
- г) амортизационные отчисления по оборудованию;
- д) затраты на вспомогательные материалы.

Таким образом, формула для определения ремонтных затрат имеет вид [24-25]:

$$C = C_{з.платы} + C_{э\acute{э}} + C_{рем} + C_{аморт} + C_{вспом} \quad (19)$$

где  $C_{з.платы}$  – заработная плата рабочих, руб.

$$C_{з.платы} = n \cdot ((C_{осн} + C_{доп}) + (C_{осн} + C_{доп}) \cdot 26,6\%) \quad (20)$$

где  $n$  – количество рабочих,

$C_{осн}$  и  $C_{доп}$  – основная и дополнительная заработная плата;

$C_{э\acute{э}}$  – стоимость потребляемой электроэнергии, руб.

$$C_{э\acute{э}} = \text{Ц}_{э\acute{э}} \cdot N_{дви\acute{з}} \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot F_{\delta} \quad (21)$$

где  $\text{Ц}_{э\acute{э}}$  – стоимость 1кВт/ч электроэнергии, руб.,

$k_1$  и  $k_2$  – коэффициенты использования ПТМ по времени и мощности равные 0,8;

$F_{\delta}$  – действительный фонд времени работы механизма, час.

$C_{рем}$  и  $C_{аморт}$  не учитываем эти показатели, так как ими не фигурируют в случае проведения плановых ремонтов.

$C_{вспом}$  – затраты на вспомогательные материалы, равные стоимости ремонтного комплекта или стоимости ремонта изделия.

Проведем расчет стоимости ремонта (замены кранового колеса). Данный вид ремонта как правило проводится раз в год, в летнее время.

Определим заработную плату рабочих:

$$C_{з.платы} = 2((2 + 2) + (2 + 2), 266) = 9,064 \text{ т. руб}$$

Определим расход электроэнергии:

$$C_{зэ} = 4,2 \cdot 7,5 \cdot 0,8 \cdot 0,8 \cdot 4 = 80,64 \text{ руб}$$

$C_{вспом}$  – указанные затраты будут отличаться от исполнения заготовки.

Сведем данные в таблицу 4.1

Таблица 4.1 Ремонтные затраты по замене крановых колес

Элементы затрат	Варианты	
	I (Кованая заготовка)	II (штампованная заготовка)
1. Заработная плата рабочих, т. руб.	9,064	9,064
2. Стоимость потребляемой электроэнергии, руб.	80,64	80,64
3. Затраты на вспомогательные материалы, т. руб.	28x4	14,5x4
Суммарные ремонтные затраты, руб.	121 144,64	67 144,64

Проведенный экономический расчет доказывает наиболее выгодное использование штампованных заготовок. При ремонте экономическая эффективность будет гораздо выше чем у литых заготовок. В данном случае экономический эффект составил 54 000 руб.

## ВЫВОД

В ходе проделанной работе, в рамках написания дипломного проекта по конструированию тележки мостового крана грузоподъемностью 5 т. была разработана конструкция крановой тележки с грузоподъемным механизмом. Определены основные параметры работы, выбран тип троса, рассчитан барабан механизма подъема, выбран двигатель. Проведены прочностные расчеты и выполнена проверка. В целях улучшения долговечности работы крановой тележки было предложено изменить технологию изготовления заготовки.

Изготовление заготовки кранового колеса было предложено осуществить на базе существующей технологии штамповки кранового колеса (Уральская кузница, Кузница (Камышин)), но с изменением геометрии с целью более равномерного распределения напряжений в ободе и диске колеса. В рамках настоящей дипломной работы проведено конструирование поковки, на основе рабочего чертежа спроектированной тележки, а также разработана конструкторско-технологическая документация (молотовой и обрешной штампы) выбраны режимы штамповки, разработан технологический процесс.

Указанные изменения позволят увеличить рабочий ресурс приводных и холостых колес не только мостовых, но и других видов кранов. Проведение ремонтов (наплавка катающей поверхности) колес снизит стоимость и трудоемкость плановых ремонтов кранов и обеспечит долгую и безотказную работу машины.

С целью подтверждения данной теории был проведен оценочный расчет затрат на плановый ремонт крана. Расчеты показали, что при использовании штампованной заготовки кранового колеса стоимость ремонта на 54 тысячи рублей ниже, в сравнении с ковальной заготовкой. Если сравнивать с литьем, то стоимость планового ремонта будет примерно одинаковой, однако, литая заготовка как правило не поддается восстановлению из-за обильного наличия внутренних дефектов и использованием производителей



некачественных марок стали. Преимущество процесса штамповки в данном случае состоит так же и в энергоэффективности процесса и его простоте.

На данный момент очень сложно сделать прогноз о достижении крановыми колесами режимов гигациклового нагружения, поэтому данная теория нуждается в проведении лабораторных экспериментов и математическом описании процесса гигациклового усталости. На данный момент на территории Российской Федерации всего две машины с возможностью проведения работ по гигацикловым нагружениям, что значительно усложняет задачу. Однако, настоящая тема достаточно актуальна и найдет применение к другим механизмам металлургических агрегатов и машин.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шабашов А.П. Мостовые краны общего назначения / А.П. Шабашов А.П., А.Г. Лысяков А.Г., 5-е изд. – Москва: Изд-во Машиностроение, 1980. – 304 с.
2. Гохберг М.М. Справочник по кранам в 2-ух томах/ под общ. ред. Гохберга М.М. – Москва: Изд-во Машиностроение, 1988 – 238 с
3. Александров М.П. Подъемно-транспортные машины: Атлас конструкций / под ред. М.П. Александрова, Д.Н. Решетова. 2-е Изд. – Москва: Изд-во Машиностроение, 1987. – 122 с
4. Зерцалов А. И. Краны с жестким подвесом груза / А.И. Зерцалов – Москва: Изд-во Машиностроение, 1979. – 435 с
5. Дегтерев Г. Н. Механизация и организация погрузочно-разгрузочных работ / Г.Н. Дегтерев - Москва: Ихд-во Транспорт, 1968. – 329 с
6. ГОСТ 22045-89 Краны мостовые электрические однобалочные опорные. Технические условия (с Изменениями N 1, 2). – М.:Изд-во стандартов, 1989. – 16 с.
7. ГОСТ 24378-80Е Краны мостовые и козловые электрические общие технические условия. – М.:Изд-во стандартов, 1988. – 18 с.
8. ГОСТ 19482-74 Краны мостовые электрические магнитные. Основные параметры и размеры: – М.:Изд-во стандартов, 1976. – 27 с.
9. Броек Д.В. Основы механики разрушения / Д.В. Броек – Москва: Изд-во Высшая школа, 1980. – 368 с
10. Кушнаренко, В.М. Разрушение элементов конструкций, контактирующих с коррозионными средами: материалы 4-й МНК «Прочность и разрушение материалов и конструкций» / В.М. Кушнаренко, С.В. Пастухов, Ю.А. Чирков, Кушнаренко Е.В. – М.: РАЕ, 2005. – С. 82 – 84
11. ГОСТ 2105-75 Крюки кованные и штампованные. Технические условия (с Изменениями N 1-7). – М.: Изд-во стандартов, 1976. – 33 с.

12. Ботвина Л.Р. Гигацикловая усталость – новая проблема физики и механики разрушения // Зав. лаб. Диагн. матер. - 2004. – Т. 70, № 4. - С. 41 - 51.
13. Терентьев В.Ф. Усталостная прочность металлов и сплавов. – М.: Интермет Инжиниринг, 2002. – 288 с.
14. ГОСТ 6627-74 Крюки однорогие. Заготовки. Типы. Конструкция и размеры. – М.: Изд-во стандартов, 1975. – 33 с.
15. ОСТ 24.191.08-81 Подвески крюковые крановые. Конструкция и размеры. – М.: Изд-во стандартов, 1983. – 96 с.
16. Расчет на прочность деталей машин: Справочник, Биргер И.А., Иосилевич Г.Б., Шорр Б.Ф., 4-е изд., М., Машиностроение, 1993, 640 с.
17. Чернилевский Д. В. Детали машин. Проектирование приводов технологического оборудования. – М.: Машиностроение, 2003 г.
18. Буланже А.В., Палочкина Н. В., Часовников Л. Д. Методические указания по расчету зубчатых передач редукторов и коробок скоростей, часть 1. – М.: МВТУ им. Н. Э. Баумана, 1980 г.
19. ГОСТ 14959-2016Metalлопродукция из рессорно-пружинной нелегированной и легированной стали. Технические условия (с Поправкой) . – М.: Изд-во стандартов, 2016. – 41 с.
20. Дальский А. М. Технология конструкционных материалов: Учебное пособие для вузов / А. М. Дальский, В. С. Гаврилюк, Л. Н. Бухаркин и др. – М.: Машиностроение, 1990. – 352 с.
21. ГОСТ 7505-89. Поковки стальные штампованные: допуски, припуски и кузнечные напуски. – М.: ИПК Издательство стандартов – с. 52
22. ГОСТ 3.1126-88. Правила выполнения графических документов на поковки. – М.: Издательство стандартов – с. 17
23. ГОСТ 8479-70. Поковки из конструкционной углеродистой и легированной стали. Общие технические условия. – М.: ИПК Издательство стандартов – с. 9

24. Лаврухина Н. В., Васильева И. М. Экономика предприятия. Учебное пособие. – Калуга: КФ МГТУ, 1998 г.
25. Николаева С. А. Принципы формирования и калькулирования себестоимости. – М.: Аналитик-Пресс, 1999 г.