

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего
образования
«Южно-Уральский государственный университет»
(Национальный исследовательский университет)
Факультет «Заочный»
Кафедра «Материаловедение и физико-химия материалов»

РАБОТА ПРОВЕРЕНА

Рецензент,

_____()
_____ 2020 г.

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Заведующий кафедрой

_____(Винник Д.А.)
_____ 2020г.

Определение причин разрушения
кранового колеса из стали 65Г

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ
ЮУрГУ–22.04.02.2020.322.ПЗ ВКР

Руководитель работы

_____ 2020 г.

Автор проекта

студент группы ПЗ - 343

_____ 2020г.

Нормоконтролер

_____ 2020 г.

Челябинск 2020 г.

Аннотация

И.И. Григорьев Определение причин разрушения
кранового колеса из стали 65Г
– Челябинск: ЮУрГУ, М-343, 2019. – 48 с.,
33 иллюстрации, 3 таблицы, библиографический
список – 15 наим.

В работе приведены общие сведения о крановых колесах, указаны стали для их изготовления, рассмотрены технологии изготовления и виды термической обработки крановых колес. Так же приведены основные причины износа.

В выпускной квалификационной работе произведено определение причин разрушения кранового колеса из стали 65Г.

В работе произведено металлографическое исследование на определение причин разрушения кранового колеса из стали 65Г.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	8
1 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ.....	9
1.1 Виды крановых колес (особенности конструкции).....	9
1.2 Стали, применяемые для крановых колес	13
1.3 Технологии изготовления крановых колес... ..	14
1.4 Термическая обработка крановых колес	16
1.5 Основные причины износа крановых колес.....	19
1.6 Постановка цели и задачи исследования.....	21
2 МАТЕРИАЛ И ОБОРУДОВАНИЕ	22
3 ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ЧАСТЬ	27
3.1 Результаты визуального осмотра излома	27
3.2 Результаты исследования на РЭМ.....	33
3.3 Результаты исследования шлифов после травления	38
3.4 Результаты измерения твердости.....	46
3.5 Результаты проверки химического состава... ..	46
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	47
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	49
ПРИЛОЖЕНИЕ А.....	51
ПРИЛОЖЕНИЕ Б	52

ВВЕДЕНИЕ

Ходовые колеса мостового крана представляют собой элемент конструкции, которые наиболее часто выходят из строя и требуют восстановления и ремонта. Основная причина – износ реборд колес. От этого зависит надежность и безопасность работы крана в целом. Помимо основных, так называемых технологически-эксплуатационных выходов из строя, случаются и нестандартные. Один из таких и описывается в данной работе.

Объектом анализа в данной дипломной работе является крановое колесо. Цель работы - установить причину разрушения кранового колеса из стали 65 Г.

В данной работе объект исследования – крановое колесо разрушилось в процессе поставки заказчику автомобильным транспортом.

1 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

1.1 Виды крановых колес

В зависимости от типа крана, ширины колеи пути и расположения пути на кранах применяются одноребордные, двухребордные или безребордные колеса.

Ходовые колеса кранов, работающих на рельсовых путях, и их грузовых тележек различают по форме обода колеса, по числу реборд (боковых выступов). По форме обода колеса подразделяются на цилиндрические в соответствии с рисунком 1 а, б и конические в соответствии с рисунком 1 в; по числу реборд – на одноребордные в соответствии с рисунком 3, двухребордные в соответствии с рисунком 2 и безребордные.

Колеса, соединенные с механизмом передвижения крана или тележки, называются приводными или ведущими, остальные колеса являются ведомыми.

Приводными обычно выполняется половина всех колес крана. Колеса с коническим ободом находят применение на кранах, передвигающихся по криволинейным участкам пути, а также в качестве ведущих колес мостовых кранов с центральным приводом. В этом случае следует применять подкрановые рельсы типа КР и Р, имеющие скругленную головку в соответствии с рисунком 1 б, в.

Таблица 1. Основные типоразмеры двухребордных крановых колес

Наименование	D, мм	B3, мм	B2, мм	B1, мм	d, мм
Колесо крановое К2Р-200х60	200	50	80	80	50
Колесо крановое К2Р-320х80	320	80	100-120	120	70
Колесо крановое К2Р-400х100	400	100	150	140-150	92-95
Колесо крановое К2Р-500х100	500	100	150-160	150	115
Колесо крановое К2Р-600х100	600	90-100	150	150	130

Колесо крановое К2Р-710х110	710	110	150-200	150-200	130-145
Колесо крановое К2Р-700х150	700	150	200	200	145-190
Колесо крановое К2Р-800х110	800	110- 130	170-220	150-170	155
Колесо крановое К2Р-800х150	800	150	190-220	150-170	155
Колесо крановое К2Р-900х120	900	120	150-220	150-180	165

При наличии колес с коническим ободом уменьшается сопротивление передвижению мостового крана по рельсовым путям, легче происходит выравнивание возникающих перекосов крана. Уклон конической ходовой поверхности колеса принимается равным 1:20.

Ширина поверхности катания двухребордного колеса крана принимается на 30 – 40 мм более ширины головки рельса, а для колес крановых тележек на 15 – 20 мм, чем обеспечивается нормальная проходимость кранов и их тележек при недостаточно точно уложенных рельсах. Диаметры и другие основные размеры крановых колес принимаются по ГОСТ 28648–90[6]; конструкция колес не стандартизирована.

Крановые колеса устанавливаются на подшипниках качения (шариковых или роликовых) с установкой на неподвижной оси или на валах с размещением последних в буксах, прикрепленных болтами к конструкции опорных узлов крана.

При наличии на кране восьми и более колес они могут быть попарно или более собраны в тележку, шарнирно присоединенную к ходовой раме или другой опорной конструкции крана. Шарнирное присоединение ходовой тележки к конструкции крана производится для равномерного распределения нагрузки по всем колесам.

Одноребордные колеса разрешается применять в следующих случаях:

а) Если ширина колеи пути наземных кранов не превышает 4 м и обе нитки пути лежат на одном уровне (портальные и железнодорожные краны). Колеса мостовых кранов должны быть двухребордными независимо от ширины колеи;

б) Если наземные краны передвигаются каждой стороной по двум рельсам при соблюдении условия, что расположение реборд колес на одном рельсе противоположно расположению реборд колес на другом рельсе. Сдвоенные рельсы могут применяться для путей мостовых перегружателей и других кранов с целью уменьшения нагрузки на рельс;

в) У опорных и подвесных грузовых тележек кранов мостового типа;

г) У подвесных тележек, передвигающихся по однорельсовому пути.

При одноробордных колесах у опорных кранов ширина обода за вычетом реборды должна превышать ширину головки рельса не менее чем на 30 мм.

Применение безребордных колес допускается на мостовых кранах и передвижных консольных при наличии устройств, исключающих сход колес с рельсов. Такими устройствами у колес мостовых кранов являются боковые направляющие ролики, устанавливаемые с двух сторон балансирующей крановой тележки на специальных приливах ее корпуса. Эти ролики, смонтированные на подшипниках качения, выполняют ту же роль, что и реборда, но с меньшей потерей на трение.

1.1 Стали, применяемые для изготовления крановых колес

Колеса должны изготавливаться из стали марки 75 или 65Г по ГОСТ 14959. Допускается изготовление колес из стали марки 2 по ГОСТ 10791, а применяемых в механизмах групп режима работы 1М - 3М по ГОСТ 25835, из других марок сталей с механическими характеристиками не ниже чем стали марки 45 по ГОСТ 1050.

Ходовые колеса механизмов передвижения грузоподъемных кранов и их грузовых тележек производятся методом штамповки, свободнойковки или литья из материала: сталь 65Г, 45 (по ГОСТ 14959-79, ГОСТ 1050-88)[12], методом литья из: сталь 35ГЛ, 40Л с дальнейшей механической и термической обработкой рабочих поверхностей диаметрами от 200 мм до 1000 мм.

Наибольшее распространение получила сталь 65Г. Химический состав стали приведен в таблице 2[3].

Таблица 2. Химический состав стали 65Г, масс. % (по ГОСТ 14959-79)

C	Si	Mn	Cr	S	P
0,62-0,70	0,17-0,37	0,90-1,20	Не более 0,25	Не более 0,035	Не более 0,035

Рассмотрим химический состав чуть более подробно. Углерод является главным упрочняющим элементом. Упрочняющий эффект заключается в упрочнения твердым раствором и упрочнения за счет дисперсного выделения карбидов. С увеличением содержания углерода в стали ее прочность увеличивается, но пластичность и свариваемость снижается.

Основное назначение кремния – это удаление частиц водорода, кислорода и азота из состава сплава. Наличие данных газов в составе повышает пористость и количество газовых раковин, что сильно снижает прочность стали.

Марганец, как и кремний, - сильный раскислитель, но помимо этого активно способствует удалению серы. Он положительно влияет на качество поверхности сплава. Также снижает вероятность образования трещин во время горячей обработки давлением. Улучшает протекание процессов сварки иковки.

Хром в целом положительно влияет как на механические, так и на коррозионностойкие характеристики стали. Но его содержание слишком мало, чтобы оказать какое-то серьезное воздействие на сплав.

Фосфор и сера относятся к вредным типам примесей. Их содержание является причиной повышенной хрупкости стали. Также сильно падает значение вязкости и, соответственно, устойчивости к ударным нагрузкам[7].

1.2 Технологии изготовления крановых колес

Изготовление кранового колеса к2р регламентировано действующим в России государственным стандартом 28648-90. Для производства этого изделия применяется регламентируемая ГОСТом высокопрочная пружинно-рессорная сталь марки 65Г.

Поверхность колеса глубиной до 40 мм проходит сорбитизацию (дополнительную закалку), за счет чего прочностные свойства изделия существенно повышаются.

Таблица 3. Механические свойства колес в зависимости от материала и вида заготовки

Вид заготовки	Марка материала	Термообработка, твердость по Бринеллю
Поковка	Сталь 45 ГОСТ 1050-88	Нормализация, НВ 200
	Сталь 50 ГОСТ 1050-88	Закалка, отпуск НВ 240
	Сталь 75 и 65Г ГОСТ 14959-79	Сорбитизация, НВ 330
Прокат	Сталь 75 и 65Г 14959-79	Сорбитизация, НВ 350
	Сталь по ГОСТ 10791-83	Сорбитизация, НВ 320
Отливка	Сталь 55Л ГОСТ 977-88	Отжиг, НВ 190
	Сталь 35ГЛ ГОСТ 977-88	Отжиг, НВ 210

Крановые ходовые колеса изготавливаются из кованных и штампованных заготовок (поковок, штамповок). Ковка является универсальной технологией, хотя и связана с большим объемом механической обработки заготовки.

Литьевые технологии по изготовлению заготовки для колеса кранового применяется в тех случаях, когда ходовые колеса кранов имеют ребра жесткости либо в них присутствуют достаточно сложные посадочные места для сопрягаемых с ними зубчатых венцов. Кроме того, подобная технология используется для изготовления колес с индивидуальными особенностями.

Штампованные заготовки (штамповки) на колеса мостовых кранов наиболее точно соответствуют стандартам. При этом отходов после их механической обработки образуется гораздо меньше, за счет однородности металла и возможности настройки режима резания. Штамповка позволяет изготовить колесо быстрее и качественнее.

1.4 Термообработка крановых колес

Обязательной операцией при изготовлении крановых колес является их термическая обработка. Для повышения твердости рабочих поверхностей колеса (по кругу катания и ребордам) возможно применение нескольких видов термической обработки.

Объемная закалка с отпуском, при которой рабочие поверхности и весь металл колеса приобретают твердость (в зависимости от температуры отпуска) в пределах 270-380 единиц по Бринеллю. Такая твердость затрудняет чистовую механическую обработку отверстия и торцов ступицы.

Закалка рабочих поверхностей токами высокой частоты позволяет получить любую (до 55 HRC) твердость, однако слишком большая твердость рабочих поверхностей колеса вызывает ускоренный износ подкрановых и подтележных рельсов, поэтому после закалки колес ТВЧ применяют их отпуск при $t^0 \text{ C} = 460-490$, в результате твердость металла снижается до 270-380 НВ. Основными недостатками закалки ходовых колес ТВЧ являются: малая (5-7 мм) толщина закаленного слоя. При сравнительно быстром изнашивании рабочих поверхностей ходовых колес также быстро изнашивается закаленный слой, в результате чего обнажается мягкий металл, имеющий низкую износостойкость; наличие резких переходов от закаленного металла к незакаленному, что приводит к выкрашиванию и отслоению закаленных слоев металла. По этим причинам закалка колес крана ТВЧ, как правило, не применяется.

Прерывистая закалка с отпуском или сорбитизация позволяет получить закаленный слой большой толщины (50-70 мм) с постепенным плавным изменением твердости металла в глубь колеса. Твердость рабочих поверхностей получается в пределах 320-400 НВ. Этот вид термической обработки достаточно прост и позволяет увеличить срок службы колес в 8-10 раз по сравнению с незакаленными и в 4-5 раз по сравнению с колесами,

закаленными ТВЧ. По этим причинам сорбитизация, как специальный вид термической обработки, получила широкое применение при производстве и ремонте ходовых колес кранов.

Наиболее высокое качество характерно для колес из стали 65Г с сорбитной микроструктурой закаленного слоя. Рассмотрим более подробно такой вид термической обработки как сорбитизация.

Предварительно обработанные колеса укладывают на выдвижную тележку нагревательной печи. Колеса диаметром 320—840 мм из стали 65Г нагревают в печи до температуры 700—820° С и выдерживают в течение 2 ч. После выкатки тележки из печи два колеса при помощи клещевых захватов кран–балки устанавливают на специальное устройство для прерывистой закалки, общий вид установки сорбитизации показан на рисунке 5.

На раме устанавливается бак, в который наливается закалочная жидкость (вода).

Уровень жидкости задается с таким расчетом, чтобы при установке колеса на ролики и обод погружался на глубину, равную половине его толщины. Приводные ролики получают вращение через вал от электродвигателя. Положение поддерживающих роликов изменяется в зависимости от диаметра закаливаемого колеса при помощи винтов.

При вращении закаливаемого колеса участки обода погружаются в воду периодически, вследствие чего получается процесс прерывистой закалки. Структура металла и глубина закаленного слоя зависят от режима закалки, т. е. от числа оборотов колеса, общей продолжительности закалки и режима отпуска. Для колес диаметром 500–700 мм наилучшие результаты закалки могут быть получены при вращении колеса со скоростью 23–25 об/мин, продолжительности закалки 2,5–5 мин и отпуске при температуре 490–500°С.

Анализ, с помощью электронного микроскопа при увеличении в 12500 раз микроструктуры стали ходовых колес кранов, подвергнутых процессу сорбитизации, показал, что на поверхности катания структура характеризуется преобладанием равномерно распределенных карбидов глобулярной (округлой) формы и меньшим числом карбидов пластинчатой формы. Карбиды округлой формы имеют большую по сравнению с карбидами пластинчатой формы

твердость. По мере увеличения расстояния от поверхности катания колеса в структуре металла увеличивается содержание пластинчатых карбидов, что и вызывает плавное снижение твердости металла[10].

1.5 Основные причины износа крановых колес

Работа крана приводит к постепенному износу и разрушению сборочных единиц и деталей. Процесс, приводящий к постепенному износу крана, называется изнашиванием. Этот процесс является причиной старения крана и выхода его из строя.

Изнашивание, возникающее под воздействием различных факторов (работа под открытым небом, в условиях запыленности, атмосферных осадков и т.п.) при нормальной эксплуатации кранов, называется естественным, а его результат – естественным износом. Изнашивание, протекающее быстро и являющееся результатом плохого ухода, дефектов производства, называется аварийным, а его результат – аварийным износом. По характеру взаимодействия трущихся поверхностей различают механические, молекулярно–механические и коррозионно–механические виды изнашивания кранов.

Износ ходовых колес происходит как на рабочей поверхности катания, так и у реборд. Если одновременная выработка ведущих колес превышает 3— 4% от диаметра или толщина реборд, вследствие износа, стала меньше 15 мм, колеса сдают в ремонт или заменяют. Причинами выработки рабочих поверхностей катания ходовых колес являются:

- Различные диаметры колес крана, приводимых от одного двигателя, в результате чего происходит пробуксовывание и повышенный износ;

- Применение литых колес вместо штампованных;

- Отсутствие или неправильное выполнение термообработки.

Выработка реборд ходовых колес объясняется неточностью укладки кранового пути: наличием поперечного уклона и больших отклонений ширины колеи от номинальных размеров, а также не параллельностью осей колес.

При поперечном уклоне пути кран под действием собственного веса стремится сдвинуться в сторону уклона. При этом реборды постоянно прижаты к рельсам,

что приводит к интенсивному их износу. То же самое происходит и при отклонениях по ширине колеи и не параллельности осей колес, когда при движении крана колеса постоянно прижимаются к рельсам то одной, то другой ребордой.

Ускоренный износ ходовых колес мостовых кранов с отдельным приводом вызывается неправильной регулировкой тормозов механизмов передвижения, что приводит к перекосам его во время пуска и торможения крана и нарушению размеров в устройстве подкрановых путей.

На долговечности ходовых и зубчатых колес отрицательно сказывается пробуксовка, которая возникает при установке на механизме передвижения двигателя завышенной мощности. Это же обстоятельство является причиной повышения уровня динамических нагрузок на механизм передвижения и на кран в целом. Для устранения этого, а также для обеспечения плавного пуска двигателя рекомендуется автоматизация пуска двигателя и двухступенчатое торможение.

1.6 Постановка задачи исследования

Для исследования поступило крановое колесо, которое было разрушено в процессе транспортировки автомобилем от фирмы изготовителя к заказчику.

Фирма изготовитель установила и провела следующую термообработку:

Согласно сопроводительной документации (Приложение А) колесо было изготовлено из кованной заготовки.

Чертеж колеса 54024.06.417 (Ø 710x158) приведен в Приложении Б

Материал: Сталь 65Г ГОСТ 14959-79

Закалка: нагрев 840° , время нагрева и выдержки 3 часа

Охлаждение – вода, температура $20-25^{\circ}$

Время охлаждения 7 минут, в том числе охлаждение спрейером 2 мин, охлаждение спрейером в ванне 5 минут. Глубина погружения 67 мм, подстуживание колес с момента снятия колеса с установки не более 15 минут.

Отпуск – нагрев 380° , время нагрева и выдержки 2 ч. 40 мин., охлаждение на воздухе

2 МАТЕРИАЛ И ОБОРУДОВАНИЕ

На исследование представлены фрагменты разрушившегося двухребордного кранового колеса, изготовленного в соответствии с требованиями ГОСТ 28648-90 по чертежу 54021.06.417 из стали 65Г по ГОСТ 14959-2016. Разрушение произошло в процессе доставки колеса заказчику автомобильным транспортом. Внешний вид фрагментов разрушенного колеса показан на рис.7.

Для проведения металлографического анализа из фрагментов колеса были вырезаны следующие образцы (рис. 7-10);

Образцы 1,4 – с двух противоположных поверхностей катания, примыкающих к поверхности разрушения (шлифы перпендикулярно поверхности катания);

Образцы 2,3 – с поверхности разрушения с центральной части диска колеса (шлифы перпендикулярно поверхности разрушения);

Образец 5 – с поверхности разрушения с диска обода, вблизи обода (шлиф перпендикулярно поверхности разрушения).

Фотографии изготовленных микрошлифов показаны на рис. 12

Металлографические исследования проводились на инвертированном металлографическом микроскопе Axio Observer D1.m. Травление шлифов проводилось в 4% растворе азотной кислоты в этиловом спирте.

Химический состав неметаллических включений определяли на растровом электронном микроскопе JEOL JSM-6460LV с приставкой для микро спектрального анализа Oxford Instruments Inca Energy.

Твердость металла колеса измерялась по методу Бринелля по ГОСТ 9012-59 на твердомере ТБ-5004.

Химический состав металла колеса определяли методом спектрального анализа с помощью спектрометра SPECTROTEST

3 ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ЧАСТЬ

3.1 Результаты визуального осмотра излома колеса

В изломе нельзя отметить единого направления раскрытия трещины, т.е. разрушение могло начаться в разных местах и продвигаться в произвольном направлении (с наиболее ослабленной структурой). Вся поверхность разрушения имеет грубое, неоднородное строение, излом камневидный. Под поверхностью катания излом матовый, однородный.

Результаты исследования нетравленных шлифов

Оценка количества неметаллических включений (НВ) в образцах проводилась по ГОСТ 1778-70. Анализ показал, что во всех образцах присутствуют точечные оксиды и сульфиды 2 балла, а также строчечных сульфидов 1 балла. Кроме того, имеются отдельные грубые сульфидные включения, корундовые скопления, часть НВ располагается в виде пленок по границам зерен (рисунки 13-17). На образце 4 обнаружен конгломерат пленочных включений и микротрещин на глубине порядка 10 мм от поверхности разрушения (см. рисунок 14).

Исследование состава обнаруженных включений дополнительно проводилось на растровом микроскопе на образцах 2 и 4.

3.2 Результаты исследования на РЭМ образца 4

В образце 4 исследовался участок с конгломератом пленочных включений. Были обнаружены НВ двух типов: сульфиды марганца и оксиды железа. Характерный вид неметаллических включений и их состав показаны на рисунках 18-19.

Результаты исследования на РЭМ образца 2

В образце 2, вблизи поверхности разрушения были обнаружены включения следующих видов: сульфиды, оксиды алюминия, оксиды железа, включения с фосфором, и сложные по составу включения. Внешний вид включений и их состав показаны на рисунках 20–25.

3.3 Результаты исследования шлифов после травления

Макроструктура всех образцов сохраняет дендритный характер, видимый невооруженным глазом. В качестве примера на рис. 26 показана макроструктура образца 5.

Микроструктура образца 1 (под поверхностью катания) представлена зернограницными выделениями избыточного феррита (в количестве 1-2 %) и участками перлитно-сорбитной структуры (рисунок 27). Ввиду небольшого количества выделений зернограницного феррита размер первичного аустенитного зерна не оценивался.

Структура образцов 2 и 3 идентична и неоднородна по сечению шлифа. В целом микроструктура представлена избыточным ферритом по границам первичных аустенитных зерен, участками грубопластинчатого и тонкопластинчатого перлита. Балл зерна (8,5-9). Однако распределение зернограницного феррита неравномерно: имеются поля зрения, на которых доля зернограницного феррита достигает 5% (рисунок 28,а), и участки, где его практически нет (рисунок 28,б). Микроструктура образца 2 при больших увеличениях показана на рисунке 29. Обезуглероженного металла как вблизи поверхности разрушения, так и у пленочных оксидных включений не обнаружено (рисунок 30).

Микроструктура образца 4 состоит из перлита и сорбитных участков, а также небольшого количества избыточного феррита по границам зерен. Обезуглероженного металла у пленочных дефектов не обнаружено (рисунок 31).

Микроструктура образца 5 схожа со структурой образцов 2 и 3 – так же неоднородна по количеству избыточного феррита. Имеются поля зрения, на которых доля зернограницного феррита достигает 3% (рисунок 32,а), и участки, где его практически нет (рисунок 32,б). На рисунке 33 показано пленочное включение вблизи поверхности разрушения образца 5.

3.4 Результаты измерения твердости

Твердость материала диска колеса (образцы 2, 3, 5) составляет 250-280 НВ (в зависимости от доли избыточного феррита), обода под поверхностью катания (образцы 1, 4) – 350 НВ.

3.5 Результаты проверки химического состава

Методом спектрального анализа было установлено, что состав стали соответствует ГОСТ 14959-79

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты проведенного исследования показывают, что:

1. По различию в характере излома можно однозначно сказать, что металл диска и обода (поверхности катания) колеса имеют различную структуру и свойства.

2. Характер разрушения металла колеса в дисковой части колеса, наличие дендритной структуры на всех макрошлифах, наличие ликвационных участков в структуре и присутствие грубых неметаллических включений свидетельствует о том, что колесо было изготовлено не из поковки, а из литой заготовки, что не соответствует требованиям рабочего чертежа.

3. Наличие пленочных оксидных включений свидетельствует о пережоге металла. Что наряду с мелким фактическим размером зерна свидетельствует о том, что пережог произошел при гомогенизирующем отжиге литой заготовки. Крупное зерно было устранено последующими термообработками, но хрупкие тугоплавкие пленочные оксидные включения в металле сохранились. При последующих термообработках (при охлаждении) под действием термических и структурных напряжений по ним произошло образование микротрещин. Разрушение изделия произошло при раскрытии этих трещин. Но для этого одних внутренних напряжений мало — по всей видимости было какое-то внешнее воздействие.

4. Отсутствие трещин в процессе нагрева металла подтверждается отсутствием обезуглероженного слоя у поверхностей разрушения.

5. Присутствие в структуре избыточного феррита говорит о недогреве при проведении окончательной термообработки.

6. Присутствие в структуре металла обода колеса сорбита (более дисперсной структурной составляющей, чем перлит в дисковой части) и меньшего количества избыточного феррита свидетельствует о проведении упрочняющей обработки этого участка изделия, заключающейся в его ускоренном охлаждении.

7. По твердости, как материал диска колеса, так и обод соответствуют требованиям чертежа. Твердость поверхности катания соответствует п. 2.4. ГОСТ 28648-90.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1 Материаловедение: учебное пособие / Часть 1 / М.А. Смирнов, К.Ю. Окишев, Х.М. Ибрагимов, Ю.Д. Корягин. – Челябинск, 2005.
- 2 Воскобойников, В.Г. Общая металлургия / В.Г. Воскобойников, В.А. Кудрин, А.М. Якушев. – М.: Металлургия, 2000. – 768с.
- 3 Марочник сталей и сплавов/ под ред. В.Г. Сорокина. - М.: Машиностроение, 1989. -640с.
- 4 Гуляев А.П. Металловедение / А.П. Гуляев. – М.: Металлургия, 1986. – 272с.
- 5 ГОСТ 14959-79 Прокат из рессорно-пружинной углеродистой и легированной стали
- 6 ГОСТ 28648-90 Колеса крановые. Технические условия
- 7 Лахтин Ю.М. Металловедение и термическая обработка металлов / Ю.М. Лахтин. – М.: Металлургия, 1983. – 360 с.
- 8 ГОСТ 1778-80 Межгосударственный стандарт. Сталь. Металлографические методы определения неметаллических включений. Введён 01.01.1972 – М.: Издательство стандартов, 2011 – 32 с.
- 9 ГОСТ 5640-68 Межгосударственный стандарт. Сталь. Металлографический метод оценки микроструктуры листов и ленты. Введён 01.01.1970 – М.: Издательство стандартов, 1988 – 18 с.
- 10 <http://helpiks.org//5-93693.html> – механическая и термическая обработка ходовых колес крана
- 11 <https://ru.wikipedia.org> – электронная библиотека википедия.
- 12 ГОСТ 1050-88 Межгосударственный стандарт. Общие технические условия. Прокат сортовой, калиброванный, со специальной отделкой поверхности из углеродистой качественной конструкционной стали. Введён 01.01.1991 – М.: Издательство стандартов, 1996 – 18 с.
- 13 ГОСТ 25835-83. Краны грузоподъемные. Классификация механизмов по режимам работы (с Изменением N 1)

14 ГОСТ 10791-2011 Колеса цельнокатаные. Технические условия
Могилев В. К. Справочник литейщика\В.К.Могилев —
М.: Машиностроение, 1988. — 272 с