

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Институт машиностроения
(наименование института полностью)

Кафедра «Оборудование и технологии машиностроительного производства»
(наименование)

15.04.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств»
(код и наименование направления подготовки, специальности)

Цифровые процессы и системы автоматизированного машиностроения
(направленность (профиль) / специализация)

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ)

на тему Совершенствование технологии изготовления ступицы колеса задней оси путем
повышения твердости и износостойкости высоконагруженных поверхностей с помощью
поверхностного упрочнения

Обучающийся

Р.С. Сибогатов

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Научный руководитель

к.т.н., доцент В.А. Гуляев

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Содержание

Введение	3
1 Изготовление ступицы из стали 60С2ХФА обычной высадки.....	8
1.1 Анализ разрушения ступицы колеса задней оси	9
1.2 Результаты исследований	11
1.3 Технология изготовления ступицы колеса из прокатной стали	14
2 Изготовление аналога ступицы из стали 60С2ХФА кованой	26
2.1 Особенности электроэрозионного станка Mitsubishi	26
2.2 Планировка станка и технические требования к установке	28
2.3 Технология изготовления ступицы колеса из кованной стали	30
3 Анализ напряженно-деформированного состояния ступицы колеса	44
3.1 Анализ разрушения ступицы колеса задней оси	44
3.2 Определение наилучшего варианта изготовления штамповки ступицы	57
Заключение	67
Список используемых источников	68
Приложение А. Ступица колеса задней оси	73

Введение

Назначение и роль ступицы в ходовой части автомобиля.

«Ступица – одна из основных деталей колеса и подвески автомобиля, она обеспечивает установку колеса и соединение всех его частей в единую конструкцию. Также ступица дает возможность обслуживать и ремонтировать все детали колеса отдельно, без замены остальных компонентов. Если бы колесо было сплошным (неразборным), то при поломке подшипника, диска, барабана или другой детали его пришлось бы менять полностью – со ступицей достаточно заменить лишь дефектную деталь.

Ступица играет важную роль в подвеске всех колес автомобиля, а также в работе тормозов и рулевого управления. Эта деталь подвергается значительным нагрузкам, поэтому большое внимание уделяется ее конструкции, надежности и прочности. Устройство ступицы зависит от ее назначения и типа автомобиля» [10].

При помощи установленной масленки осуществляется смазывание подшипника в упорном кулаке. Ступица переднего колеса вращается на двух роликовых конических подшипниках. В ступице имеется резьбовое отверстие, служащее для смазки подшипников передних колес и закрываемое резьбовой пробкой. Наружная часть ступицы закрывается литой крышкой.

Проклассифицируем поверхности детали. Исполнительные поверхности детали, они служат для передачи крутящего момента. Основными поверхностями будут те, при помощи которых ступица базируется на корпусе наружного шарнира. На вспомогательные поверхности устанавливаются детали: болты, корпус наружного шарнира, подшипники, прокладка, защитный колпак.

Типы и устройство автомобильных ступиц.

«Можно выделить четыре типа ступиц:

- ступицы ведущих управляемых колес;
- ступицы ведомых управляемых колес;

- ступицы ведущих управляемых колес;
- ступицы ведомых управляемых колес.

Все эти ступицы отличаются по конструкции и способам установки.

Ступицы ведущих неуправляемых колес. Эти ступицы устанавливаются на задние ведущие оси грузовых автомобилей и легковых автомобилей с задним приводом. Такая ступица жестко соединяется с полуосью ведущего моста, обычно соединение выполняется с помощью предусмотренного на полуоси фланца» [10].

«В грузовых автомобилях ступица неуправляемых колес устанавливается через подшипники на полу цапфу, которая монтируется на оконечность балки моста. Таким образом, крутящий момент от редуктора через фланец этой полуоси передается на ступицу, а от ступицы уже на колесо. При такой конструкции тормозной барабан крепится к ступице, а тормозной механизм – на тормозной щит, жестко установленный на фланце балки моста или непосредственно на цапфе. В итоге достигается поставленная цель – тормозной механизм всегда статичен, а колесо вместо с тормозным барабаном вращается» [10].

«В легковых автомобилях ступица устроена аналогичным образом, однако роль цапфы обычно выполняет непосредственно балка моста. Зачастую ступица и полуось выполнены заодно, причем на них сразу напрессовывается подшипник со стопорным кольцом и крепится фланец для установки всей этой конструкции на балку моста (такое решение используется на автомобилях ВАЗ «Классика»).

Ступицы ведомых неуправляемых колес. Такие ступицы устанавливаются на задние колеса переднеприводных легковых автомобилей. Ступица устанавливается на цапфу, которая жестко монтируется на балку заднего моста или рычаг задней подвески. Так как колесо в этом случае должно просто вращаться, то цапфа изготавливается в виде цельнометаллического цилиндра переменного диаметра с фланцем, а установка ступицы на цапфу производится через подшипники» [10].

«Ступицы ведущих управляемых колес. Такие ступицы устанавливаются на передних мостах переднеприводных легковых и полноприводных грузовых автомобилей. В целом устройство этих ступиц повторяет устройство ступиц задних ведущих колес, однако в этом случае обеспечивается возможность отклонения колес на тот или иной угол. Это достигается установкой цапфы на шкворне или на шаровом шарнире (или на двух шаровых) – в этом случае весь узел называется поворотным кулаком. А передача крутящего момента на ступицу колеса осуществляется через шарниры равных угловых скоростей (ШРУС).

Ступицы ведомых управляемых колес. Такие ступицы используются для установки передних колес заднеприводных легковых и грузовых автомобилей. Как и в предыдущем случае, ступица ставится на поворотном кулаке, монтируемом к подвеске через шкворень или шаровые шарниры. Так как в такой конструкции передавать крутящий момент не нужно, то цапфа выполняется цельнометаллической, и никаких ШРУС здесь нет» [10].

«Независимо от типа ступицы, ее фиксация на цапфе производится одинаково – с помощью двух гаек и стопорной шайбы на торце цапфы. Стопорение гаек может производиться обычным шплинтом или деформацией гайки – ее накернением и подгибом кромки. Гайки просто фиксируют ступицу на цапфе, при этом ступица устанавливается на подшипники с минимальным усилием. Так что состояние гаек и сила из затяжки играет очень важную роль в нормальной работе всего колеса и безопасности автомобиля» [10].

Конструктивные особенности ступиц грузовых и легковых автомобилей.

«Ступицы легковых и грузовых автомобилей устанавливаются по-разному, поэтому они имеют ряд конструктивных отличий.

Ступицы легковых автомобилей обычно представляют собой короткий полый цилиндр, на внешней поверхности которого имеется фланец под крепление колесного диска и тормозного диска. Внутри ступиц передних ведущих колес выполнены шлицы, а на внешней поверхности – выточки под

подшипники. То есть, такая ступица вставляется в поворотный кулак своей внешней поверхностью. В заднеприводных автомобилях ступица, как указывалось выше, обычно объединяется с полуосью, на которую сразу напрессовываются подшипники.

Ступицы грузовых автомобилей выполняются в виде цилиндров достаточно большого диаметра и длины, на их внешней поверхности также имеется фланец для монтажа тормозного барабана и колес. На внутренней поверхности ступицы выполнены выточки под установку подшипников, также нередко предусмотрены стенки, разделяющие внутреннее пространство ступицы на полости для подшипников. На наружном торце ступицы имеются отверстия с резьбой для крепления фланца полуоси» [10].

«Однако в последние годы все чаще применяются ступицы грузовых автомобилей для бездисковых колес, выполненные в форме звезды. Отличие такой ступицы заключается в наличии пяти «лучей», предназначенных для установки бездискового колеса. Данный тип ступиц наиболее широко применяется на отечественных автомобилях КАМАЗ.

Нужно отметить, что сегодня ступицы грузовых автомобилей зачастую объединяются с тормозными барабанами, что многократно облегчает задачу обслуживания и ремонта тормозных механизмов.

Наконец, в современных ступицах часто предусмотрено место под установку разнообразных датчиков, трубопроводов для подачи сжатого воздуха в колесо и другие устройства» [10].

Вопросы обслуживания и ремонта ступиц.

«При эксплуатации автомобиля ступицы и связанные с ними детали – главным образом подшипники – подвергаются износу, также могут возникать различные дефекты и поломки. Поэтому периодически необходимо производить замену ступичных подшипников, сальников, а иногда и самих ступиц. О необходимости сделать это говорит повышенный люфт (проверяется на поднятом колесе) и стуки во время движения автомобиля.

Роликовые ступичные подшипники нуждаются в периодической регулировке, которая производится с помощью гаек. В легковых автомобилях со сдвоенными радиально-упорными подшипниками такой регулировки проводить не нужно, эти подшипники необслуживаемые. Если же требуется замена подшипников, то она может быть произведена только с использованием специальных приспособлений для снятия и запрессовки.

В целом же ступица колеса отличается надежностью и долговечностью, и при регулярном обслуживании и бережной эксплуатации автомобиля не доставляет проблем автовладельцу» [10].

Тем не менее, целью настоящей работы является повышение твердости и износостойкости высоконагруженных поверхностей ступицы колеса из стали 60С2ХФА путем поверхностного упрочнения.

1 Изготовление ступицы из стали 60С2ХФА обычной высадки

Рассмотрим выполнение ступицы из стали 60С2ХФА ГОСТ 14959-79 диаметром 210 мм ГОСТ 2590-2006. Сталь отливали прокатом горячим через экструдер данного диаметра, методом вытяжения [15].

Данная сталь является конструкционной рессорно-пружинной. Используется в ответственных и высоко нагруженных пружинах и рессорах, изготавливаемых из круглой калиброванной стали [33]. Ее механические свойства приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Механические свойства стали 60С2ХФА

ГОСТ	Состояние поставки, режим термообработки	Сечение, мм	$\sigma_{0,2}$ (МПа)	σ_B (МПа)	δ_5 (%)	Ψ %	KCU (Дж/см ²)	НВ, не более
ГОСТ 14959-79	Сталь категорий: 3, 3А, 3Б, 3В, 3Г, 4, 4А, 4Б. Закалка 870°С, масло. Отпуск 470°С.	Образцы	1470	1670	6	25	-	-
–	Закалка 850°С, масло. Отпуск 410°С, масло	-	1670	1860	5	-	-	-
	Изотермическая закалка с выдержкой при 290°С 1 ч. Отпуск 325°С	- 60	1780 1810	1960 1960	11 8	39 38	75 67	- Поверхности 45-51
	Закалка 880°С, масло. Отпуск 450-550°С	80	1540	1640	10	35	44	Поверхности 45-49

Механические свойства стали могут меняться в зависимости от температуры отпуска, что показано в таблице 2.

Таблица 2 – Механические свойства стали 60С2ХФА в зависимости от температуры отпуска

Температура отпуска, °С	$\sigma_{0,2}$ (МПа)	σ_B (МПа)	δ_5 (%)	ψ %	KCU (Дж/см ²)	HRC
Закалка 880-890°С, масло						
200	-	-	-	-	30	59
250	2190	2340	6	20	30	58
300	-	2340	6	22	32	58
350	2160	2240	-	-	-	57
400	1870	1930	7	29	37	53
450	1690	1810	8	35	39	49
500	1540	1640	10	35	44	46
550	1440	1530	10	37	47	43

Недостатком данной стали является сложность её прокаливания, при увеличении глубины закаленного слоя падает его твердость, зависимость твердости от глубины прокаливаемого слоя [2] приведена в таблице 3.

Таблица 3 – Прокаливаемость стали 60С2ХФА

Расстояние от торца, мм										Примечание
3	10	15	20	25	30	40	45	50	55	Закалка 880°С
63,5	63,5	63,5	63	56	54,5	44,5	40,5	37	36	Твердость для полос прокаливаемости, HRC

1.1 Анализ разрушения ступицы колеса задней оси

В результате анализа разрушения ступицы колеса задней оси был рассмотрен метод упрочнения ступицы колеса.

Данная технология из стали 60С2ХФА ГОСТ 14959-79 диаметром 210 мм ГОСТ 2590-2006 не дала нужного результата стойкости материала к нагрузкам. Пористость сердцевины при проверке катания металла на начальной стадии литья, выявила трещины при термообработке [1].

В начале было проведено исследование физико-механических свойств образца, закаленного методом объемной закалки. По результатам исследования была сформирована таблица 4 с приведенными в ней результатами.

Таблица 4 – Результаты исследований физико-механических свойств образца

Номер образца	Направление волокна	σ_b , (МПа)	$\sigma_{0,2}$, (МПа)	δ , %
ТТ чертежа, не менее		-	1470	6
А-10	Продольные	1767	1555	3,7
А-12		1710	1548	1
А-14		1737	1545	45
Б-10	Продольные	-	-	-
Б-12		1664	1535	1,9
Б-14		1683	1535	1,8
В-10	Продольные	1768	1542	5,1
В-12		1752	1549	2,5
В-14		1771	1542	4

Полученные результаты не соответствуют техническим требованиям чертежа, так как относительное удлинение после разрыве после закалки составляет от 1 до 5,1 % при необходимых минимум 6 %.

Следовательно, данный метод упрочнения ступицы колеса из стали 60С2ХФА для применения не пригоден [27].

Было принято решение провести анализ оставшихся прутков данного материала (металлопрокат диаметром 210 мм, сталь 60С2ХФА, прутки №13 и №14)

Виды проведенного контроля:

- контроль макроструктуры металлопроката;
- химический анализ металлопроката;
- анализ механических свойств.

1.2 Результаты исследований

Химический анализ металла прутков №13 и №14.

По содержанию химических элементов оба прутка соответствуют стали марки 60С2ХФА согласно требованиям ГОСТ 14959-2016.

Твердость металла в состоянии поставки составляет:

- пруток №13 – 235 НВ;
- пруток №14 – 225 НВ.

Оценка макроструктуры металлопроката.

Для контроля отобрали поперечные пробы (согласно ГОСТ 7564-97 от одного из торцов прутков), и продольные пробы (в осевой зоне прутков, в пределах диаметра 60 мм) [41]. Подготовка проб и контроль макроструктуры металла проведены по методикам ГОСТ 10243-75. Классификацию и оценку качества макроструктуры проводили по ГОСТ 10243-75 и ГОСТ 14959-2016.

В макроструктуре темплетов, вырезанных в поперечном сечении прутков №13 и №14 выявлено следующее:

- в плоскости темплета №13 точечная неоднородность 1-го балла;
- в плоскости темплета №14 точечная неоднородность – 2-го балла, и единичные внутренние разрывы металла.

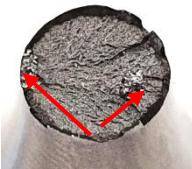
Полученные значения точечной неоднородности допустимы для стали данного класса (высококачественная) согласно ГОСТ 14959-2016 (точечная неоднородность не выше 2-го балла). Внутренние разрывы не допустимы. В макроструктуре темплетов, вырезанных в продольном сечении прутков №13 и №14, установлено наличие внутренних разрывов в прокате в виде многочисленных извилистых поперечных надрывов [44], расположенных цепочкой вдоль оси заготовки (классификация согласно ГОСТ 10243-75).

Контроль механических свойств металлопроката.

Образцы для механических испытаний вырезаны из центральной части прутков (на диаметре примерно 60 мм от оси), изготовлены и испытаны в соответствии с требованиями ГОСТ 1497-84 после термообработки (закалки с

отпуском согласно ГОСТ 14959, твердость указана в таблице 5). По результатам механических испытаний установлено, что образцы прутков №13 и №14 не соответствуют требованиям ГОСТ 14959-2016. Фотографии изломов показаны на рисунках 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 и 8. Это образцы – 13.1, 13.2, 13.3, 13.4, 14.1, 14.2, 14.3 и 14.4. Стоит отметить, что относительное удлинение образцов по значению близко или равно 0. В изломах образцов после разрыва выявлены участки с грубой кристаллической структурой поверхности разрушения, что подтверждает наличие многочисленных поперечных надрывов в прутках, которые попали в сечение образцов при отборе проб [1, 33, 38] (фотографии изломов представлены в таблице 5, диаметр образцов в зоне разрыва составляет 6 мм).

Таблица 5 – Результаты механических испытаний образцов прутков №13 и №14

Наименование образца	Средняя твердость, HRC	Предел прочности, σ , МПа	Условный предел текучести $\sigma_{0,2}$, МПа	Относительное удлинение, %	Фотография излома
пруток 13 №1	45,5	1435	1381	0,7	 Рисунок 1 – Образец 13.1
пруток 13 №2	45,5	1497	1497	0	 Рисунок 2 – Образец 13.2
пруток 13 №3	48	1090	1090	0,6	 Рисунок 3 – Образец 13.3

Продолжение таблицы 5

Наименование образца	Средняя твердость, HRC	Предел прочности, σ , МПа	Условный предел текучести $\sigma_{0,2}$, МПа	Относительное удлинение, %	Фотография излома
пруток 13 №4	46	1613	1540	0,8	 Рисунок 4 – Образец 13.4
пруток 14 №1*	45,5	1564	1449	11,2	 Рисунок 5 – Образец 14.1
пруток 14 №2*	45	1287	1287	0	 Рисунок 6 – Образец 14.2
пруток 14 №3*	45,5	1199	1199	0	 Рисунок 7 – Образец 14.3
пруток 14 №4*	44	1558	1439	7	 Рисунок 8 – Образец 14.4
ГОСТ 14959-2016	47	1670	1470	6,0	—

*По результатам механических испытаний образцов прутка №13, при анализе некондиционных результатов, для снижения твердости образцов и с целью повышения предела текучести и относительного удлинения, принято

решение провести дополнительный отпуск на неиспытанных образцах прутка №14. В изломах образцов участки с камневидной структурой имеют темный цвет, то есть окислены, что свидетельствует о присутствии выявленных дефектов в самом прутке [12, 42], таблица 5, голубые стрелки на фотографиях изломов [1].

1.3 Технология изготовления ступицы колеса из прокатной стали

Приведем последовательность операций для изготовления ступицы колеса из прокатной стали. В качестве исходных данных имеем чертеж детали (Приложение А, рисунок А.1), наименование детали – «ступица колеса», материал заготовки – круг $\frac{210 \text{ ГОСТ } 2590-2006}{60\text{C2XФА ГОСТ } 14959-79}$, масса детали – 4,42 кг., габариты детали – диаметр 183 мм X 91,5 мм, масса заготовки – 26,59 кг., габариты заготовки – диаметр 210 мм X 100 мм, заготовка – отливка. Маршрут изделия: (заготовительный участок 213041) → (литейный цех 27306) → (производственный участок 27616-1) → (механический цех 27304) → (производственный участок 212520) → (механический цех 27304) → (отдел технического контроля (ОТК) 212525) → (производственный участок 27306) → (отдел технического контроля (ОТК) 212515) → (механический цех 27304) → (отдел технического контроля (ОТК) 212520) → (отдел технического контроля (ОТК) 212515) → (производственный участок 27612) → (производственный участок ИЦПА) → (производственный участок 212520) → (механический цех 27304) → (производственный участок 212525) → (механический цех 27304) → (производственный участок 27612).

Операция 1 Заготовительная – заготовительный участок (213041), оборудование – пила ленточная.

Переход 1.1 – Отрезать одну заготовку длиной 100+5 мм из стали 60C2XФА диаметром 210 мм и одну заготовку для образцов длиной 135+5 мм [19].

Переход 1.2 – Маркировать заказ и номер сопроводительной на заготовках маркером. Передать заготовки деталей и образец в механический цех [17].

Операция 2 Слесарная – верстак слесарный.

Переход 2.1 – Снять заусенцы, притупить острые кромки.

Операция 3 Пескоструйная (при необходимости) – литейный цех (27306).

Операция 4 Складирование – производственный участок (27616-1).

Операция 5 Транспортная – механический цех (27304).

Переход 5.1 – Получить заготовку для образцов (длина равна 135 мм) на межоперационном складе.

Операция 6 Токарная (для заготовок образцов, эскиз в таблице 6) – станок токарный.

Переход 6.1 – Торцевать образец начисто [23].

Переход 6.2 – Переустановить.

Переход 6.3 – Торцевать деталь в размер $130 \pm 0,5$ мм.

Переход 6.4 – Центровать и сверлить отверстие диаметром $10 \div 20$ мм на глубину не менее 12 мм.

Переход 6.5 – Расточить отверстие до диаметра $25 \pm 0,5$ мм на глубину не менее 10 мм.

Переход 6.6 – Точить поверхность диаметром $110 \pm 0,5$ мм на длину не менее 10 мм.

Переход 6.7 – Притупить острые кромки [34].

Операция 7 Разметочная (для образцов) – Стол разметочный [19].

Переход 7.1 – Разметить деталь согласно эскиза 2 (таблица 6).

Операция 8 Контрольная (для образцов) – ОТК (212520).

Операция 9 Ленточно-отрезная (для образцов) – оборудование пила ленточная.

Переход 9.1 – Вырезать восемь заготовок длиной 130 мм и две заготовки длиной 120 мм по разметке согласно эскиза 2 (таблица 6).

Операция 10 Токарная (для образцов) – станок токарный.

Переход 10.1 – Установить в 4-х кулачковый патрон, точить диаметр $15 \pm 0,2$ мм на длину 20...30 мм.

Переход 10.2 – Повторить переход 10.1 для оставшихся деталей.

Операция 11 Токарная (для образцов) – станок токарный.

Переход 11.1 – Установить в 3х кулачковый патрон, база – поверхность диаметром 15 мм.

Переход 11.2 – Точить поверхность диаметром $15 \pm 0,2$ мм на проход (до диаметра 15 мм) [17].

Переход 11.3 – Повторить переходы 11.1 и 11.2 для оставшихся деталей.

Операция 12 Маркировочная (для образцов).

Переход 12.1 – Маркировать лазером на поверхности диаметром 15 мм образцов с двух сторон ближе к торцу номер заказа, номер сопроводительной и порядковый номер образца, образцам длиной 130 мм присвоить №1-8; длиной 120 мм – №9 и 10.

Операция 13 Контрольная (для образцов) – ОТК (212520).

Операция 14 Транспортная – механический цех (27304) [18].

Переход 14.1 – Получить заготовки деталей на межоперационном складе [22].

Операция 15 Токарная – станок токарный.

Переход 15.1 – Эскиз 3 (таблица 6, рисунок 9).

Переход 15.2 – Установить в патрон, торцевать начисто [19].

Переход 15.3 – Центровать и сверлить на проход отверстие диаметром $25 \pm 0,5$ мм.

Переход 15.4 – Точить диаметр $195-0,5$ мм на длину не менее 48 мм.

Переход 15.5 – Точить поверхность диаметром $130-0,5$ мм на длину $22 \pm 0,5$ мм, выдерживая R3...5.

Переход 15.6 – Притупить острые кромки.

Переход 15.7 – Переустановить, база – поверхность диаметром 130 мм. Подрезать торец в размер $95-0,5$ мм.

Переход 15.8 – Точить поверхность диаметром 80-0,5 мм на длину 49+0,5 мм, выдерживая R3...5.

Переход 15.9 – Притупить острые кромки.

Операция 16 – Токарно-фрезерная ЧПУ – станок токарно-фрезерный с ЧПУ.

Переход 16.1 – Токарную обработку детали проводить согласно эскиза (таблица 6). Фрезерную обработку детали проводить окончательно согласно чертежа. Выдержать позиционный допуск 0,1 мм (таблица 6).

Операция 17 Слесарная – верстак слесарный.

Переход 17.1 – Снять заусенцы, притупить острые кромки.

Операция 18 Маркировочная [20].

Переход 18.1 – Маркировать лазерным способом порядковый номер детали и обозначение изделия согласно пункта восемь технических требований чертежа.

Операция 19 Контрольная – ОТК (212525).

Операция 20 Термообработка – литейный цех (27306).

Переход 20.1 – Закалить 43-47 HRC одновременно с образцами. Образцы распределить равномерно между деталями [18].

Операция 21 Пескоструйная.

Переход 21.1 – Удалить окалину.

Операция 22 Контрольная – ОТК (212515)

Операция 23 Транспортная – производственный участок (27306).

Переход 23.1 – Передать образцы длиной 130 мм в механический цех. Передать образцы длиной 120 мм.

Операция 24 Токарная ЧПУ (для образцов длиной 130 мм) – станок токарный с ЧПУ.

Переход 24.1 – Эскиз 4 (таблица 6, рисунок 10).

Переход 24.2 – Точить образцы согласно эскизу [17].

Переход 24.3 – Перенести маркировку с технологического хвостовика на образец (маркировку выполнять перманентным маркером).

Переход 24.4 – Передать на следующую операцию вместе с технологическими хвостовиками.

Операция 25 Шлифовальная – станок шлифовальный.

Переход 25.1 – Шлифовать поверхность диаметром 6,4 мм до диаметра $6\pm 0,1$ мм и прилегающие радиуса $R25\pm 0,1$ мм с шероховатостью не хуже Ra 0,63.

Операция 26 Маркировочная [20].

Переход 26.1 – Маркировать лазером на поверхности диаметром 10 мм образцов с двух сторон ближе к торцу номер заказа, номер сопроводительной и порядковый номер образца.

Операция 27 Контрольная – ОТК (2120520).

Операция 28 Контрольная – ОТК (2120515).

Переход 28.1 – Контроль твердости. Проводить согласно пункта один чертежа на приспособлении и на технологических хвостовиках с операции 24.

Переход 28.2 – Передать образцы на следующую операцию.

Операция 29 Транспортная [21].

Переход 29.1 – Передать образцы в ИЦПА.

Операция 30 Испытательная – ИЦПА [18].

Переход 30.1 – Провести контроль механических свойств на образцах согласно пункта семь технических требований чертежа. Результаты передать в «управление «Качество продукта».

Операция 31 Контрольная – ОТК (2120520).

Переход 31.1 – Контролировать соответствие результатов испытаний пункту семь технических требований чертежа.

Операция 32 Слесарная – верстак слесарный.

Операция 33 Электроэрозионная – станок MV4800.

Переход 33.1 – Установить на оправку. Нарезать зуб выдерживая требования чертежа.

Переход 33.2 – Нанести смазку-спрей bTool 6000 на обработанные поверхности [21].

Операция 34 Круглошлифовальная – станок шлифовальный.

Переход 34.1 – Установить деталь на оправку. Шлифовать поверхность диаметром $55\text{p}6\begin{smallmatrix} +0,051 \\ +0,032 \end{smallmatrix}$ мм, R2,9-0,2 мм и прилегающий торец выдерживая размер $50+0,3$ мм (таблица 6).

Переход 34.2 – Шлифовать поверхность диаметром 117-0,05 мм, R3 и прилегающий торец выдерживая размер $12\begin{smallmatrix} -0,05 \\ -0,22 \end{smallmatrix}$ мм (таблица 6).

Переход 34.3 – Нанести смазку-спрей bTool 6000 на обработанные поверхности.

Операция 35 Контрольная – ОТК (212525) [17].

Операция 36 Моечная – производственный участок (27304).

Переход 36.1 – Пассивировать согласно ТИ-1.

Переход 36.2 – Нанести смазку-спрей bTool 6000 на деталь [18].

Операция 37 – Транспортная – производственный участок (27612).

Более детально для исходных данных приведем операционно-маршрутную карту в таблице 6. В качестве исходных данных имеем:

- чертеж детали, наименование детали – «ступица колеса»,
- материал заготовки – круг $\frac{210 \text{ ГОСТ } 2590-2006}{60\text{C2XФА ГОСТ } 14959-79}$,
- масса детали – 4,42 кг.,
- габариты детали – диаметр 183 мм X 91,5 мм,
- масса заготовки – 26,59 кг.,
- габариты заготовки – диаметр 210 мм X 100 мм,
- заготовка – отливка.

Приведем последовательность операций для изготовления ступицы колеса из прокатной стали [22]. В таблице 6 указаны все необходимые технические и технологические параметры для реализации каждой из технологических операций технологического процесса изготовления ступицы заднего колеса.

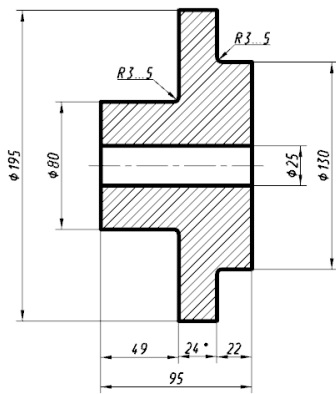
Таблица 6 – Операционно-маршрутная карта (прокатная сталь)

Изделие	–				Заказ №	–
Деталь	Чертеж	–		–	–	–
	Наименование	Ступица колеса			Количество в заказе	
	Материал	210 ГОСТ 2590 – 2006 Круг 60С2ХФА ГОСТ 14959 – 79			–	
	Масса детали	4,42 кг	Габариты детали	∅183Х91,5 мм	Количество в 1 заготовке	
	Масса заготовки	26,59 кг	Габариты заготовки	∅210Х100 мм	1	
Отливка	Фактический материал	–			Плавка №	
Маршрут изделия: (213041) → (27306) → (27616-1) → (27304) → (212520) → (27304) → (212525) → (27306) → (212515) → (27304) → (212520) → (212515) → (27612) → (ИЦПА) → (212520) → (27304) → (212525) → (27304) → (27612)						
Номер операции	Операция		Цех/станок/исполнитель	Дата/подпись исполнителя	Разряд/нормы/расценка	
–	–		Заготовительный участок (273041)	–	–	
1	Заготовительная		Пила ленточная	–	–	
1.1	Отрезать 1 заготовку L=100+5мм из стали 60С2ХФА ∅210 и 1 заготовку для образцов L=135+5мм		–	–	–	
1.2	Маркировать заказ и номер сопроводительной на заготовках маркером		–	–	–	
–	Передать заготовки деталей и образец в механический цех		–	–	–	
–	–		–	–	–	
2	Слесарная		Верстак слесарный	–	–	
2.1	Снять заусенцы, притупить острые кромки		–	–	–	
–	–		–	–	–	
3	Пескоструйная (при необходимости)		Литейный цех (27306)	–	–	
–	–		–	–	–	
4	Складирование		27616-1	–	–	
–	–		–	–	–	
–	–		Механический цех (27304)	–	–	
5	Транспортная		27304	–	–	
5.1	Получить заготовку ДЛЯ ОБРАЗЦОВ (L=135) на межоперационном складе		–	–	–	
–	–		–	–	–	
6	Токарная (для заготовок образцов, эскиз 1)		Станок токарный	–	–	
6.1	Торцевать образец как чисто		–	–	–	
6.2	Переустановить		–	–	–	

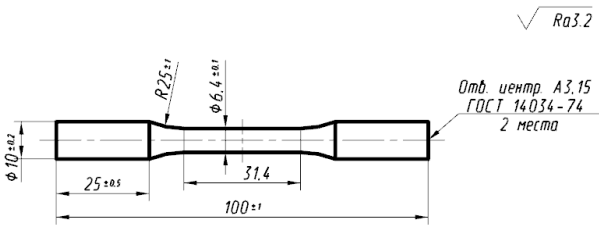
Продолжение таблицы 6

Номер операции	Операция	Цех/станок/исполнитель	Дата/подпись исполнителя	Разряд/нормы/расценка
6.3	Торцевать деталь в р-р 130±0,5мм	—	—	—
6.4	Центровать и сверлить отв. >10÷20мм на глубину не менее 12мм	—	—	—
6.5	Расточить отверстие до >25±0,5мм на глубину не менее 10мм	—	—	—
6.6	Точить >110±0,5мм на длину не менее 10мм	—	—	—
6.7	Притупить острые кромки	—	—	—
—	—	—	—	—
7	Разметочная (для образцов)	Стол разметочный	—	—
7.1	Разметить деталь согласно эскиза 2	—	—	—
—	—	—	—	—
8	Контрольная (для образцов)	ОТК (212520)	—	—
—	—	Заготовительный участок (273041)	—	—
9	Ленточно-отрезная (для образцов)	Пила ленточная	—	—
9.1	Вырезать 8 заготовок L130мм и 2 заготовки L120мм по разметке согласно эскиза 2	—	—	—
—	—	—	—	—
10	Токарная (для образцов)	Станок токарный	—	—
10.1	Установить в 4х кулачковый патрон, точить >15±0,2мм на длину 20...30мм	—	—	—
10.2	Повторить переход 10.1 для оставшихся деталей	—	—	—
—	—	—	—	—
11	Токарная (для образцов)	Станок токарный	—	—
11.1	Установить в 3х кулачковый патрон, база – >15мм	—	—	—
11.2	Точить >15±0,2мм на проход (до >15мм)	—	—	—
11.3	Повторить переходы 11.1 и 11.2 для оставшихся деталей	—	—	—
—	—	—	—	—
12	Маркировочная (для образцов)	—	—	—
12.1	Маркировать лазером на >15 образцов с 2х сторон ближе к торцу номер заказа, номер сопроводительной и порядковый номер образца, образцам L130 присвоить №1-8; L120 - №9 и 10	—	—	—
—	—	—	—	—
13	Контрольная (для образцов)	ОТК (212520)	—	—
—	—	—	—	—
14	Транспортная	27304	—	—
14.1	Получить заготовки ДЕТАЛЕЙ на межоперационном складе	—	—	—

Продолжение таблицы 6

Номер операции	Операция	Цех/станок/исполнитель	Дата/подпись исполнителя	Разряд/нормы/расценка
15	Токарная	Станок токарный	—	—
15.1	 Рисунок 9 – Эскиз 3	—	—	—
15.2	Установить в патрон, торцевать как чисто	—	—	—
15.3	Центровать и сверлить на проход отв. $\varnothing 25+0,5\text{мм}$	—	—	—
15.4	Точить $\varnothing 195-0,5\text{мм}$ на длину не менее 48мм	—	—	—
15.5	Точить $\varnothing 130-0,5\text{мм}$ на длину $22+0,5\text{мм}$ выдерживая $R3...5$	—	—	—
15.6	Притупить острые кромки	—	—	—
15.7	Переустановить, база - $\varnothing 130\text{мм}$. Подрезать торец в р-р $95-0,5\text{мм}$	—	—	—
15.8	Точить $\varnothing 80-0,5\text{мм}$ на длину $49+0,5\text{мм}$ выдерживая $R3...5$	—	—	—
15.9	Притупить острые кромки.	—	—	—
—	—	—	—	—
16	Токарно-фрезерная ЧПУ	—	—	—
16.1	Токарную обработку детали проводить согласно эскиза «Ступица (эскиз для токарной операции)» Фрезерную обработку детали проводить окончательно согласно чертежа. Выдержать позиционный допуск 0,1мм (см. Е на эскизе)	—	—	—
—	—	—	—	—
17	Слесарная	Верстак слесарный	—	—
17.1	Снять заусенцы, притупить острые кромки	—	—	—
—	—	—	—	—
18	Маркировочная	—	—	—
18.1	Маркировать лазерным способом порядковый номер детали и обозначение изделия согласно п. 8 ТТ чертежа.	—	—	—
—	—	—	—	—
19	Контрольная	ОТК (212525)	—	—

Продолжение таблицы 6

Номер операции	Операция	Цех/станок/исполнитель	Дата/подпись исполнителя	Разряд/нормы/расценка
20	Термообработка	Литейный цех (27306)	—	—
20.1	Закалить 43-47 HRC одновременно с образцами. Образцы распределить равномерно между деталями. Заполнить таблицу:	—	—	—
	№ садки			
	№ образцов			
—	—	—	—	—
21	Пескоструйная	—	—	—
21.1	Удалить окалину	—	—	—
—	—	—	—	—
22	Контрольная	ОТК (212515)	—	—
—	—	—	—	—
23	Транспортная.	27306	—	—
23.1	Передать образцы L130 в механический цех. Передать образцы L120	—	—	—
—	—	—	—	—
—	—	Механический цех (27304)	—	—
24	Токарная ЧПУ (для образцов L130)	—	—	—
24.1	 Рисунок 10 – Эскиз 4	—	—	—
24.2	Точить образцы согласно эскизу	—	—	—
24.3	Перенести маркировку с технологического хвостовика на образец (Маркировку выполнять перманентным маркером)	—	—	—
24.4	Передать на следующую операцию вместе с технологическими хвостовиками	—	—	—
—	—	—	—	—
25	Шлифовальная	Schtuder	—	—
25.1	Шлифовать >6,4 до >6±0,1 и прилегающие радиуса R25±0,1мм с шероховатостью не хуже Ra0,63	—	—	—
—	—	—	—	—
26	Маркировочная	—	—	—
26.1	Маркировать лазером на >10 образцов с 2х сторон ближе к торцу номер заказа, номер сопроводительной и порядковый номер образца	—	—	—
—	—	—	—	—
27	Контрольная	ОТК (2120520)	—	—

Продолжение таблицы 6

Номер операции	Операция	Цех/станок/исполнитель	Дата/подпись исполнителя	Разряд/нормы/расценка
28	Контрольная	ОТК (212515)	—	—
28.1	Контроль твердости. Проводить согласно п. 1 чертежа на приспособлении и на технологических хвостовиках с оп. 24	—	—	—
28.2	Передать образцы на следующую операцию	—	—	—
—	—	—	—	—
29	Транспортная	27612	—	—
29.1	Передать образцы в ИЦПА	—	—	—
—	—	—	—	—
30	Испытательная	ИЦПА	—	—
30.1	Провести контроль механических свойств на образцах согласно п. 7 ТТ чертежа. Результаты передать в «управление «Качество продукта»	—	—	—
—	—	—	—	—
31	Контрольная	ОТК (212520)	—	—
31.1	Контролировать соответствие результатов испытаний пункту 7 ТТ чертежа	—	—	—
—	—	Механический цех (27304)	—	—
32	Слесарная	Верстак слесарный	—	—
32.1	Удалить окалину в отверстии $\varnothing 28\text{мм}$	—	—	—
—	—	—	—	—
33	Электроэрозионная	Mitsubishi MV4800	—	—
33.1	Установить на оправку. Нарезать зуб выдерживая требования чертежа	—	—	—
33.2	Нанести смазку-спрей bTool 6000 на обработанные поверхности	—	—	—
—	—	—	—	—
34	Круглошлифовальная	Станок шлифовальный	—	—
34.1	Установить деталь на оправку. Шлифовать $\varnothing 55\text{p}6^{+0,051}_{+0,032}\text{мм}$, R2,9 $_{-0,2}\text{мм}$ и прилегающий торец выдерживая p-p 50 $^{+0,3}\text{мм}$ (см эскиз, переход 1)	—	—	—
34.2	Шлифовать $\varnothing 117_{-0,05}\text{мм}$, R3 и прилегающий торец выдерживая p-p 12 $^{-0,05}_{-0,22}\text{мм}$ (см эскиз, переход 2)	—	—	—
34.3	Нанести смазку-спрей bTool 6000 на обработанные поверхности	—	—	—
—	—	—	—	—
35	Контрольная	ОТК (212525)	—	—

Продолжение таблицы 6

Номер операции	Операция	Цех/станок/исполнитель	Дата/подпись исполнителя	Разряд/нормы/расценка
36	Моечная	27304	–	–
36.1	Пассивировать согласно ТИ-1	–	–	–
36.2	Нанести смазку-спрей bTool 6000 на деталь	–	–	–
–	–	–	–	–
37	Транспортная.	27612	–	–
–	–	–	–	–
Технолог	–	–	/	/ 2023
Проверил	–	–	/	/ 2023
Нормировщик	–	–	/	/ 2023

По результатам исследований в разделе можно сделать следующие выводы:

- по химическому составу материал прутков №13 и №14 соответствует требованиям ГОСТ 14959-2016;
- по макроструктуре и уровню механических свойств оба прутка не соответствуют требованиям ГОСТ 14959-2016;
- низкие показатели прочности и пластичности связаны с наличием многочисленных поперечных надрывов – внутренних разрывов в металле прутков №13 и №14;
- внутренние разрывы являются дефектами металлургического производства.

2 Изготовление аналога ступицы из стали 60С2ХФА кованой

Было принято решение изготовить из кованого материала, где диаметр уковывался до нужного размера при этом убирая дефект пористости сердцевины и закалка методом ТВЧ дает лучшие характеристики детали [14].

Добавили следующие операции: закалку ТВЧ, электроэрозионную проволочно-вырезную (таблица 8).

2.1 Особенности электроэрозионного станка Mitsubishi

Электроэрозионный проволочно-вырезной станок повышенной точности с бесконтактной системой прямого цилиндрического линейного привода (SHAFTMOTOR GMC Hillstone Co., Ltd. Япония) по осям X/Y и замкнутой системой обратной связи с использованием оптических датчиков положения Mitutoyo, высокоскоростных сервоусилителей Mitsubishi и оптической связью между всеми компонентами.

Конструкция станка, с неподвижным рабочим столом, спроектирована при помощи САЕ-системы (статический, динамический и термический анализ) с оптимальным расположением ребер жесткости и приливов и расположением приводов в центрах тяжести [4, 47]. Станина отлита из высокопрочного мелкозернистого чугуна.

Станок имеет увеличенное перемещение по оси Z до 510 мм. Рабочая ванна с размерами 1300x1070 мм, с замкнутым 4-секционным рабочим столом, позволяет установить заготовку с размерами 1250x1020x505 мм и весом до 3 тонн и обрабатывать ее в погружном состоянии [50]. Также возможна обработка узких деталей длиной до 1600 мм, установленной по диагонали рабочей ванны, с зоной обработки до 1000 мм. При конической обработке, зона перемещения верхней направляющей проволоки может находиться в пределах 990x750 мм, что существенно расширяет диапазон применения.

Автоматическая лифтовая рабочая дверь имеет большое окно для визуального контроля обработки. Пульт дистанционного контроля с 3,5-дюймовым сенсорным ЖК-дисплеем позволяет оператору выполнять управление станком без обращения к клавиатуре и кнопкам ЧПУ, что значительно облегчает работу на крупногабаритном станке.

Интегрированная в корпус станка система для больших катушек, разрешает использовать катушки весом от 15 до 25 кг, любого стандарта. Комбинация больших катушек, уникальной системы автоматической заправки и перезаправки проволоки, а также рубщика отработанной проволоки, дает возможность автономной работы станка до 110 часов (проволока диаметром 0,25 мм).

Встроенный модуль программирования 2D-CAM позволяет легко создавать любые геометрические контуры для обработки, а также импортировать файлы в форматах DXF и IGES и конвертировать NC-программы, созданные для станков других производителей.

Система термостабилизации Thermal Buster с инверторным компрессорным холодильником и несколькими датчиками контроля температуры основных частей станка выполняет функцию температурной синхронизации, что особенно актуально для крупногабаритных станков в плане обеспечения высокой точности обработки [13].

Антиэлектролизный генератор рабочих импульсов с цифровым управлением и система превентивного адаптивного управления позволяет достичь шероховатость обрабатываемой поверхности Ra 0,30 – 0,32 мкм за 4 прохода, Ra 0,45–0,48 мкм за 3 прохода. Максимальная производительность при использовании технологии однопроводной технологии HSC – до 400 мм²/мин, проволока диаметром 0,30 мм Toras.

2.2 Планировка станка и технические требования к установке

Установка состоит из трех основных модулей: станок, диэлектрический агрегат, генератор импульсов. Станок устанавливается на семи опорах, которые входят в комплект поставки, остальные модули имеют колесики для перемещения и установки.

Специального фундамента для станка не требуется, достаточно 300 – 400 мм промышленного армированного бетонного пола. Рекомендованные значения для допустимой вибрации пола – максимальной амплитудой 5 мкм или меньше при 10 – 20 Гц. Наклон пола должен быть в пределах 6/1000.

Требования к достижению заявленных технологических результатов:

- колебания напряжения питания трехфазного переменного тока не должно превышать значение $380 \text{ В} \pm 10\%$;
- комнатная температура менее 25°C (рекомендовано 20°C);
- изменение температуры не более $0,5^{\circ}\text{C}/\text{час}$;
- максимальное изменение температуры: $2^{\circ}\text{C}/\text{час}$;
- отсутствие прямого теплового излучения на корпус станка (солнечный свет через окна, тепло от обогревательных приборов);
- предотвращение появления в воздухе шлифовальной пыли и мелкодисперсной агрессивной эмульсии;
- относительная влажность воздуха менее 80 %;
- скорость движения воздуха в помещении макс. 0,5 м/с.

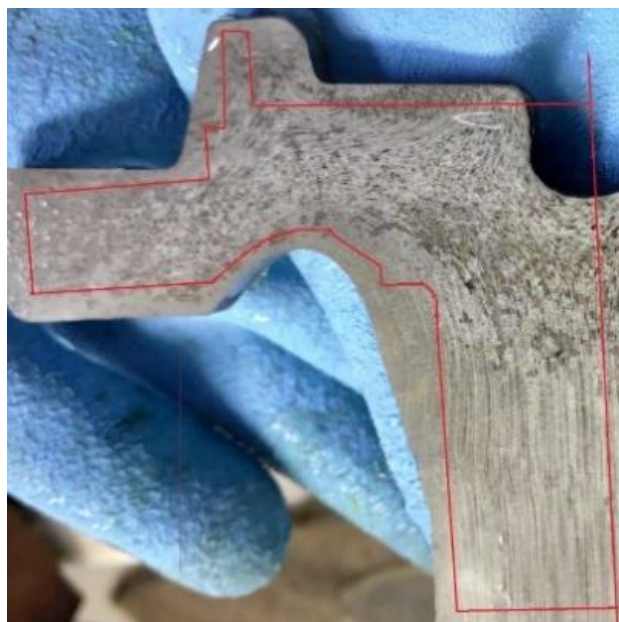
Рассмотрим определение наилучшего варианта изготовления штамповки ступицы колеса.

В таблице 7 приведены данные, полученные при исследовании физико-механических свойств образцов подверженных закалке методом ТВЧ. Полученные результаты удовлетворяют техническим требованиям чертежа, а, следовательно, данный метод упрочнения пригоден для дальнейшего применения.

Таблица 7 - Результаты исследований физико-механических свойств образца

Номер образца	Направление волокна	σ_b , (МПа)	$\sigma_{0,2}$, (МПа)	δ , %
ТТ чертежа, не менее		–	1470	6
А-10	Продольные	1686	1567	–
А-12		1718	1597	–
А-14		1743	1556	–
Б-10	Продольные	–	–	–
Б-12		1747	1616	–
Б-14		1758	1619	–
В-10	Продольные	1763	–	–
В-12		1761	–	–
В-14		1782	–	–

Однако после закалки методом ТВЧ произошли изменения в волокнах детали, эти изменения показаны на рисунке 11а – до закалки, и рисунке 11б – после закалки.



а)



б)

Рисунок 11 – Структура волокон заготовки до (а) и после (б) закалки

Исследование твердости детали проводилось на ее сечении по центру в точках, расположенных группами по 4 - 5 от края, на линиях, расположенных в разных местах детали.

2.3 Технология изготовления ступицы колеса из ковальной стали

Приведем последовательность операций для изготовления ступицы колеса из ковальной стали (поковка). В качестве исходных данных имеем чертеж детали, наименование детали – «ступица колеса», материал заготовки – сталь 60С2ХФА ГОСТ 14959-2016, масса детали – 4,01 кг., габариты детали – диаметр 183 мм X 91,5 мм, масса заготовки – 8,7 кг., габариты заготовки – диаметр 197 мм X 97 мм, заготовка – поковка. Маршрут изделия: (цех механический 27304) → (СТКиК 212520) → (производственный участок 27306) → (производственный участок 212515) → (цех механический 27304) → (СТКиК 212520) → (испытательный центр продукции автомобилестроения 2640) → (СТКиК 212520) → (производственный участок 276120) → (производственный участок ОРЗ) → (СТКиК 212520) → (цех литейный 27306) → (цех механический 27304) → (цех литейный 27306) → (цех механический 27304) → (производственный участок 212525) → (цех механический 27304) → (кладовая 276120).

Операция 1 Транспортирование – 27304 Цех механический.

Переход 1.1 – Получить поковки в количестве ____ шт. в кладовой ____ (таблица 8)

Операция 2 Токарная – 27304 Цех механический, станок токарный.

Переход 2.1 – Установить в патрон, база – поверхность диаметром 197 мм, поверхность диаметром 60 мм в рабочую зону станка [5] (таблица 8)

Переход 2.2 – Подрезать торец как чисто, снимая не более 0,5 мм (эскиз 1 в таблице 8)

Переход 2.3 – Точить поверхность диаметром $58 \pm 0,5$ мм на длину $48 \pm 0,5$ мм выдерживая R3...4.

Переход 2.4 – Центровать и сверлить отверстие диаметром $25\pm 0,5$ мм на глубину не менее 50 мм.

Переход 2.5 – Притупить острые кромки фаской $0,5\times 45^\circ$.

Переход 2.6 – Переустановить, база – поверхность диаметром 58 мм.

Переход 2.7 – Точить поверхность диаметром $196\pm 0,5$ мм на проход.

Переход 2.8 – Центровать и сверлить отверстие диаметром $25\pm 0,5$ мм на проход.

Переход 2.9 – Притупить острые кромки фаской $0,5\times 45^\circ$.

Переход 2.10 – Передать детали на следующую операцию. Соблюдать требования ИОТ Р-154-2021.

Операция 3 Токарно-фрезерная с ЧПУ – 27304 Цех механический / DMG CTX 510 Ecoline.

Переход 3.1 – Токарную обработку детали проводить согласно эскиза 2 (таблица 8) для токарной операции. Фрезерную обработку детали проводить окончательно согласно чертежа. Выдержать позиционный допуск 0,1 мм (на эскизе в таблице 8).

Переход 3.2 – Маркировать маркером номер заказа и сопроводительной. Передать детали на следующую операцию. Соблюдать требования ИОТ Р-096-2021, ИОТ Р-124-2021.

Операция 4 Слесарная – 27304 Цех механический [5].

Переход 4.1 – Снять заусенцы, притупить острые кромки.

Переход 4.2 – Нарезать резьбу М8-7Н (два места). Соблюдать требования ИОТ Р-096-2021, ИОТ Р-124-2021.

Операция 5 Маркирование – 27304 Цех механический.

Переход 5.1 – Получить на складе 26 образцов (диаметр 12,5 мм).

Переход 5.2 – Маркировать лазером на деталях номер чертежа согласно пункта десять технических требований, заказ, сопроводительную согласно маркировке перманентным маркером и порядковый номер детали в партии.

Переход 5.3 – Маркировать лазером на поверхности диаметром 12,5 мм образцов с двух сторон ближе к торцу номер заказа, номер сопроводительной и порядковый номер образца.

Переход 5.4 – Передать детали и образцы на следующую операцию. Соблюдать требования ИОТ Р-096-2021, ИОТ Р-124-2021.

Операция 6 Контрольная – 212520 СТКиК (линейный контроль деталей, определение твердости).

Переход 6.1 – Вписать номер наладочной (наихудшей) детали _____, использовать для образцов, смотри операцию 19. Соблюдать требования ИОТ Р-096-2021, ИОТ Р-124-2021.

Операция 7 Термообработка – 27306 Цех литейный.

Переход 7.1 – Закалить 32-36 HRC одновременно с двумя образцами (одной садкой) Образцы распределить равномерно между деталями.

Переход 7.2 – Заполнить таблицу. Соблюдать требования ИОТ Р-096-2021, ИОТ Р-124-2021.

Операция 8 27306 Цех литейный – 27306 Цех литейный.

Переход 8.1 – Удалить окалину. Соблюдать требования ИОТ Р-096-2021, ИОТ Р-124-2021.

Операция 9 Контрольная – 212515 СТКиК (ВИК литейной продукции, определение твердости).

Переход 9.1 – Соблюдать требования ИОТ Р-187-2018.

Операция 10 Токарная с ЧПУ – 27304 Цех механический / Mazak 250M.

Переход 10.1 – Эскиз 3 (таблица 8).

Переход 10.2 – Точить образцы согласно эскиза.

Переход 10.3 – Перенести маркировку с технологического хвостовика на образец (маркировку выполнять перманентным маркером). Соблюдать требования ИОТ Р-096-2021, ИОТ Р-124-2021.

Операция 11 Шлифовальная с ЧПУ – 27304 Цех механический / STUDER S33.

Переход 11.1 – Шлифовать поверхность [5] диаметром 6,4 мм до диаметра $6\pm 0,1$ мм и прилегающие радиуса $R25\pm 0,1$ мм с шероховатостью не хуже $Ra0,63$.

Переход 11.2 – Перенести маркировку образцов (маркировку выполнять перманентным маркером). Соблюдать требования ИОТ Р-153-2021, ИОТ Р-096-2021, ИОТ Р-124-2021.

Операция 12 Маркирование – 27304 Цех механический.

Переход 12.1 – Маркировать лазером на поверхности диаметром 10 мм образцов с двух сторон номер заказа, номер сопроводительной и порядковый номер образца. Соблюдать требования ИОТ Р-076-2021.

Операция 13 Контрольная – 212520 СТКиК (линейный контроль деталей, определение твердости).

Переход 13.1 – Соблюдать требования ИОТ Р-187-2018.

Операция 14 Испытания – 2640 Испытательный Центр продукции автомобилестроения.

Переход 14.1 – Выполнить проверку в соответствии с пунктом девять технических требований чертежа [11].

Операция 15 Контрольная – 212520 СТКиК (линейный контроль деталей, определение твердости).

Переход 15.1 – Контроль соответствия механических свойств пункт девять технических требований чертежа. Соблюдать требования ИОТ Р-187-2018.

Операция 16 Складирование – 276120 Кладовая (полуфабрикаты и готовые изделия).

Переход 16.1 – Соблюдать требования ИОТ Р-063-2019; ИОТ Р-067-2019 [6].

Операция 17 Закалка ТВЧ – ОРЗ.

Переход 17.1 – Выполнить закалку ТВЧ на глубину 1,8...3,3 мм HRC 52...59 согласно эскиза с учетом припуска.

Операция 18 Контрольная – 212520 СТКиК (линейный контроль деталей, определение твердости).

Переход 18.1 – Контроль твердости зоны ТВЧ. Соблюдать требования ИОТ Р-187-2018.

Операция 19 Термообработка – 27306 Цех литейный.

Переход 19.1 – Термообработка (при необходимости).

Переход 19.2 – Выполнить отпуск деталей до 52..56 HRC на поверхности зоны ТВЧ. Соблюдать требования ИОТ Р-101-2021.

Операция 20 Очистка дробеструйная – 27306 Цех литейный.

Переход 20.1 – Удалить окалину. Соблюдать требования ИОТ Р-130-2021.

Операция 21 Электроэрозионная проволочно-вырезная – 27304 Цех механический.

Переход 21.1 – (Для наладочной детали (смотри операцию 6). Из наладочной детали (смотри операцию 6) вырезать четыре образца по эскизу 4: длина реза 356 мм, глубина реза 91,5 мм. Соблюдать требования ИОТ Р-148-2017.

Операция 22 Слесарная – 27304 Цех механический.

Переход 22.1 – Притупить острый угол фаской или радиусом 3...5 мм (эскиз 4 в таблице 8). Соблюдать требования ИОТ Р-147-2021.

Операция 23 Плоскошлифовальная – 27304 Цех механический.

Переход 23.1 – Шлифовать плоскость П снимая 0,8...1 мм [7].

Переход 23.2 – Передать четыре образца в лабораторию материаловедения 2720.021. Соблюдать требования ИОТ Р-153-2021.

Операция 24 Испытания – 27306 Цех литейный.

Переход 24.1 – Выполнить контроль закаленного слоя ТВЧ. Результаты передать в ОТК.

Операция 25 Слесарная – 27304 Цех механический.

Переход 25.1 – Удалить окалину в отверстии диаметром 28 мм.

Переход 25.2 – Калибровать резьбу М8 двух отверстий. Соблюдать требования ИОТ Р-147-2021.

Операция 26 Электроэрозионная проволочно-вырезная – 27304 Цех механический.

Переход 26.1 – Установить на оправку [11]. Нарезать зуб, выдерживая требования чертежа.

Переход 26.2 – Нанести смазку-спрей LubTool 6000 на обработанные поверхности. Соблюдать требования ИОТ Р-148-2017.

Операция 27 Круглошлифовальная – 27304 Цех механический / STUDER S33.

Переход 27.1 – Установить деталь на оправку. Шлифовать поверхность диаметром $55\text{p}6(+0,051/+0,032)$ мм, $R2,9-0,2$ мм и прилегающий торец, выдерживая размер $50+0,3$ мм (эскиз 5 в таблице 8).

Переход 27.2 – Шлифовать поверхность диаметром $117-0,05$ мм и прилегающий торец, выдерживая размер $12(-0,05/-0,022)$ мм, $R3$ (эскиз 5, переход 2 в таблице 8).

Переход 27.3 – Нанести смазку-спрей LubTool 6000 на обработанные поверхности.

Переход 27.4 – Защитить поверхность диаметром $55\text{p}6$ мм сеткой-рукавом ТУ 2259-001-86908111-2009. Тип С 15 – 70. Соблюдать требования ИОТ Р-153-2021, ИОТ Р-096-2021, ИОТ Р-124-2021.

Операция 28 Моечная – 27304 Цех механический.

Переход 28.1 – Удалить смазку-спрей LubTool 6000 с деталей. Выполнять по команде ОТК.

Операция 29 Контрольная – 212525 СТКиК (высокоточные измерения геометрии (КИМ) [8]).

Переход 29.1 – Перед началом измерений дать цеху команду на выполнение операции 28 «Моечная». Соблюдать требования ИОТ Р-194-2018.

Операция 30 Моечная – 27304 Цех механический.

Переход 30.1 – Пассивировать согласно ТИ-1.

Переход 30.2 – Сушить детали в течении 10 минут при температуре 60°C. Внимание! Выемку деталей из моечного комплекса и дальнейшее перемещение выполнять только в перчатках! Брать детали голой рукой категорически запрещено!

Операция 31 Консервация – 27304 Цех механический.

Переход 31.1 – Подготовка к хранению.

Переход 31.2 – Установить деталь на поверхность А. Работы выполнять под вытяжной вентиляцией, использовать респиратор, перчатки. Брать детали голой рукой категорически запрещено!

Переход 31.3 – Установить деталь на поверхность А [10].

Переход 31.4 – Распылять не менее 30 секунд смазку-спрей LubToo1 6000 на деталь с расстояния 5-7 см, полностью покрыв все доступные для обработки поверхности. Особое внимание уделить шлифованным поверхностям и поверхности шлицов.

Переход 31.5 – Установить на поверхность Б.

Переход 31.6 – Повторить переход 29.4 для второй стороны. Соблюдать требования ИОТ Р-023-2004.

Операция 32 Упаковывание – 276120 Кладовая (полуфабрикаты и готовые изделия).

Переход 32.1 – Упаковать ступицы в ингибированную стрейч-пленку. Особое внимание уделить защите посадочных поверхностей от возможного удара. Операцию выполнять не позднее 30 минут после выполнения предыдущей операции!

Переход 32.2 – Упаковать в герметичный пакет из упаковочной металлизированной пленки Барьер-Пак, уложив внутрь пакета силикагель [9]. Соблюдать требования ИОТ Р-023-2004.

Операция 33 Складирование – 276120 Кладовая (полуфабрикаты и готовые изделия).

Переход 33.1 – Соблюдать требования ИОТ Р-063-2019; ИОТ Р-067-2019. Операционно-маршрутная карта показана в таблице 8.

Таблица 8 – Операционно-маршрутная карта (кованная сталь)

Изделие	—					Заказ №	—
Деталь	Чертеж	—				Сопр.	—
— — — —	Наименование	Ступица колеса				Количество в заказе	
	Материал	Сталь 60С2ХФА ГОСТ 14959-2016				—	
	Масса детали	4,01	Масса заготовки	8,7	кг	Количество в 1 заготовке	
	Габариты детали	183Х91,5	Габариты заготовки	197Х97	мм	1	
Маршрут изделия: (27304) → (212520) → (27306) → (212515) → (27304) → (212520) → (2640) → (212520) → (276120) → (ОРЗ) → (212520) → (27306) → (27304) → (27306) → (27304) → (212525) → (27304) → (276120) →							
№ опера р	Операция			Цех/ станок/ исполнитель	Дата подпись исполните ля	Разряд/ нормы расценка	
1	Транспортирование — — —			27304 Цех механический	—	—	
1.1	Получить поковки в количестве __ шт. в кладовой __ (смотри эскиз «Поковка ступицы колеса»)			—	—	—	
	Соблюдать требования ИОТ Р-075-2016			—	—	—	
2	Токарная — — —			27304 Цех механический	—	—	
2.1	Установить в патрон, база – 197мм, 60 в рабочую зону станка (смотри чертеж на проковку)			—	—	—	
2.2	Подрезать торец как чисто снимая не более 0,5мм (смотри эскиз 1)			—	—	—	
2.3	Точить 58±0,5мм на длину 48±0,5мм выдерживая R3...4			—	—	—	
2.4	Центровать и сверлить отв. 25±0,5мм на глубину не менее 50мм			—	—	—	
2.5	Притупить острые кромки фаской 0,5Х45°			—	—	—	
2.6	Переустановить, база – 58мм			—	—	—	
2.7	Точить 196±0,5мм на проход			—	—	—	
2.8	Центровать и сверлить отв. 25±0,5мм на проход			—	—	—	
2.9	Притупить острые кромки фаской 0,5Х45°			—	—	—	
2.10	Передать детали на следующую операцию.			—	—	—	
—	Соблюдать требования ИОТ Р-154-2021			—	—	—	
3	Токарно-фрезерная с ЧПУ — — —			27304 Цех механический/ DMG CTX 510 ecoline	—	—	
3.1	Токарную обработку детали проводить согласно эскиза 2 для токарной операции. Фрезерную обработку детали проводить окончательно согласно чертежа. Выдержать позиционный допуск 0,1мм (смотри Е на эскизе)			—	—	—	

Продолжение таблицы 8

Но мер опе рац ии	Операция	Цех/ станок/ исполнитель	Дата подпись исполните ля	Разряд/ нормы расценка
3.2	Маркировать маркером номер заказа и сопроводительной.	—	—	—
—	Передать детали на следующую операцию Соблюдать требования ИОТ Р-096-2021, ИОТ Р- 124-2021	—	—	—
4	Слесарная — — —	27304 Цех механический	—	—
4.1	Снять заусенцы, притупить острые кромки	—	—	—
4.2	Нарезать резьбу М8-7Н (2 места)	—	—	—
—	Соблюдать требования ИОТ Р-147-2021	—	—	—
5	Маркирование — — —	27304 Цех механический	—	—
5.1	Получить на складе 26 образцов (>12,5)	—	—	—
5.2	Маркировать лазером на деталях номер чертежа согласно п. 10 ТТ, заказ, сопроводительную согласно маркировке перманентным маркером и порядковый номер детали в партии	—	—	—
5.3	Маркировать лазером на >12,5 образцов с двух сторон ближе к торцу номер заказа, номер сопроводительной и порядковый номер образца	—	—	—
5.4	Передать детали и образцы на следующую операцию.	—	—	—
—	Соблюдать требования ИОТ Р-076-2021	—	—	—
6	Контрольная — — —	212520 СТКиК (Линейный контроль деталей, Определение твердости)	—	—
6.1	Вписать номер наладочной (наихудшей) детали _____, использовать для образцов, операция 19.	—	—	—
—	Соблюдать требования ИОТ Р-187-2018	—	—	—
7	Термообработка — — —	27306 Цех литейный	—	—
7.1	Закалить 32-36 HRC одновременно с двумя образцами (одной садкой). Образцы распределить равномерно между детальями	—	—	—
7.2	Заполнить таблицу:	—	—	—
—	Соблюдать требования ИОТ Р-101-2021	—	—	—
—	—	—	—	—
8	Очистка дробеструйная — — —	27306 Цех литейный	—	—
8.1	Удалить окалину	—	—	—
—	Соблюдать требования ИОТ Р-130-2021	—	—	—
9	Контрольная — — —	212515 СТКиК (ВИК литейной продукции, Определение твердости)	—	—
9.1	Соблюдать требования ИОТ Р-187-2018	—	—	—

Продолжение таблицы 8

Но мер опе рац ии	Операция	Цех/ станок/ исполнитель	Дата подпись исполните ля	Разряд/ нормы расценка
10	Токарная с ЧПУ	27304 Цех механический / Mazak 250M	—	—
10.1	Эскиз 3	—	—	—
—	—	—	—	—
10.2	Точить образцы согласно эскиза	—	—	—
10.3	Перенести маркировку с технологического хвостовика на образец (Маркировку выполнять перманентным маркером).	—	—	—
—	Соблюдать требования ИОТ Р-096-2021, ИОТ Р- 124-2021	—	—	—
11	Шлифовальная с ЧПУ	27304 Цех механический/ STUDER S33	—	—
11.1	Шлифовать $\geq 6,4$ до $\geq 0,1$ и прилегающие радиуса $R25 \pm 0,1$ мм с шероховатостью не хуже $Ra0,63$	—	—	—
11.2	Перенести маркировку образцов (Маркировку выполнять перманентным маркером).	—	—	—
—	Соблюдать требования ИОТ Р-153-2021, ИОТ Р- 096-2021, ИОТ Р-124-2021	—	—	—
12	Маркирование	27304 Цех механический	—	—
12.1	Маркировать лазером на ≥ 10 образцов с двух сторон номер заказа, номер сопроводительной и порядковый номер образца.	—	—	—
—	Соблюдать требования ИОТ Р-076-2021	—	—	—
13	Контрольная	212520 СТКиК (Линейный контроль деталей, определение твердости)	—	—
13.1	Соблюдать требования ИОТ Р-187-2018	—	—	—
14	Испытания	2640 Испытательный Центр продукции автомобилестро ения	—	—
14.1	Выполнить проверку в соответствии с п. 9 ТТ чертежа	—	—	—
15	Контрольная	212520 СТКиК (Линейный контроль деталей, определение твердости)	—	—
15.1	Контроль соответствия мехсвойств п. 9 ТТ чертежа.	—	—	—
—	Соблюдать требования ИОТ Р-187-2018	—	—	—
16	Складирование	276120 Кладовая (Полуфабрикаты и готовые изделия)	—	—

Продолжение таблицы 8

Но мер опе рац ии	Операция	Цех/ станок/ исполнитель	Дата подпись исполните ля	Разряд/ нормы расценка
16.1	Соблюдать требования ИОТ Р-063-2019; ИОТ Р-067-2019	—	—	—
17	Закалка ТВЧ — — —	ОРЗ	—	—
17.1	Выполнить закалку ТВЧ h=1.8...3,3 HRC 52...59 согласно эскиза с учетом припуска	—	—	—
18	Контрольная — — —	212520 СТКиК (Линейный контроль деталей, Определение твердости)	—	—
18.1	Контроль твердости зоны ТВЧ	—	—	—
—	Соблюдать требования ИОТ Р-187-2018	—	—	—
19	Термообработка — — —	27306 Цех литейный	—	—
19.1	(при необходимости)	—	—	—
19.2	Выполнить отпуск деталей до 52...56 HRC на поверхности зоны ТВЧ	—	—	—
—	Соблюдать требования ИОТ Р-101-2021	—	—	—
20	Очистка дробеструйная — — —	27306 Цех литейный	—	—
20.1	Удалить окалину	—	—	—
—	Соблюдать требования ИОТ Р-130-2021	—	—	—
21	Электроэрозионная — — — проволочно-вырезная	27304 Цех механический	—	—
21.1	(Для наладочной детали (см. оп.6) Из наладочной детали (см. оп.6) вырезать 4 образца по эскизу 4 Греза 356мм, греза 91,5мм	—	—	—
—	Соблюдать требования ИОТ Р-148-2017	—	—	—
22	Слесарная — — —	27304 Цех механический	—	—
22.1	Притупить острый угол фаской или радиусом 3...5мм (см. эскиз 4)	—	—	—
—	Соблюдать требования ИОТ Р-147-2021	—	—	—
23	Плоскошлифовальная — — —	27304 Цех механический	—	—
23.1	Шлифовать плоскость П снимая 0,8...1мм	—	—	—
23.2	Передать 4 образца в лабораторию материаловедения 2720.021	—	—	—
—	Соблюдать требования ИОТ Р-153-2021	—	—	—
24	Испытания — — —	27306 Цех литейный	—	—
24.1	Выполнить контроль закаленного слоя ТВЧ Результаты передать в ОТК	—	—	—
25	Слесарная — — —	27304 Цех механический	—	—
25.1	Удалить окалину в отверстиях >28мм	—	—	—
25.2	Калибровать резьбу М8 двух отверстий	—	—	—
—	Соблюдать требования ИОТ Р-147-2021	—	—	—

Продолжение таблицы 8

Но мер опе рац ии	Операция	Цех/ станок/ исполнитель	Дата подпись исполните ля	Разряд/ нормы расценка
26	Электроэрозионная проволочно-вырезная	27304 Цех механический	—	—
26.1	Установить на оправку. Нарезать зуб, выдерживая требования чертежа	—	—	—
26.2	Нанести смазку-спрей LubTooool 6000 на обработанные поверхности.	—	—	—
—	Соблюдать требования ИОТ Р-148-2017	—	—	—
27	Круглошлифовальная	27304 Цех механический/ STUDER S33	—	—
27.1	Установить деталь на оправку Шлифовать >55p6(+0,051/+0,032)мм, R2,9-0,2мм и прилегающий торец выдерживая p-p 50+0,3мм (смотри эскиз 5, переход 1)	—	—	—
27.2	Шлифовать >117-0,05мм и прилегающий торец выдерживая p-p 12(-0,05/-0,022)мм, R3 (см эскиз 5, переход 2)	—	—	—
27.3	Нанести смазку-спрей LubTooool 6000 на обработанные поверхности.	—	—	—
27.4	Защитить >55p6 сеткой- рукавом ТУ 2259-001- 86908111-2009 Тип С 15 – 70	—	—	—
—	Соблюдать требования ИОТ Р-153-2021, ИОТ Р- 096-2021, ИОТ Р-124-2021	—	—	—
28	Моечная	27304 Цех механический	—	—
28.1	Удалить смазку-спрей LubTooool 6000 с деталей	—	—	—
—	Выполнять по команде ОТК	—	—	—
29	Контрольная	212525 СТКиК (Высокоточные измерения геометрии (КИМ))	—	—
29.1	Перед началом измерений дать цеху команду на выполнение оп. 28 «Моечная»	—	—	—
—	Соблюдать требования ИОТ Р-194-2018	—	—	—
30	Моечная	27304 Цех механический	—	—
30.1	Пассивировать согласно ТИ-1	—	—	—
30.2	Сушить детали в течении 10 минут при температуре 60°	—	—	—
—	!Внимание выемку деталей из моечного комплекса и дальнейшее перемещение выполнять ТОЛЬКО В ПЕРЧАТКАХ! !БРАТЬ ДЕТАЛИ ГОЛОЙ РУКОЙ КАТЕГОРИЧЕСКИ ЗАПРЕЩЕНО!	—	—	—
31	Консервация	27304 Цех механический	—	—
31.1	Подготовка к хранению	—	—	—
—	—	—	—	—
31.2	Установить деталь на поверхность А.	—	—	—
—	!Работы выполнять под вытяжной вентиляцией, использовать респиратор, перчатки. !БРАТЬ ДЕТАЛИ ГОЛОЙ РУКОЙ КАТЕГОРИЧЕСКИ ЗАПРЕЩЕНО!	—	—	—

Продолжение таблицы 8

Но мер опе рац ии	Операция	Цех/ станок/ исполнитель	Дата подпись исполните ля	Разряд/ нормы расценка
31.3	Установить деталь на поверхность А.	—	—	—
31.4	Распылить не менее 30 сек. смазку-спрей LubTool 6000 на деталь с расстояния 5-7см полностью покрыв все доступные для обработки поверхности. Особое внимание уделить шлифованным поверхностям и поверхности шлицов	—	—	—
31.5	Установить на поверхность Б	—	—	—
31.6	Повторить переход 29.4 для второй стороны.	—	—	—
—	Соблюдать требования ИОТ Р-023-2004	—	—	—
32	Упаковывание	276120 Кладовая (Полуфабрикаты и готовые изделия)	—	—
32.1	Упаковать ступицы в ингибированную стрейч-пленку. Особое внимание уделить защите посадочных поверхностей от возможного удара.	—	—	—
—	! Операцию выполнять не позднее 30 минут после выполнения предыдущей операции!	—	—	—
32.2	Упаковать в герметичный пакет из упаковочной металлизированной пленки Барьер-Пак, уложив внутрь пакета силикагель.	—	—	—
—	Соблюдать требования ИОТ Р-023-2004	—	—	—
33	Складирование	276120 Кладовая (Полуфабрикаты и готовые изделия)	—	—
33.1	Соблюдать требования ИОТ Р-063-2019; ИОТ Р-067-2019	—	—	—
—	—	—	—	—
Технолог	—	—	—	—
Проверил 1	—	—	—	—
Нормировщик	—	—	—	—

Для реализации технологического процесса изготовления ступицы заднего колеса в качестве исходных данных использовались:

- чертеж детали, наименование детали – «ступица колеса»,
- материал заготовки – сталь 60С2ХФА ГОСТ 14959-2016,
- масса детали – 4,01 кг.,
- габариты детали – диаметр 183 мм X 91,5 мм,
- масса заготовки – 8,7 кг.,
- габариты заготовки – диаметр 197 мм X 97 мм,
- заготовка – поковка.

По результатам исследований в разделе можно сделать следующие выводы:

- проведен анализ методов упрочнения ступицы колеса, который позволил сформулировать методику исследования;
- разработана методика упрочнения ступицы колеса из стали 60С2ХФА;
- разработана концепция поверхностного упрочнения ступицы колеса задней оси;
- разработана методика контроля параметров упрочненного изделия;
- произведена оценка механических свойств ступицы колеса задней оси.
- выбрано оборудование для выполнения поверхностного упрочнения ступицы колеса задней оси.

3 Анализ напряженно-деформированного состояния ступицы колеса

3.1 Анализ разрушения ступицы колеса задней оси

Требования по чертежу:

- HRC 43...47;
- материал: 60С2ХФА ГОСТ 14959-79;
- σ_T не менее 1470 МПа и δ не менее 6 %.

Информация от заказчика:

Произошло разрушение ступицы правого колеса задней оси автомобиля.

Общий пробег автомобиля до поломки составил 2482 км.

Условия, при которых произошло разрушение.

Дорога. трек по управляемости (Handling track).

Покрытие. Сухой асфальт.

Маневр: левый поворот со сбросом газа и заносом задней оси.

Анализ контакта сопряжений технологического оборудования.

Повышение качества функционирования сопряжений технологического оборудования наиболее полно можно реализовать, основываясь на принципах функционального подхода к удовлетворению требуемого уровня показателей назначения контактных пар, абстрагируясь от их реальной конструкции.

Большинство известных в настоящее время методов формирования эксплуатационных свойств основывается на предметном подходе, предполагающем совершенствование отдельных показателей качества сопряжений: износостойкости, контактной жесткости, виброустойчивости и так далее для конкретных конструкций пар трения и неподвижных сопряжений [30, 31, 41, 42]. Использование функционального подхода при важности других принципов означает, что объект рационализации совершенствуется, как комплекс функций, которые он выполняет. Применительно к сопряжениям технологического оборудования реализация

функционального подхода заключается в удовлетворении требуемого уровня их показателей назначения – функций пар трения и неподвижных стыков, определяемым условиями надежной эксплуатации машины. Поэтому, помимо абстрагирования от конструктивных форм сопряжений, для реализации функционального подхода в обеспечении качественного функционирования сопряжений, необходимо выявление управляемых параметров контактной системы и решение вопросов о рациональных методах воздействия на них, не приводящих к существенному усложнению и удорожанию технологии изготовления деталей, образующих сопряжения технологического оборудования.

Для управления контактными перемещениями стыков технологического оборудования можно использовать конструктивные и технологические методы, позволяющие целенаправленно изменять параметры, определяющие контактное взаимодействие – размеры областей контакта $\{D\}$, закон распределения контактных давлений $\{P(xy)\}$ и их интенсивность $\{P_{max}(xy)\}$, находящиеся в функциональной связи с характеристиками контактной жесткости зазорами (натягами), от величины которых зависят изменения относительного положения поверхностей элементов технологической системы. Существенно, что конструктивные методы позволяют регулировать определяющие параметры контакта на макроуровне, характеризуемом контурной площадью технических поверхностей стыков. Технологические методы дают возможность изменять площадь (размеры) единичных пятен контакта в пределах контурной площади (в некоторых случаях и величину контурной площади), а также поверхностных слоев, в значительной мере определяющих важнейшие триботехнические свойства: контактную жесткость, интенсивность изнашивания, коэффициенты трения, совместимость трущихся поверхностей [30, 31].

Иерархично задачи конструкторско-технологического формирования заданных эксплуатационных свойств представлены в таблице 9. Трудности теоретических и численных решений конструкционных контактных задач в

значительной степени могут быть преодолены использованием экспериментальных методов и, прежде всего, оптических, позволяющих регистрировать поля контактных напряжений и перемещений на моделях из оптически активных материалов в проходящем свете и моделях из натуральных материалов в отраженном свете.

Таблица 9 – Задачи конструкторско-технологического формирования заданных эксплуатационных свойств стыков технологического оборудования

Выявление параметров, определяющих контактное взаимодействие стыков технологического оборудования, исходя из служебного назначения				
Анализ математической модели образования погрешностей при механической обработке			Анализ взаимодействия звеньев технологического оборудования как элементов конструкционных контактных задач	
Характеристики контакта: $\{D\}$ – величина областей контакта; $\{P(xy)\}$ – закон распределения контактных давлений; $\{P_{max}(xy)\}$ – интенсивность контактных нагрузок				
Макроуровень: форма и величина зазоров (натягов) в стыках (контурная площадь)			Микроуровень: количество, размеры и форма единичных пятен контакта (фактическая площадь)	
Условия подобия и моделирования статического контакта			Теоретико-экспериментальная модель статического контакта технических поверхностей	Обобщенная модель трения и износа
Экспериментальное моделирование	Теоретико-экспериментальные модели	Математические модели		Взаимосвязи параметров качества поверхностных слоев
Взаимосвязи характеристик макроконтакта с эксплуатационными свойствами стыков: контактной жесткостью, износостойкостью и другими				Технологические принципы, обеспечивающие получение жесткостных характеристик
Активные методы	Метод механической САР	Пассивные методы	Использование технологической наследственности	Технологии, модифицирующие структуру поверхностного слоя и его рельеф
Конструктивные методы формирования заданных эксплуатационных свойств пар трения и неподвижных стыков технологического оборудования			Совершенствование композиционных материалов для износостойких покрытий и методов их обработки	
Конструктивно-технологические методы (КТМ) обеспечения заданных свойств стыков технологического оборудования				
Прогнозирование долговечности стыков технологического оборудования на основе моделирования				
Экспертная система выбора КТМ для повышения качества функционирования технологического оборудования				
Апробация результатов исследований в промышленности				

Корректное моделирование упругих, упруго-пластических и вязкоупругих конструктивных контактных задач основывается на условиях

моделирования физически линейных и нелинейных контактных задач и установленных функциональных зависимостях пересчета компонент – полей напряжений, деформаций и перемещений с модели на натуру [35, 46]. Установленные условия моделирования апробированы на решениях целого ряда статических конструкционных задач, рассмотренных в настоящей работе.

Для неподвижных разъемных соединений, образованных стыкующимися деталями приспособлений машин и технологического оборудования, обеспечение показателей назначения: контактной прочности, герметичности, сдвигоустойчивости, сопротивления фреттинг-коррозии, сохранения точности позиционирования, несущей способности целесообразно проводить на этапах изготовления деталей и сборки сопряжений.

При этом возможно получение заданных свойств контактирующих деталей технологическими методами, например, метод избирательной лазерной закалки для повышения сдвигоустойчивости плоских и круглых сопрягаемых деталей и конструктивными методами – метод принудительного деформирования втулки для управления контактными напряжениями в цилиндрическом соединении с зазором.

Использование рационального расположения и последовательности затяжки стыкуемых поверхностей при сборке разъемных соединений позволят повысить контактную жесткость и сдвигоустойчивость элементов приспособлений технологического оборудования. Такой подход, имеющий целью дальнейшее усовершенствование элементов машины и основывающийся на использовании данных о предстоящих условиях эксплуатации объекта, либо не предусматривает корректировку управляемых параметров контакта $\{D\}$, $\{P(xy)\}$ и $\{P_{max}(xy)\}$ при изменении режимов эксплуатации, либо допускает их дискретную корректировку.

Промежуточным между активными и пассивными конструктивными методами обеспечения заданных функциональных свойств сопряжений технологического оборудования является метод разгрузки контактных систем, реализующий принципы (механической, частичной) системы автоматического

регулирования (САР) по поддержанию деформационных и динамических характеристик плоских стыков при изменении режимов их нагружения.

В таблице 10 показаны факторы, влияющие на функциональную взаимосвязь управляемых параметров контакта – $\{D\}$, $\{P(xy)\}$ и $\{P_{max}(xy)\}$, а также показателей качества и назначения сопряжений, реализующих рациональные конструктивные методы использования собственных и контактных деформаций для получения заданных эксплуатационных свойств неподвижных стыков технологического оборудования [3, 49]. Используя приведенную классификацию конструктивных методов управления параметрами контакта, можно исследовать в дальнейшем эффективность применения разработанных методов и устройств по обеспечению показателей назначения некоторых узлов и сопряжений технологического оборудования. Материал представлен в публикациях автора (указаны в автореферате).

Таблица 10 – Факторы, влияющие на упругие перемещения, зазоры (натяги) в стыках и погрешности

Конструктивные факторы				
Структурная схема технологической системы	Идеальная геометрия звеньев технологического оборудования	Физико-механические свойства материалов звеньев технологической системы		Термические и структурные свойства материалов звеньев
Технологические факторы				
Усилия зажима и закрепления деталей	Макроотклонения формы и положения поверхностей	Микрорельеф: волнистость и шероховатость	Физико-механические и структурные свойства покрытий детали	Режим обработки и сборки
Эксплуатационные факторы				
Интенсивность изнашивания поверхностей звеньев технологического оборудования и инструмента			Режим трения и вид смазывающей охлаждающей жидкости	
Погрешности				

Анализ излома, характер разрушения.

На анализ представлена разрушенная ступица колеса в сборе с подшипником [29]. Внешний вид и место разрушения ступицы показано на рисунке 1.

Разрушение ступицы произошло в поперечном сечении опоры под подшипник (далее цапфа) в районе галтели преимущественно по телу цапфы (рисунок 12, вид 2) с частичным выходом на торец венца ступицы по месту посадки подшипника (рисунок 12, вид 1).



Рисунок 12 – Внешний вид ступицы колеса, место разрушения

По строению поверхности излом характерен для типично усталостного, о чем свидетельствуют расходящиеся от очагов разрушения концентрические линии отдыха. Внешний вид излома представлен на рисунке 13. Очаги разрушения в виде микропустот многочисленные, находятся на наружной поверхности цапфы почти по всему периметру (рисунок 13в). Многочисленные рубцы, ступеньки, линии отдыха говорят о циклических переменных нагрузках [32, 48].

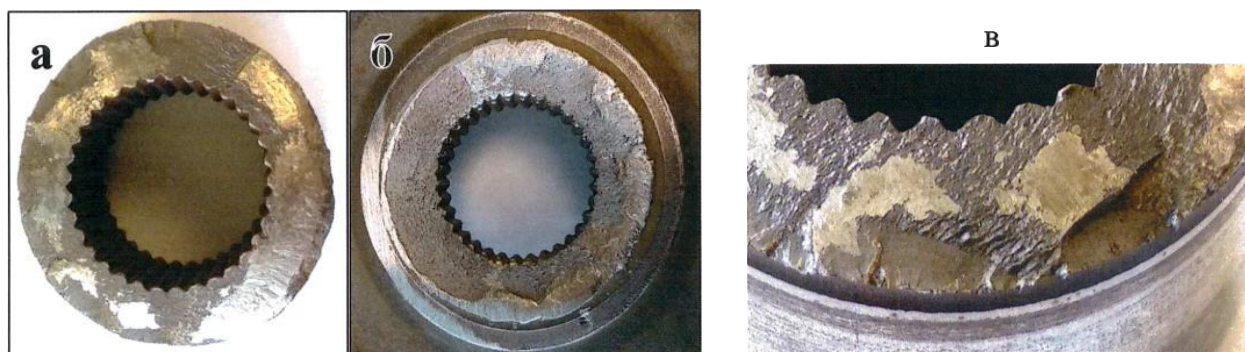
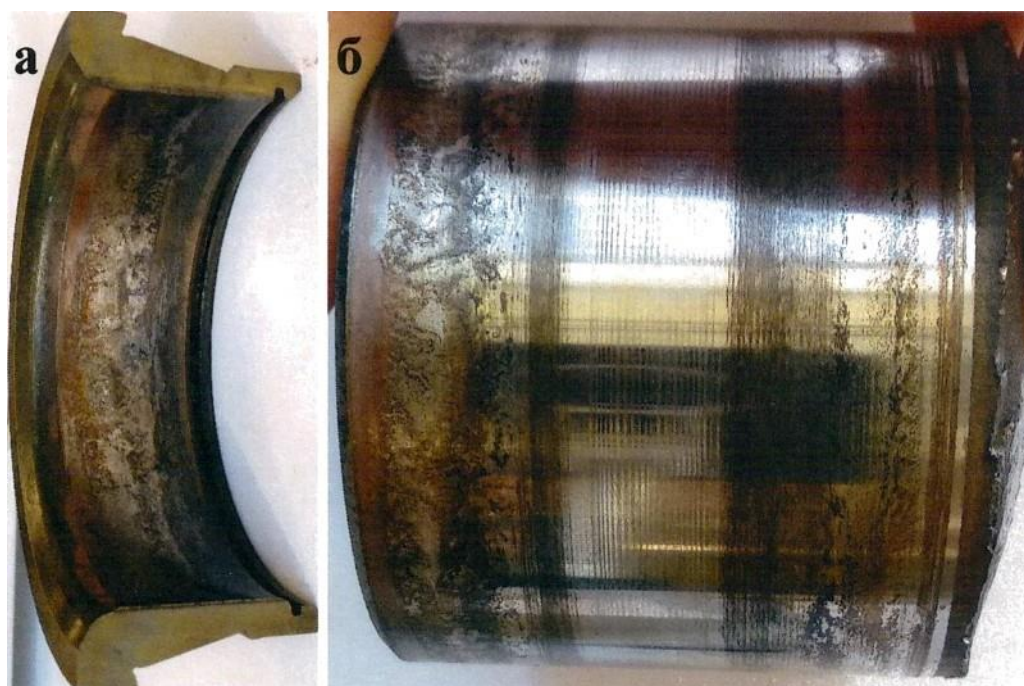


Рисунок 13 – Строение излома

На поверхности цапфы и на сопрягаемой с ней поверхности дорожках качения подшипника обнаружены следы разогрева металла в виде темных полос с различными оттенками цветов побежалости, которые свидетельствуют о местном разогреве цапфы ступицы и самого подшипника в процессе эксплуатации до температур около 400 градусов (рисунок 14).



а – подшипник, б – ось ступицы

Рисунок 14 – Следы разогрева металла

Следы разогрева в виде цветов побежалости наблюдаются и на внутренней поверхности обоймы подшипника, и на роликах, рисунок 15. Также на обойме, как снаружи, так и внутри на дорожках качения, наблюдаются следы наволакивания металла, прикипевшей смазки и слабозаметные риски по периметру, что свидетельствует о возможном провороте подшипника как по ступице, так и в кулаке.



Рисунок 15 – Следы разогрева в виде цветов побежалости на внутренней поверхности обоймы подшипника и роликах

Определение химического состава.

Химический состав материала ступицы колеса по содержанию химических элементов соответствует стали 60С2ХФА, предусмотренной чертежом с незначительным отклонением по углероду [26]. Что может быть связано с наличием обезуглероженного слоя при проведении термообработки.

Металлографическое исследование.

Содержание неметаллических включений (НМВ)

Общий уровень загрязненности металла ступицы НМВ средний, с крупными единичными включениями силикатов и сульфидов в продольном сечении цапфы ступицы [24, 36]. В районе поломки металл находится в удовлетворительном состоянии по содержанию НМВ (рисунок 16).



Рисунок 16 – Загрязненность металла неметаллическими включениями, увеличение в 100 раз

Макроструктура металла ступицы.

Макроструктура металла ступицы на протравленном темплете, изготовленном в поперечном сечении цапфы, не имеет остатков усадочной раковины, подусадочной рыхлоты, подкорковых пузырей, трещин, расслоений, инородные металлических и шлаковые включений, флокенов [37, 45].

В плоскости макрошлифа и на поверхности цапфы выявились неоднородные участки с ликвацией по газовые включениям типа точечной неоднородности в виде мелких округлых, сильно травящихся матовых точек, расположенных по всему сечению шлифа, рисунок 17а. С учетом размеров точек и площади образца, пораженной ими оценить точечную неоднородность можно баллом 2-3 [16]. На продольной поверхности цапфы ликвация обнаружена в виде полосок, напоминающих риски, рисунок 17.



а



б

Рисунок 17 – Макроструктура металла ступицы, точечная неоднородность в виде газовые включений в поперечном сечении цапфы – а, и в виде продольных рисок – б

Требованиями ГОСТ 14959 на металлопрокат диаметром свыше 40 мм для высококачественной стали 60С2ХФА допускается точечная неоднородность не более 2 балла.

Таким образом, по макроструктуре металл ступицы находится в пограничном состоянии по нормам газовые включений, то есть несколько превышает регламентируемый уровень [4, 43]. На рисунке 17 четко просматривается связь между рисками и очагами зарождения трещин. То есть некоторые газовые включения, выходящие на поверхность цапфы, являются очагом зарождения трещины разрушения, от которого распространяются радиальные рубцы или ступеньки.

Определение твердости и прочностных свойств.

Микроструктура металла ступицы состоит из троосто-мартенсита, что соответствует термообработанному состоянию (закалка с отпуском) [4, 28]. ТО проведена.

Твердость на поверхности цапфы и на венце ступицы составляет 49-50 HRC.

После термообработки образцы-свидетели ступицы колеса были

подвергнуты механическим испытаниям на растяжение в соответствии с требованиями ГОСТ 1497 на оборудовании ИЦПА [39, 40]. Результаты представлены в таблице 11.

Таблица 11 – Результаты механических испытаний образцов при комнатной температуре

Маркировка	Временное сопротивление σ_b , МПа	Условный предел текучести $\sigma_{0,2}$ МПа	Относительное удлинение δ , %
Образец №14	1715	1524	6,8

Таким образом, по результатам механических испытаний при комнатной температуре образцы соответствуют требованиям чертежа. Твердость ступицы несколько превышает нормативный уровень, предусмотренный требованиями чертежа – по чертежу 43–47 HRC. Полученные результаты твердости согласованы с конструктором и детали допущены в производство и эксплуатацию по результатам механических испытаний образцов.

По результатам исследований в разделе можно сделать следующие выводы:

- по марке материала, твердости, механическим характеристикам деталь соответствует требованиям чертежа с дополнительным согласованием с конструктором.
- судя по микроструктуре, твердости и механическим характеристикам деталь прошла термообработку в соответствии с требованиями конструкторской документации.
- по содержанию неметаллических включений металл ступицы соответствует требованиям ГОСТ 14959 на металлопродукцию на сталь 60С2ХФА.
- в макроструктуре металла ступицы присутствует точечная неоднородность пограничного с нормой уровня 2-го – 3-го балла при норме не более 2-х баллов в соответствии с требованиями ГОСТ

14959. Наличие газовых включений в металле является фактором, способствующим зарождению микротрещин, которые могут привести к разрушению при эксплуатации детали.

- разрушение ступицы произошло по усталостному типу с лавинообразным изломом почти по всему течению цапфы. Что говорит о высокой нагрузке при эксплуатации. Очагами зарождения усталостных трещин могли послужить газовые включения точечной неоднородности в металле.
- судя по строению излома, нагрузки на деталь были циклические, знакопеременные и значительно превышающие прочностные характеристики металла.
- разогрев ступиц при эксплуатации мог спровоцировать некоторое снижение механических свойств и послужить фактором, способствующим разрушению при воздействии регламентируемых и тем более повышенных нагрузок.
- разогрев подшипника свидетельствует о том, что он работал на высоких и, возможно, запредельных нагрузках. Напряженное состояние в подшипнике отрицательно влияет на сопрягаемую с ним ступицу и является фактором, способствующим снижению работоспособности ступицы.

По результатам исследований в разделе можно дать следующие комментарии и рекомендации:

- при нагреве сопрягаемые детали подшипник-ступица возможно попадание смазочных материалов подшипника на поверхность цапфы, это может ослабить посадку подшипника и привести к проворачиванию его на цапфе ступицы, заклиниванию и, как следствие, к поломке отдельных деталей узла. Провести серию испытаний для проверки работоспособности узла в условиях повышенного нагружения с целью подбора оптимального конструктивного решения.

- механические испытания образцов-свидетелей проводились при комнатной температуре. В условиях эксплуатации при пробеге ступица колеса нагрелась до температуры порядка 400 °С, о чем свидетельствуют цвета побежалости на подшипнике и цапфе ступицы колеса (рисунки 4 и 5). Необходимо оценить уровень механических свойств при эксплуатационной температуре.
- для исключения или ослабления влияния на работоспособность и стойкость деталей узла, в частности ступицы, металлургических и плавочных особенностей металла, необходимо усилить контроль к качеству закупаемых материалов и ввести входной контроль металлопроката стали перед запуском его в производство на соответствие требованиям соответствующих ГОСТ на металлопродукцию для особо ответственных деталей (ступица).
- возможно изменить требования к состоянию поставки заготовки на ступицу – заменить прокат на штамповку, поковку.
- сталь 60С2ХФА при высоких прочностных характеристиках склонна к низкому уровню пластичности и ударной вязкости. Учесть этот фактор при конструкторских расчётах.

3.2 Определение наилучшего варианта изготовления штамповки ступицы колеса

Далее начаты опытные работы по определению необходимой технологии изготовления ступицы колеса для автомобиля проекта ЕМП в зоне галтели R2,9 с целью достижения оптимального соотношения механических характеристик во всем объеме ступицы [21]. На первом этапе изготовлены поковки тремя разными методами свободнойковки, таблица 12. Исходная заготовка сталь 60С2ХФА.

Таблица 12 – Методы изготовления поковки

Поковка	А – 1 уков	Б – 2 уков	В – 3 уков
Метод получения	Осадка*	Осадка – вытяжка** – осадка	Осадка – вытяжка – осадка – вытяжка – осадка
Примечания: *осадка в торец заготовки. **вытяжка вдоль проката.			

Данный вариант получения заготовки для ступиц показал неудовлетворительные результаты по всем исследуемым показателям протокола исследования [25]. В связи с этим продолжались работы по отработке технологии изготовления ступиц на основании таблицы 13 о выборе исходной заготовки для штамповок ступиц.

Таблица 13 – Характеристика пробы

№ партии	Вид исходной заготовки	Марка
№ 1	кованая >80х250 мм из круга >210х40	60С2ХФА
№2	>75х250, вырезанная из прутка >210	60С2ХФА
№ 4	пруток >80х3000	60С2А*
Примечание: *допущена конструктором по устному соглашению		

Виды исследования:

- ## Исследования исходных заготовок.

Проведен контроль макроструктуры исходных заготовок. Макроструктура шлифов партий исходных заготовок №1, №2, №4, вырезанных в поперечном сечении прутков, представлена на рисунках 18 и 19.

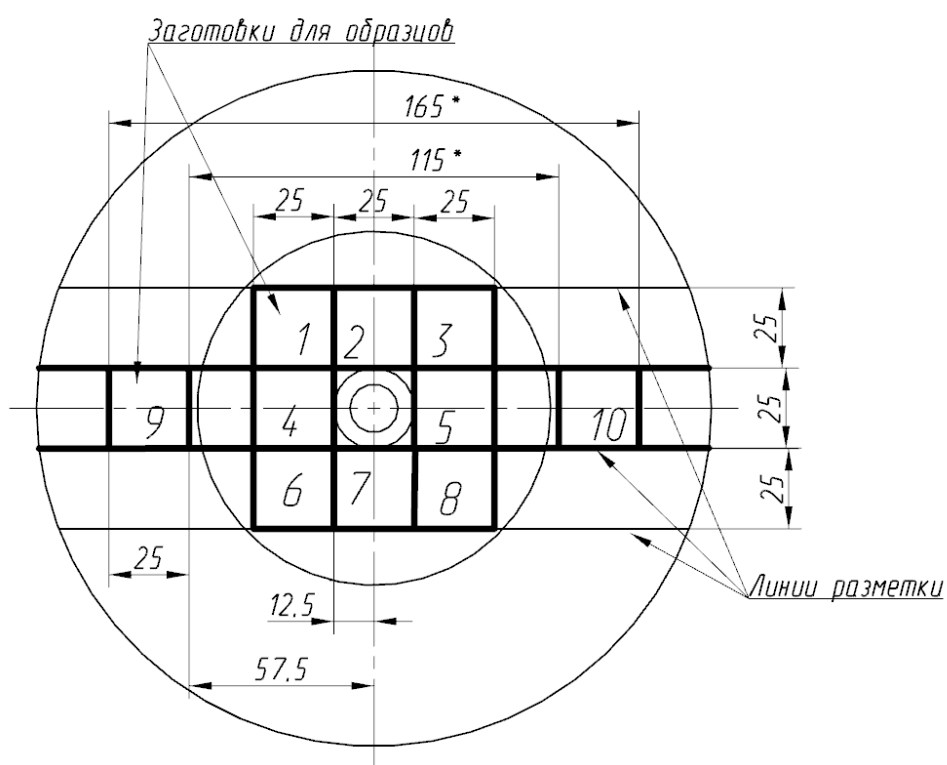


Рисунок 18 – Чертеж выпилки образцов для испытаний (вид сверху)

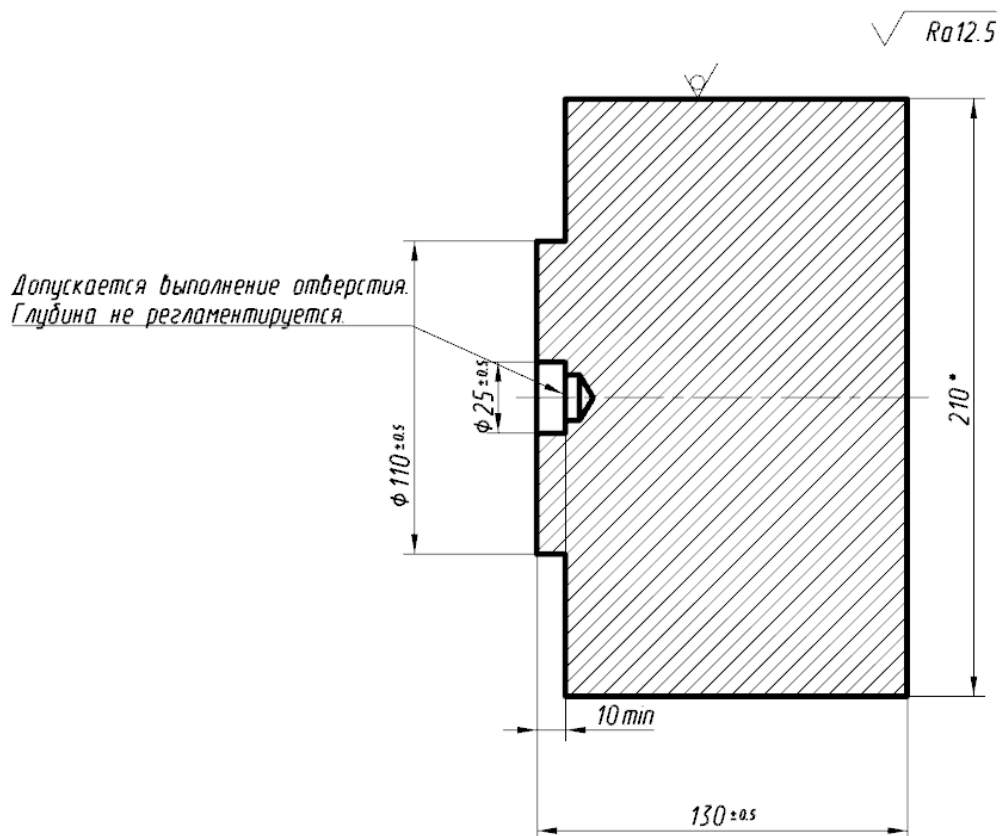


Рисунок 19 – Чертеж выпилки образцов для испытаний (вид сбоку)

Классификацию и оценку качества макроструктур проводили по ГОСТ 10243-75 и по ГОСТ 14959-2016.

В плоскости темплетов, вырезанных в поперечном сечении заготовок, выявлены:

- в партии №1 точечная неоднородность 2-3-го балла, что не допускается требованиями ГОСТ 14959-2016 на металлопродукцию п. 6.9.1; распределение неоднородности текстуры волокна по сечению круга равномерное;
- в партии №2 центральная пористость 4-го балла, что не допускается требованиями ГОСТ 14959-2016 на металлопродукцию п. 6.9.1. Распределена неплотно волокна и дефектов объясняется неравномерно по сечению круга, со смещением на одну половину диаметра. Это объясняется особенностями вырезки исходной

заготовки;

- в партии №4 точечная неоднородность 1-го балла, что допускается требованиями ГОСТ 14959-2016 на металлопродукцию п. 6.9.1, распределение неоднородности текстуры волокна по сечению круга равномерное.

Макроструктура на продольных образцах показана для представления общей картины распределения плотности текстуры волокна проката и металлургических дефектов по сечению и длине прутков. На всех исходных заготовках плотность текстуры волокна неравномерно распределяется по длине и сечению проката.

Текстура волокна на заготовке №4 более равномерная и плотная по сечению и длине прутка, чем на заготовках №1 и №2.

Химический анализ материала показал, что по содержанию химических элементов металл исходных заготовок соответствует:

- партии №1 и №2 марке 60С2ХФА, регламентируемой требованиями чертежа;
- партии №4 марке 60С2А, что не соответствует требованиям чертежа.

Все образцы исходных заготовок прошли термическую обработку на соответствие ТТ чертежа с обеспечением твердости металла 32-36HRC и испытаны на растяжение согласно ГОСТ 1497-84.

Усредненные результаты механических испытаний металла заготовок приведены в таблице 14.

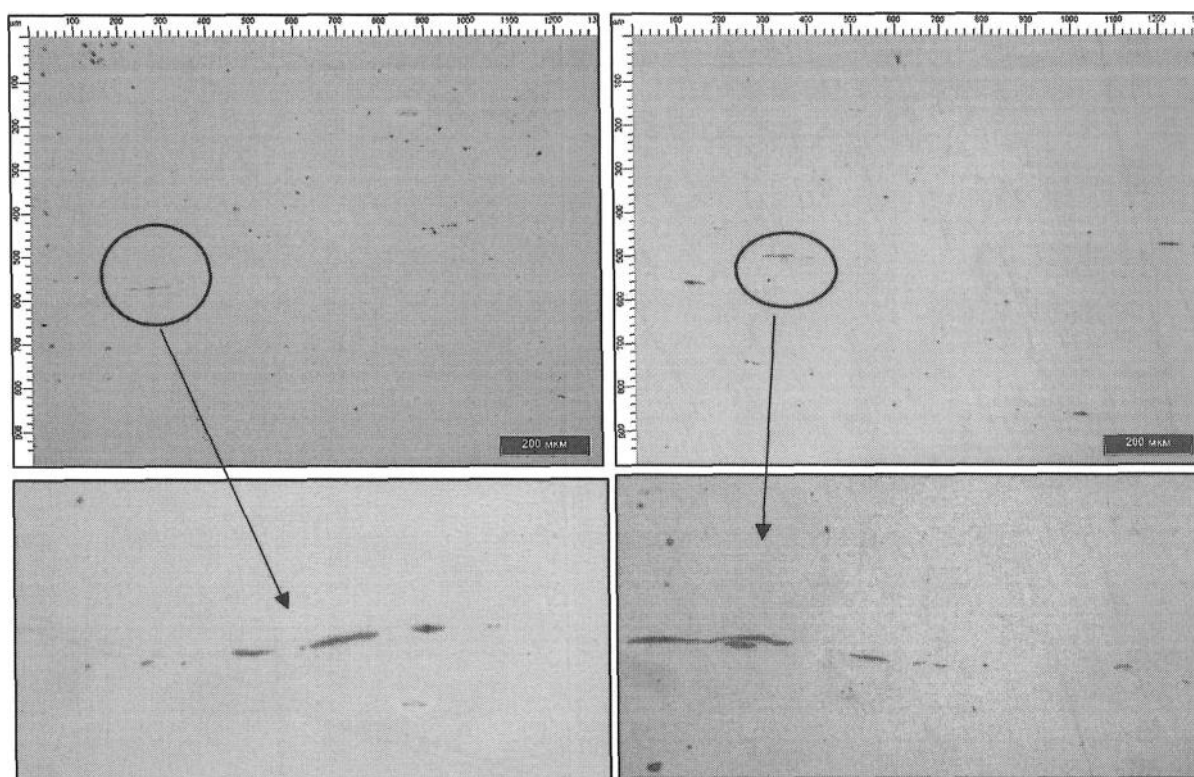
Таблица 14 – Усредненные результаты механических испытаний

Номер исходной заготовки	Временное сопротивление, σ_b , МПа (% отклонение от ТТ чертежа)	Условный предел текучести, $\sigma_{0,2}$, МПа	Относительное удлинение, δ , %
№1	1196 (16%)	1026	14,7 (32%)
№2	1159 (14%)	989	15 (33%)
№3	1282 (22%)	1099	13 (23%)

Загрязненность металла неметаллическими включениями (далее НМВ) определялась на нетравленных шлифах при увеличении в 100 раз методом сравнения с эталонными шкалами (метод Ш4 ГОСТ 1778-70) [2]. Виды и оценка НМВ приведены в таблицах 15 и 16. Общая картина загрязненности; металла и некоторые виды включений представлены на рисунке 20.

Таблица 15 – Загрязненность металла неметаллическими включениями

Номер исходной заготовки	Вид НМВ	Балл
1	оксиды точечные, ОТ	1a
	сульфиды, С	2a, 26
2	оксиды точечные, ОТ	1a
	сульфиды, С	2a, 36
4	оксиды точечные, ОТ	1a
	сульфиды, С	2a, 2,56
	нитриды строчечные, НС	1a



1- №1

2 - №4

Рисунок 20 – НМВ, увеличение в 500 раз

Таблица 16 – Результаты по соответствию заготовок

Исходная заготовка	Макроструктура металла	Химический анализ	Механические свойства	Загрязненность НВМ
№1	-	+	+	+
№2	-	+	+	-
№3	+	-	+	+
Примечания: «+» соответствует; «-» не соответствует.				

Исходная заготовка №4 показывает наилучшие результаты по всем показателям исследования (кроме марки материала, но замена марки должна быть согласована с конструктором).

Исследования штамповок.

Согласно «Программы исследований штамповок по отработке технологии изготовления ступицы» проведено металлографическое исследование штамповок.

Макроструктура показала для представления общей картины распределения текстуры волокна и металлургических дефектов по сечению штамповок. На всех темплетах прокатное волокно практически повторяет контур штамповки. На штамповках №1 и №4 наблюдается равномерное уплотнение металла по контуру заготовки, в том числе у основания цапфы по месту расположения опасного сечения – радиуса R2.9.

На темплете №2 распределение неплотности волокна и металлургических дефектов в виде пустот неравномерное по сечению штамповки, со смещением на одну половину заготовки, особенно в районе радиуса R2.9. Это объясняется особенностями вырезки исходной заготовки. Пустоты в металле исходной заготовки не устраняются при раскатке и повторяются на темплете штамповки.

Пятна ржавчины и темные участки на темплетах не влияют на качество текстуры металла, так как связаны с некачественным изготовлением

макрошлифов ввиду отсутствия надлежащего лабораторного оборудования.

Текстура волокна на штамповке №4 более плотная по всему сечению темплета, чем на штамповках №1 и №2.

Механические характеристики проверены по всему объему штамповок, образцы вырезаны:

- в продольном направлении относительно основной оси из цапфы ступицам,
- в поперечном направлении к основной оси детали из венца ступицы.

Образцы, вырезанные для механических испытаний и оценки микроструктуры, прошли термическую обработку по соответствию ТТ чертежа – твердость 32-36 HRC [16]. Результаты замеров твердости приведены в таблице 17.

Таблица 17 – Твердость образцов

Штамповка	№ 1	№2	№4
Твердость, HRC	36	36	33-35
Микроструктура металла всех штамповок однотипная, состоит из сорбита отпуска разной дисперсности. Дефектов термообработки типа окисление границ зерен или пережога металла в плоскости шлифов, вырезанных по течению штамповки, не выявлено.			

Распределение неплотности волокна и металлургических дефектов в виде пустот неравномерное по сечению штамповки наблюдается со смещением на одну половину заготовки. Это объясняется особенностями вырезки исходной заготовки. Пустоты в металле исходной заготовки не устраняются при раскатке и повторяются. Усредненные результаты механических испытаний металла заготовок приведены в таблице 18.

Таблица 18 – Усредненные результаты механических испытаний

Номер штамповки	Из цапфы			Из венца		
	Временное сопротивл ение, σ_b , МПа	Условный предел текучести, $\sigma_{0,2}$, МПа	Относитель ное удлинение, δ , %	Временное сопротивл ение, σ_b , МПа	Условный предел текучести, $\sigma_{0,2}$, МПа	Относитель ное удлинение, δ , %
№1	1250	1133	13,8	1244	1132,8	14,8
№2	1255	1140,6	14,8	1259	1147,8	14,9
№4	1178	1037,6	11,8	1191,5	1055,5	15,1

Загрязненность металла неметаллическими включениями определялась на нетравленных шлифах. Виды и оценка НМВ приведены в таблицах 19 и 20. Общая картина загрязненности металла и некоторые включений претерпели незначительные изменения в процессе раскатки, сохранили свой вид и в общем имеют те же картины, что и на рисунке 20.

Таблица 19 – НМВ в плоскости шлифа

Номер штамповки	Вид НМВ	Балл
1	оксиды точечные, ОТ	1a
	сульфиды, С	2a
2	оксиды точечные, ОТ	1a
	сульфиды, С	2b
4	оксиды точечные, ОТ	1a
	сульфиды, С	2a

Таблица 20 – Результаты по соответствию штамповок

Исходная заготовка	Макроструктура металла	Механические свойства	Загрязненность НМВ
№1	-	+	+
№2	-	+	-
№3	+	+	+
Примечания: «+» соответствует; «-» не соответствует.			

Текстура волоконная штамповка №4 более плотная по всему сечению темплета, чем на штамповках №1 и №2, хотя наблюдается некоторое снижение механических характеристик по сравнению со штамповкой №1.

Результатами проведенных исследований являются:

- все заготовки прошли термическую обработку на соответствие ТТ чертежа с обеспечением твердости 32-36 HRC (термоулучшение). Судя по микроструктуре и твердости, качество термической обработки металла ступиц удовлетворительное.
- макроструктура металла штамповки №1 в плоскости темплета плотная по сечению штамповки, без ярко выраженных дефектов текстуры металла типа пустоты, неоднородности, которые присутствовали в исходной заготовке и прерывали допустимые нормы;
- в плоскости темплета №2 выявлены четко выраженные дефекты металла типа пустот и неоднородностей, неравномерно распределенные по сечению штамповки. Аналогичные дефекты выявлены на исходной заготовке и прерывают допустимые нормы;
- макроструктура металла как исходной заготовки, так и штамповки №4 в плоскости темплета плотная по сечению штамповки, без ярко выраженных дефектов текстуры металла пустоты, неоднородности;
- по результатам механических испытаний металла все штамповки соответствуют требованиям чертежа по уровню механических характеристик – прочность (временное сопротивление) не менее 1000 МПа, относительное удлинение не менее 10%;
- временное сопротивление и относительное удлинение штамповки №4 ниже, чем у штамповок №1 и №2, несмотря на плотную текстуру волокна темплета. Сравнивать показатели этих штамповок между собой некорректно ввиду того, что разная марка материала;

- высокий уровень загрязненности металла неметаллическими включениями выявлен в штамповке №2;
- уровень загрязненности неметаллическими включениями в штамповках №1 и №4 низкий.

В итоге исследований в рамках раздела можно сделать следующий вывод:

- по результатам проведённых исследований наиболее предпочтительный вариант изготовления штамповок в качестве исходной заготовки для ступицы колеса можно предложить вариант партии №4. Это исходная заготовка – прокат круг $\varnothing 80$ мм. Сталь, предложенная для исследования, 60С2А.

По результатам исследований в разделе можно дать следующие комментарии и рекомендации:

- использование исходной заготовки по типу партии №2 (вырезка круга $\varnothing 75$ мм из проката $\varnothing 210$ мм) нежелательна в виду повышенной загрязнённости металла металлургическими дефектами в виде пустот и ликвационных неоднородностей по сечению круга $\varnothing 210$ мм.
- несмотря на удовлетворительные результаты исследования относительно партии №1, использование для штамповки перекованной заготовки по типу №1 повышает риск получения пережога металла в процессе нагрева под многократный переков исходного проката. Также в макроструктуре металла исходной заготовки выявлены дефекты типа пустоты, неоднородности, которые превышают допустимые нормы.
- с целью исключения получения трещин в металле при последующем поверхностном упрочнении ТВЧ на высокоуглеродистой стали марки 60С2А, возможно рассмотреть изготовление ступицы из марки с содержанием углерода в пределах 0,40-0,45% (типа 40ХН2МА, 38ХН3МФА, 38Х2Н2МА, 45ХН2МФА).

Заключение

Исходя из анализа результатов работы, можно выделить следующее:

- повышение прочности ступицы колеса необходимо для обеспечения надежной работы ходовой части автомобиля.
- повышенные нагрузки на ступицу колеса приложены лишь на некоторые поверхности. В связи с чем не целесообразно упрочнять всю ступицу.
- в макроструктуре металла ступицы присутствует точечная неоднородность пограничного с нормой уровня 2-го – 3-го балла при норме не более 2-х баллов в соответствии с требованиями ГОСТ 14959.
- разрушение ступицы произошло по усталостному типу с лавинообразным изломом почти по всему течению цапфы. Что говорит о высокой нагрузке при эксплуатации. Очагами зарождения усталостных трещин могли послужить газовые включения точечной неоднородности в металле.
- судя по строению излома, нагрузки на деталь были циклические, знакопеременные и значительно превышающие прочностные характеристики металла.
- поверхностное упрочнение нагруженных поверхностей ступицы колеса возможно различными методами, такими как метод газопламенного упрочнения и пластической деформации, плазменная термообработка и химико-термическая обработка, закалка методом ТВЧ.

В связи с изложенным, цель настоящей работы, а, именно повышение твердости и износостойкости высоконагруженных поверхностей ступицы колеса из стали 60С2ХФА путем поверхностного упрочнения была достигнута.

Список используемых источников

1. Ахметзянов М.Х. Применение метода фотоупругих покрытий для определения напряжений и деформаций в гибких плитах и оболочках / М.Х. Ахметзянов – Изд. АН СССР. ОН. Механика и машиностроение, 1964. – № 1.
2. Биргер И.А. Некоторые математические методы решения инженерных задач / И.А. Биргер – М. : Физматгиз, 1961. – 284 с.
3. Бобровский А.В. Аналитическое исследование распределения остаточных напряжений в заготовке после механической обработки. Сборник научных трудов. Наука. Техника. Образование. Тольятти и регионы / А.В. Бобровский, В.А. Гуляев – Тольятти : 1999. – с. 178-182.
4. Браславский Д.А. Точность измерительных устройств / Д.А. Браславский, В.В. Петров – М. : Машиностроение, 1976. – 162 с.
5. Вознесенский В.А. Статистические методы планирования эксперимента в технико-экономических исследованиях / В.А. Вознесенский – М. : Статистика, 1974. – 192 с.
6. ГОСТ 1497-84. Металлы. Методы испытаний на растяжение (с Изменениями №1, 2, 3)
7. ГОСТ 1778-70. Металлографические методы определения неметаллических включений (с Изменениями № 1, 2).
8. ГОСТ 7564-97 «Прокат. Общие правила отбора проб, заготовок и образцов для механических и технологических испытаний»
9. ГОСТ 10243-75 (СТ СЭВ 2837-81) «Сталь. Методы испытаний и оценки макроструктуры (с Изменением №1)»
10. ГОСТ 14959-2016Metalлопродукция из рессорно-пружинной нелегированной и легированной стали. Технические условия (с Поправкой).
11. 6. ГОСТ 18442-80 Контроль неразрушающий. Капиллярные методы. Общие требования (с Изменениями №1, 2).

12. Зверева А.М., Гуляев В.А. Физическое моделирование конструкционных задач механики // Студенческий форум: электрон. научн. журн. 2020. № 23(116). URL: <https://nauchforum.ru/journal/stud/116/74578> (дата обращения: 29.06.2020)
13. Зорин И.С. О хрупком разрушении упругой плоскости, ослабленной тонким вырезом. Вестник ЛГУ / И.С. Зорин – Л. : 1982. – № 7.
14. Ивлев Д.Д. Теория упрочняющегося пластического тела / Д.Д. Ивлев, Г.И. Быковцев – М. : Наука, 1971. – 232 с.
15. Игнатьков Д.А. Остаточные напряжения в неоднородных деталях / Д.А. Игнатьков – Кишинев : Штиница, 1992. – 232 с.
16. Ильюшин, А.А. Механика сплошной среды / А.А. Ильюшин – М. : Изд. МГУ, 1978. – 256 с.
17. ИОТ Р-022-2021 Инструкция по охране труда при работе с электроинструментом, ручными электрическими машинами.
18. ИОТ Р-023-2021 Инструкция по охране труда для слесарей механосборочных работ.
19. ИОТ Р-025-2021 Инструкция по охране труда при работе с ручным слесарным инструментом.
20. ИОТ Р-033-2006 Инструкция по охране труда для слесарей.
21. ИОТ Р-063-2021 Инструкция по охране труда для работников, производящих погрузочно-разгрузочные работы и складирование грузов механизированным способом и вручную.
22. ИОТ Р-135-2021 Инструкция по охране труда для инженеров-специалистов по неразрушающему контролю.
23. ИОТ Р-187-2018 Инструкция по охране труда при работе с контрольно-измерительными приборами.
24. Кобрин М.М. Определение внутренних напряжений в цилиндрических деталях / М.М. Кобрин, Л.И. Дехтярь – М. : Машиностроение, 1965. – 175 с.

25. Койтер В.Т. Общие теоремы теории упруго-пластических сред / В.Т. Койтер – М. : Изд. Иностранной литературы, 1961. – 80 с.
26. Москвитин В.В. Пластичность при переменных нагрузениях / В.В. Москвитин – М. : Изд. МГУ, 1965. – 264 с.
27. Остаточные напряжения / Ред. Осгуд В.Р. – М. : ИЛ, 1957. – 169 с.
28. Пригоровский Н.И. Экспериментальные методы исследования объемного напряженного состояния / Н.И. Пригоровский – М. : Наука, 1966. – 238 с.
29. Прошко В.М. Исследование напряжений на объемных моделях / В.М. Прошко – М. : Изд. АН СССР, 1956. – 342 с.
30. Сердобинцев Ю. П., Иванников, А. В. Решение задач конструктора в рамках интеллектуальной информационной системы конструкторско-технологического проектирования пар трения с заданными триботехническими характеристиками: Тезисы докладов Юбилейной научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава, посвященной 70-летию высшего строительного образования в Волгоградской области. / ВолгГАСА. – Волгоград, 2000. –76 с.
31. Сердобинцев Ю. П., Сосков, А. А., Игумнов, А. В. Метод повышения износостойкости штампового инструмента при производстве керамических изделий: Автоматизация технологических процессов в машиностроении // Межвуз. сб. науч. тр. / ВолгГТУ. – Волгоград, 1998. – 42 с.
32. Спиридонов А.А. Планирование эксперимента при исследовании технологических процессов / А.А. Спиридонов – М. : Машиностроение, 1981. – 184 с.
33. Сухарев И.П. Исследования деформаций и напряжений методом муаровых полос / И.П. Сухарев, Б.Н. Ушаков – М. : Машиностроение, 1969. – 208 с.
34. Технологическая инструкция №1 «Термическая обработка отливок и заготовок», ФГУП «НАМИ».

35. Технологические напряжения. Труды II Всесоюзного симпозиума / – М. : 1985. – 390 с.
36. Физика прочности композиционных материалов. Материалы III Всесоюзного семинара / – Л. : 1979. – 264 с.
37. Финк К. Измерение напряжений и деформаций / К. Финк, Х. Рорбах – М. : Машгиз, 1961. – 368 с.
38. Челноков В.А. О спектральном методе в прогнозировании прочности композиционных материалов / В.А. Челноков, М.Н. Голобородько – Л. : 1979. – 156 с.
39. Шевченко Ю.Н. Термопластичность при переменных нагрузениях / Ю.Н. Шевченко – К. : Наукова Думка, 1970. – 288 с.
40. Chen, H., Yang, Y., Wang, Y., & Wang, L. (2014). Study on the effect of beam parameters on automobile bumper collision performance. *Energy Education Science and Technology Part A: Energy Science and Research*, 32(5), 4373-4380.
41. Gulyaev, V. & Kozlov, A. & Loginov, N. Problems of mathematical modelling of elastic boundary value in the stress-strain state of car body elements. In: *IOP Conference Series, Materials Science and Engineering*. 2019. Vol. 560. DOI: 10.1088/1757-899X/560/1/012143.
42. Gulyaev, V. & Kozlov, A. & Loginov, N. Technological equipment parts rough surfaces elastic-plastic strain under compression mathematical modelling. In: *Overview of the International Conference on Applied Physics, Information Technologies and Engineering. Journal of Physics, Conference Series*. 2019. Vol. 1399. DOI: 10.1088/1742-6596/1399/4/044054.
43. Dixit Y., Begeman P., Dhaliwal G. S., Newaz G., Board D., Chen Y., & Faruque O. (2017). Crashworthiness performance of carbon fiber composite (CFC) vehicle front bumper crush can (FBCC) assemblies subjected to high speed 40% offset frontal impact. Paper presented at the ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition, Proceedings (IMECE), 910.1115/IMECE2017-70357.

44. Ispas N., & Nastasoiu M. (2017). Analysis of car's frontal collision against pole. Paper presented at the IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 252(1)10.1088/1757-899X/252/1/012012.
45. Kostek R., & Aleksandrowicz P. (2017). Simulation of car collision with an impact block. Paper presented at the IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 252(1)10.1088/1757-899X/252/1/012008.
46. Kostek R., & Aleksandrowicz P. (2017). Simulation of the right-angle car collision based on identified parameters. Paper presented at the IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 252(1)10.1088/1757-899X/252/1/012013.
47. Kulkarni A., Vora R., & Ravi K. (2017). Study design and analysis of automobile bumper for pedestrian safety. Paper presented at the IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 263(6)10.1088/1757-899X/263/6/062060.
48. Li Z., Duan L., Chen T., & Hu Z. (2018). Crashworthiness analysis and multi-objective design optimization of a novel lotus root filled tube (LFT). Structural and Multidisciplinary Optimization, 57(2), 865-875. 10.1007/s00158-017-1782-5.
49. Patil S., Tay Y. Y., Baratzadeh F., & Lankarani H. (2017). Modeling of friction-stir butt-welds and its application in automotive bumper impact performance part 2. impact modeling and bumper crash performance. Journal of Mechanical Science and Technology, 31(7), 3225-3232. 10.1007/s12206-017-0612-4.
50. Teng T. -, Chang P. -, Liang C. -, & Fung D. -. (2017). Application of crash pulse on the car crashworthiness design. Advances in Mechanical Engineering, 9(9), 1-8. 10.1177/1687814017700096.

Приложение А

Ступица колеса задней оси

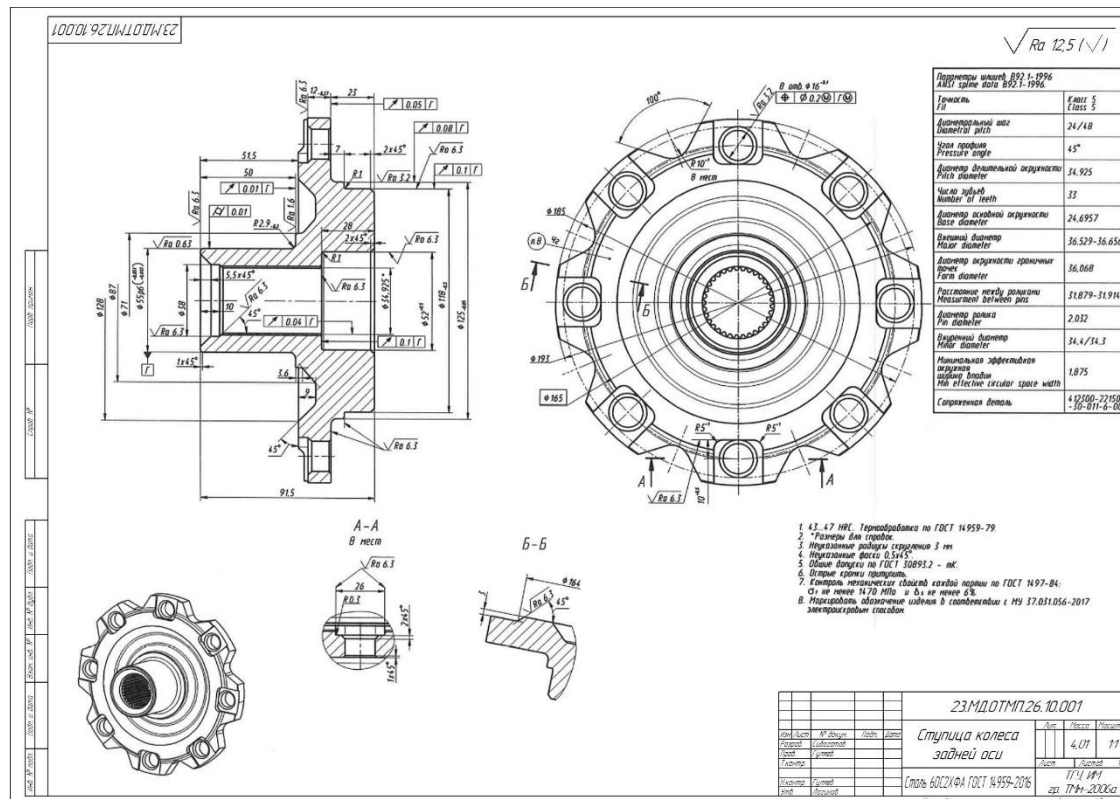


Рисунок А.1 – Чертеж детали