

РАЗДЕЛ 2. МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

УДК 629.463.014.3

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ДЕТАЛЕЙ ИЗГОТОВЛЕННЫХ ИЗ СПЕЦИАЛЬНОГО ЧУГУНА ЧМН-35М

А.В. Габец, А.М. Марков, Д.А. Габец

Колпак скользуна является тяжелонагруженной сменяемой деталью установленной в тележке грузового вагона, ввиду низких служебных свойств стального колпака предложено применение чугуна в качестве альтернативного материала. Чугун с повышенной износостойкостью получается путем его легирования чугуна СЧ35 молибденом и никелем при модифицировании цирконием, барием, кальцием и алюминием.

Исследования полученного сплава показало, что его механические свойства в полной мере могут обеспечивать необходимую износостойкость и повышенные прочностные характеристики, а структура материала позволяет улучшить фрикционные параметры трибосочетаний пар трения узлов тележки грузового вагона.

С помощью компьютерного моделирования проведен прочностной анализ конструкции чугунного колпака скользуна при различных режимах его работы.

Ключевые слова: колпак скользуна тележки грузового вагона, серый чугун марки СЧ35, чугун марки ЧМН-35М, легирование и модифицирование чугуна, химический состав, микроструктура, механические свойства, износостойкость.

ВВЕДЕНИЕ

Одной из ответственных деталей грузового железнодорожного вагона, определяющей его эксплуатационную надежность, является колпак скользуна. Колпак устанавливается на опору в надрессорной балке тележки (рисунок 1) и предназначен для удерживания кузова вагона при действии боковых сил.

Значительное влияние на динамику вагона и на преждевременный износ деталей тележки грузового вагона оказывают зазоры в горизонтальных скользунах. Суммарный зазор между скользунами с обеих сторон тележки у четырехосных вагонов должен быть не менее 4 и не более 20 мм. Отсутствие зазоров между скользунами по диагонали не допускается. Применяемые материалы при производстве скользунов не в полной мере обеспечивают безопасную эксплуатацию вагонов. В текущий ремонт из-за неисправностей тележек поступает около 14 % вагонов, большинство из-за преждевременного износа фрикционного клина и колпака скользуна [1, 2].

В настоящее время российской промышленностью колпак скользуна чаще всего изготавливается из стали 20ГЛ (ГОСТ 977-88). Данный материал не в полной мере, обеспечивает регламентированный пробег грузового вагона, составляющий, согласно норматив-

ной документации, не менее 160 тыс. км или трех лет эксплуатации.



Рисунок 1 – Место установки колпака скользуна на тележке

АНАЛИТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЯ СЛУЖЕБНЫХ СВОЙСТВ КОЛПАКА СКОЛЬЗУНА В ЭКСПЛУАТАЦИИ

Неисправности деталей тележки выражаются в изменении их первоначальных форм, размеров, массы, структуры материала и механических свойств, а также в изменении качества поверхностей и нарушении взаимного расположения деталей.

Факторы, определяющие неисправности деталей тележки грузового вагона, можно

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ДЕТАЛЕЙ ИЗГОТОВЛЕННЫХ ИЗ СПЕЦИАЛЬНОГО ЧУГУНА ЧМН-35М

свести в три группы: конструктивные, технологические и эксплуатационные. При правильном их учете и использовании в процессе конструирования, изготовления и эксплуатации деталей тележки грузового вагона могут снизить изнашивание ее деталей, повысить надежность и долговечность.

Нагрузки, действующие на тележки, носят случайный характер и зависят от полезной нагрузки, скорости движения, состояния пути и ряда других факторов, поэтому и отказы также носят случайный характер.

Все дефекты тяжело нагруженных элементов тележки можно разбить на две основные группы: дефекты усталостного происхождения и износы трущихся поверхностей.

Для установления величин износов поверхностей детали в условиях производства обычно применяется размерный способ. Сущность способа заключается в определении разницы в размерах между размерами новой детали и детали на первом деповском ремонте в месте износа.

С целью установления фактического состояния деталей тележки грузового вагона на первом деповском ремонте была разработана методика определения износов деталей тележ-

ки. Данные по износам тележки были собраны на предприятии ОАО «Вагонная ремонтная компания - 2», во время первого деповского ремонта. Дефектацию прошли 260 вагонов.

Увеличение зазоров между скользунами, как правило, происходит из-за износа плоскости трения съемного колпака скользуна (рисунк 2).



Рисунок 2 – Износ колпака скользуна

Количественный анализ износа колпака скользуна представлен на рисунке 3. Износ определялся измерением расстояния от поверхности до центра нижнего отверстия.

№	Износ, мм	Колпак скользуна, шт.
1	до 1	601
2	от 1 до 2	47
3	от 2 до 3	27
4	свыше 3	77
5	дефект	2
	Итого	752



Рисунок 3 – Износ колпака скользуна

Недопустимым считается износ опорной поверхности колпака более 3 мм, следовательно, более 10 % стальных колпаков скользуна не выполняют свои служебные свойства даже до первого деповского ремонта вагона.

В качестве альтернативного материала для колпака скользуна могут использоваться износостойкие чугуны, в частности, чугун марки СЧ35 [3]. Данный чугун, кроме более высокой твердости (210–275 НВ), по сравнению со сталью 20ГЛ (140–160 НВ), содержит в своем составе графит, который играет роль твердой смазки. Однако для обеспечения условий ударно-фрикционной эксплуатации этого не всегда достаточно.

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ НОВОЙ МАРКИ ЧУГУНА

Указанные выше причины, стали основанием для разработки нового высокопрочного чугуна, обладающего улучшенным комплексом основных физико-механических и служебных свойств таких как: меньшая склонность к разрушению и более высокий уровень сопротивления ударному и длительному циклическому воздействию.

Для улучшения механических свойств, в состав регламентируемого химического состава марки чугуна СЧ35, была введена композиция из расчетных легирующих и модифицирующих добавок никеля, молибдена, циркония, бария, кальция, алюминия как элементов

с высокой термодинамической активностью и специфическими физико-химическими свойствами, которые в соотношении с базовыми компонентами существенно влияют на процессы структурообразования литого чугуна, а также положительно воздействуют на форму, размер и дисперсность образующихся феррито-перлитных, графитных и других структурных составляющих [4, 5].

Большое значение в процессе структурообразования серого чугуна и формирования требуемого уровня механических свойств отливок, имеет соотношение содержания графитизирующих элементов углерода и кремния. Исследования показали, что наилучшие результаты обеспечивает содержания углерода до 3,4 % и кремния до 1,6 %, тогда как увеличение этого содержания за указанные пределы приводит к существенному снижению степени эвтектичности чугуна и способствует подавлению механизма графитизирующего модифицирования [6].

Повышению качества литого металла и улучшения его технологичности способствует соблюдение условия, когда отношение Mn/S составляет более 6,5. В этом случае избыточная часть серы в чугуне связывается в

сульфид марганца и выводится в шлак. При несоблюдении указанного требования в сочетании с другими технологическими указаниями, задача получения качественного литья с заданными служебными характеристиками и свойствами существенно усложняется.

Данные рекомендации по разработке химического состава новой марки чугуна для ударно-фрикционных узлов тележки грузового вагона реализованы на Алтайском сталелитейном заводе (ООО «АСЛЗ»), имеющем необходимый комплекс оборудования для выплавки и экспериментальной оценки технологических и служебных характеристик чугуна.

Проведенные исследования образцов, изготовленных из отливок чугуна ЧМН-35М установили, что значение временного сопротивления на разрыв составляет свыше 380 Н/мм² при средней твердости 285 НВ.

Микроструктура чугуна марки ЧМН-35М имеет перлитную или феррито-перлитную металлическую основу с равномерно распределенными включениями пластинчатого, завихренного или гнездообразного графита (рисунок 4): ПГф1, ПГф2-ПГр1, ПГр3-ПГд90-ПГ10-Пт1-П85-ПД0,5-Ц2-Цп2000.

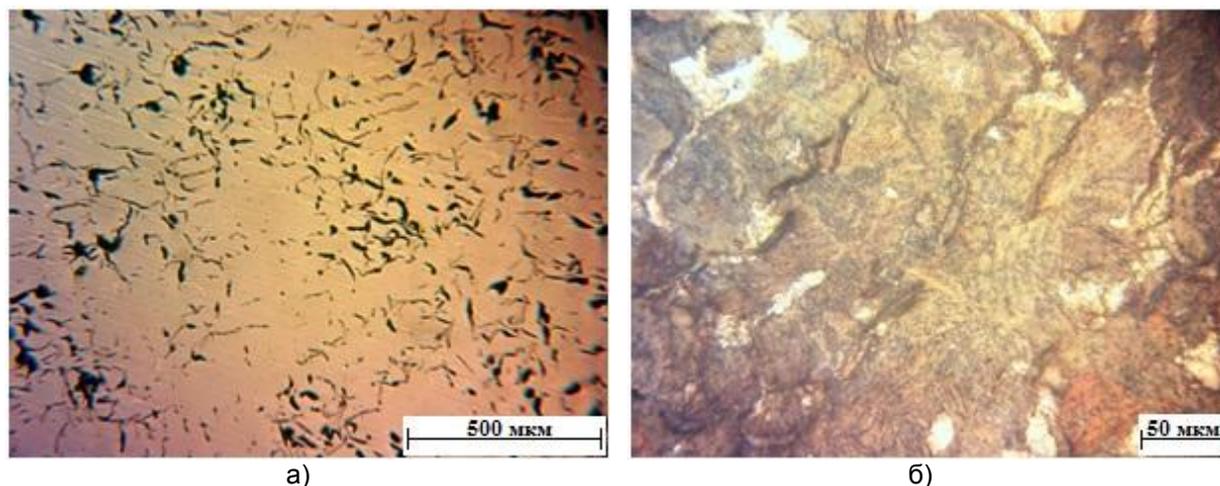


Рисунок 4 – Микроструктура: а) пластинчатая завихренная форма включений графита; б) включения цементита

На основе полученных результатов были разработаны ТУ на химический состав и ме-

ханические свойства чугуна ЧМН-35М, приведенные в таблицах 1 и 2.

Таблица 1 – Химический состав чугуна марки ЧМН-35М

Марка чугуна	Массовая доля элементов, %								
	C	Si	Mn	Mo	Ni	Cr	Cu	P	S
ЧМН-35М	2,5÷2,8	1,3÷1,5	0,7÷1,0	0,6÷0,9	0,5÷0,8	≤0,3	≤0,3	≤0,2	≤0,1

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ДЕТАЛЕЙ ИЗГОТОВЛЕННЫХ ИЗ СПЕЦИАЛЬНОГО ЧУГУНА ЧМН-35М

Таблица 2 – Механические свойства чугуна марки ЧМН-35М

Марка чугуна	Временное сопротивление при растяжении, МПа, (кгс/мм ²), не менее	Твердость по Бринеллю	
		не менее	не более
ЧМН-35М	350 (35)	250	300

Микроструктуру чугуна определяли на шлифах, изготовленных из экспериментальных отливок колпака скользуна. Исследование приводилось на инвертированном микроскопе при увеличениях $\times 100$ и $\times 500$. Просмотр шлифов в нетравленном виде позволил идентифицировать графитную фазу (рисунок 4а).

Структура чугуна содержит включения пластинчатого прямолинейного и завихренного графита равномерного распределения. Длина включений до 120 мкм в количестве до 12 % площади микрошлифа. Металлическая основа: перлит пластинчатый, содержание перлита до 98 % с межпластинчатым расстоянием до 0,8 мкм, включения цементита площадью до 2000 мкм² в количестве до 2 % от площади микрошлифа (рисунок 4б).

Для исследования износостойкости материалов была применена «Методика испытания материалов на износостойкость» разработанная на предприятии ООО «АСЛЗ» [2, 7].

Проведен ряд сравнительных триботехнических испытаний для установления зависимости весового износа, от марки материала в результате взаимодействия трущихся поверхностей. В качестве испытательного оборудования используется машина трения модели 2168 УМТ.

Исследования проводились с использованием специально изготовленных образцов, представляющих собой пару трения «вал –

колодка» (рисунок 5). Образцы в виде вала были изготовлены из серийного серого чугуна марки СЧ35 и чугуна марки ЧМН-35М. В качестве контртела выступают колодки, изготовленные из стали 20ГЛ, 30ХГСА и 09Г2С [8].

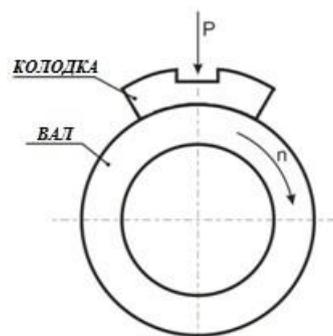


Рисунок 5 – Схема испытания «вал – колодка»

Испытания проводились на режимах, соответствующих условиям эксплуатации:

- длина пути: 1000 метров;
- скорость вращения вала: 500 об/мин;
- нагрузка колодки: 20 кг/см².

Испытания износостойкости каждой пары проводили не менее трех раз.

Результаты определения износостойкости (потери массы) «вала» и «колодки» представлены в таблице 3 и на рисунке 6.

Таблица 3 – Масса весового износа

№	Образец	Материал	Масса весового износа, гр.	Суммарный износ пар трения, гр.
Опора кузова вагона – Колпак скользуна				
1	Колодка	30ХГСА	0,12	1,13
	Вал	СЧ35	1,01	
2	Колодка	30ХГСА	0,05	0,56
	Вал	ЧМН-35М	0,51	
3	Колодка	20ГЛ	0,04	1,02
	Вал	СЧ35	0,98	
4	Колодка	20ГЛ	0,12	0,78
	Вал	ЧМН-35М	0,66	
5	Колодка	09Г2С	0,45	0,80
	Вал	20ГЛ	0,35	
6	Колодка	09Г2С	0,13	0,69
	Вал	ЧМН-35М	0,56	

Анализ величин износа валов и колодок показывает, что износостойкость валов из чугуна марки ЧМН-35М примерно в 1,5 раза выше, чем валов из чугуна СЧ35

Результаты проведенных исследований

подтверждают соответствие свойств колпака скользуна из чугуна марки ЧМН-35М условиям прочности [9, 10]. По сравнению с используемым стальным колпаком скользуна имеются значительные улучшения прочностных свойств.

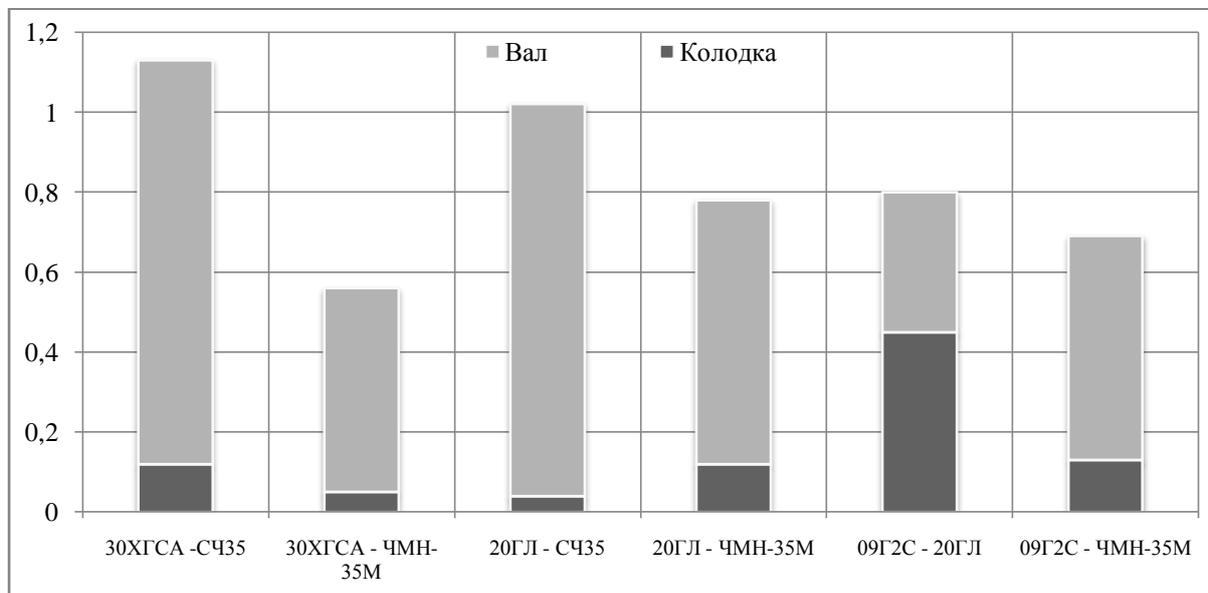


Рисунок 6 – Гистограмма весового износа узла опора кузова вагона – колпак скользуна

На основании сравнения результатов испытаний на машине трения можно утверждать, что чугун ЧМН-35М полностью соответствует эксплуатационным требованиям, что подтверждается испытаниями на износостойкость.

РАСЧЕТ ПРОЧНОСТИ КОЛПАКА СКОЛЬЗУНА ТЕЛЕЖКИ ГРУЗОВОГО ВАГОНА СРЕДСТВАМИ ТВЕРДОТЕЛЬНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

ВЫЧИСЛЕНИЕ РАСЧЕТНЫХ НАГРУЗОК

Так как колпак скользуна является составной частью наддресорной балки, то передаваемые им нагрузки определяются в контексте расчета нормативных параметров ее нагружения [11]. Применяемая схема приложения сил показана на рисунке 7.

При прохождении вагона по прямолинейному участку пути колпак скользуна находится в динамическом равновесии, то есть вертикальная сила P и продольная сила трения H отсутствуют (рисунок 8а).

При прохождении вагона по криволинейному участку пути на колпак начинает действовать вертикальная сила P . В результате поворота тележки относительно кузова вагона в образовавшейся паре трения возникает продольная сила трения H (рисунок 8б). При определенных скоростях движения это может привести к хрупким и усталостным разрушениям, а в некоторых случаях может приводить и к сходу подвижного состава с путей.

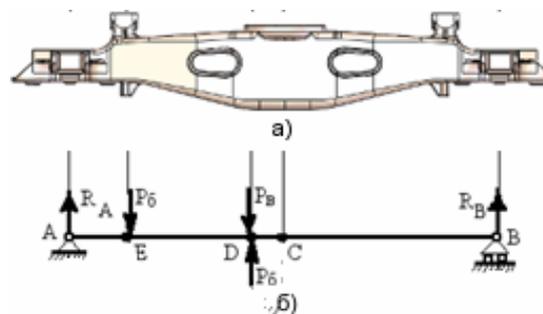


Рисунок 7 – Расчетная схема для определения боковой нагрузки:
а) – наддресорная балка;
б) – расчетная схема

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ДЕТАЛЕЙ ИЗГОТОВЛЕННЫХ ИЗ СПЕЦИАЛЬНОГО ЧУГУНА ЧМН-35М



Рисунок 8 – Схема взаимодействия колпака скользя и опоры кузова вагона: а) – при уравновешенном состоянии кузова вагона, б) – при наклоне вагона под действием боковых сил

Вертикальная нагрузка P , действующая на колпак скользя, определяется расчетным значением вертикальной составляющей от действия центробежных сил на наддрессорную балку тележки P_6 , $P=P_6$.

Продольная сила трения H вычисляется по формуле:

$$H = \mu P_6,$$

где μ – коэффициент трения между рабочими поверхностями бокового скользя;

P – вертикальная нагрузка, действующая на колпак, H .

Для осевой нагрузки в 23,5 т расчетное значение вертикальной составляющей боковой силы $P_6 = 84,4$ кН. При использовании стального колпака коэффициент трения «сталь по стали» $\mu = 0,18$. Тогда $H = 0,18 \cdot 84,4 = 15,2$ кН.

РАЗРАБОТКА 3D-МОДЕЛИ СБОРКИ КОНТАКТИРУЮЩИХ ДЕТАЛЕЙ БОКОВОГО СКОЛЗУНА

3D-модель сборки, используемая для прочностного анализа колпака скользя, разрабатывается в инструментальной среде системы твердотельного моделирования SolidWorks [12]. На первом этапе моделирования создаются 3D-модели деталей скользя: ответной части скользя, установленной на нижнем листе шкворневой балки (рисунок 9а) и колпака скользя тележки (рисунок 9б).

На базе полученных моделей строится исходная 3D-модель сборки (рисунок 9в) с одним угловым таблично управляемым параметром.

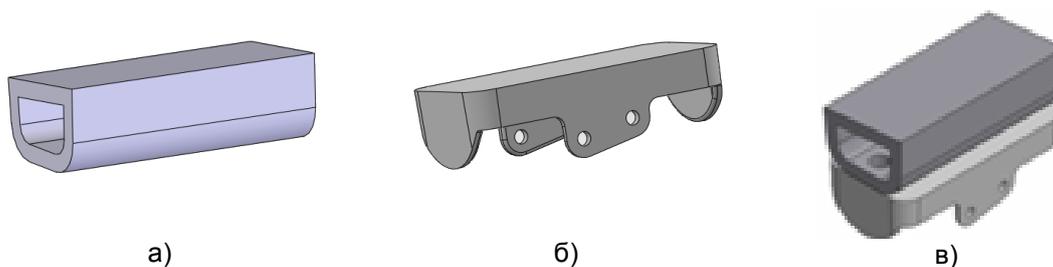


Рисунок 9 – Твердотельные модели: а) – модель ответной части скользя; б) – модель колпака скользя; в) – модель исходной сборки бокового скользя

ПАРАМЕТРИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ 3D-МОДЕЛИ СБОРКИ БОКОВОГО СКОЛЗУНА НА КРИВОЛИНЕЙНОМ УЧАСТКЕ ПУТИ

Взаимное угловое расположение кузова и тележки вагона β при прохождении криволинейных участков пути (рисунок 10а) определяет соответствующее взаимное расположение контактирующих деталей бокового скользя. Величина данного угла определяется как $\beta = 90^\circ - \alpha$. Значение угла α вычисля-

ется из решения прямоугольного ΔACO по формуле:

$$\alpha = \arccos \frac{l}{2 \cdot r},$$

где l – база вагона, м;

r – радиус кривизны участка пути, м.

Полностью параметризованная модель сборки позволяет для каждого установленного значения кривизны пути [13] смоделировать взаимное расположение входящих в нее деталей (рисунок 10б).



Рисунок 10 – Угловое расположение: а – кузова и тележки вагона; б – колпака и ответной части скользуна

ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕЙСТВУЮЩИХ НАПРЯЖЕНИЙ НА КОЛПАК СКОЛЬЗУНА

РАСЧЕТНАЯ МОДЕЛЬ

Предварительно, рабочая 3D-модель сборки бокового скользуна перестраивается для

значения угла β , соответствующего заданному радиусу кривизны пути r . Например, радиусу $r = 200$ м соответствует значение угла $\beta = 1,95^\circ$. Полученный результат твердотельного моделирования (рисунок 11а) загружается в инструментальную среду COSMOSSimulation [14], на базе которой выполняется исследование.

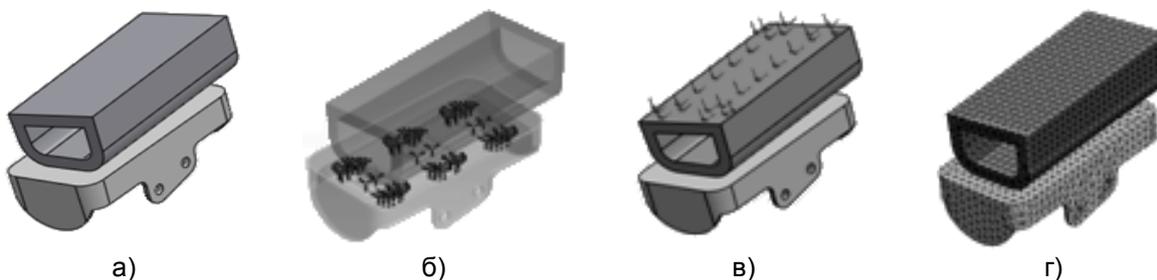


Рисунок 11. – Создание расчетной твердотельной модели сборки: а – исходная твердотельная модель; б – схема закрепления; в – схема приложения нагрузок; г – конечноэлементная сетка

РАСЧЕТ ЭКВИВАЛЕНТНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ

В составе расчетной модели сборки бокового скользуна методом конечных элементов выполняется прочностной расчет колпака скользуна: эквивалентные напряжения (рисунок 12а) и коэффициент запаса прочности (рисунок 12б).

му объему модели не превышают 26,7 МПа, что удовлетворяет установленным в [15] допускаемым напряжениям. При этом расчетный коэффициент запаса прочности составляет не менее 10,5.

РАСЧЕТ УДЕЛЬНОГО ДАВЛЕНИЯ В ОБРАЗУЕМЫХ ПАРАХ ТРЕНИЯ

Различным угловым положениям соответствуют различные варианты силового замыкания в системе «кузов – тележка» (рисунок 13). Возникающее в образуемой скользунами паре трения удельное давление вычисляется по формуле:

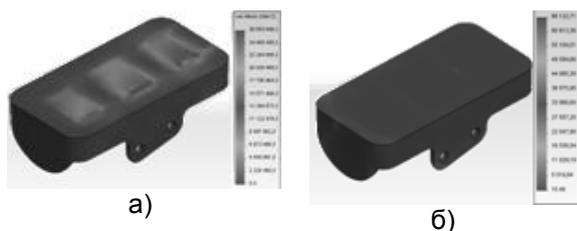


Рисунок 12. – Результаты прочностного расчета колпака скользуна: а – эквивалентные напряжения; б – коэффициент запаса прочности

$$P_{y0} = \frac{P_0}{S},$$

где P_0 – нагрузка, действующая на колпак скользуна (вертикальная составляющая от действия центробежных сил), Н;

S – площадь области контакта, m^2 .

Расчетные значения напряжений по все-

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ДЕТАЛЕЙ ИЗГОТОВЛЕННЫХ ИЗ СПЕЦИАЛЬНОГО ЧУГУНА ЧМН-35М

Средствами SolidWorks моделируется область контакта и автоматически вычисляется ее площадь (рисунок 13).

Площади контакта размером в $10,18 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$ $P_{\text{ул}} = 8,3 \text{ МПа}$ значительно превышает установленное в нормативное значение [15]. Выходом в данной ситуации является увеличение площади контакта внесением согласованных изменений в конструкцию скользунов рамы и тележки грузового вагона, конструктивно изменяя и колпак скользуна тележки.

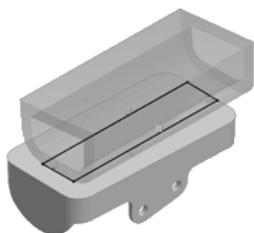


Рисунок 13 – Область контакта в боковом скользуна вагона

В таблице 4 представлены основные показатели расчета прочности колпака скользуна рассчитанные для стали 20ГЛ и чугуна ЧМН-35М во всем диапазоне эксплуатационных нагрузок.

Для колпака скользуна, изготовленного из ЧМН-35М, для которого допускаемое напряжение при статической нагрузке составляет 260 МПа, конструкция удовлетворяет условию прочности. При действии среднеста-

тистических нагрузок коэффициент запаса прочности составляет не менее 7.

При проведении исследований было установлено существенное влияние прочностных свойств колпака скользуна тележки на величину межремонтного пробега грузового вагона [16].

В целом для колпака скользуна из чугуна марки ЧМН-35М расчетами подтверждено соответствие его конструкции условиям производства и эксплуатации. Установлено, что выявленное превышение рекомендованной величины момента трения, возникающего с его участием, в основном зависит от согласованной с ним конструкции скользуна кузова вагона. Применение износостойкого чугуна компенсирует действие этого фактора на износ колпака скользуна. На основе результатов моделирования и технологии изготовления чугунного колпака скользуна из ЧМН-35М, на предприятии ООО «Алтайский сталелитейный завод» была изготовлена опытная партия. Технический контроль показал, что чугунный колпак скользуна полностью соответствует чертежу и техническим требованиям, предъявляемым к данным деталям.

В настоящее время опытная партия колпаков скользуна изготовленных из чугуна ЧМН-35М установлены на полувагоны модели 12-132 на тележках модели 18-100 для проведения пробеговых испытаний на железной дороге [2].

Таблица 4 – Показатели прочности колпака скользуна

Материал колпака скользуна	Состояние колпака скользуна	Радиус пути, м	Максимальное напряжение, МПа	Минимальный коэффициент запаса прочности
Сталь 20ГЛ	Без износа	4000	25,7	19,0
		180	26,7	18,4
		60	74,7	6,6
	С износом	4000	21,2	25,4
		180	27,3	11,5
		60	75,6	4,2
Чугун ЧМН-35М	Без износа	4000	21,2	25,4
		180	24,4	24,8
		60	81,9	7,36
	С износом	4000	18,3	31,6
		180	30,0	28,2
		60	78,1	7,6

ВЫВОДЫ

1. Исходя из проведенных исследований служебных свойств и их фактические эксплуатационные характеристики, наиболее

ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК № 2 2016

перспективным направлением повышения долговечности и работоспособности колпака скользуна, является разработка нового материала на основе серого чугуна марки СЧ35, имеющего наилучшие базовые параметры по

прочности, износостойкости и трибологическим свойствам.

2. На основании сравнения результатов испытаний на износостойкость можно утверждать, что разработанный чугун ЧМН-35М полностью соответствует эксплуатационным требованиям. Материал обеспечивает высокие прочностные, износостойкие и фрикционные свойства с возможностью его работы в паре с опорой кузова вагона, изготовленной из стали 20ГЛ, 09Г2С и 30ХГСА. Применение нового износостойкого чугуна способствует снижению износа трущихся поверхностей, что повышает безаварийность межремонтного пробега

3. Применение систем автоматизированного проектирования, позволило разработать и провести прочностной анализ конструкции чугунного колпака скользуна, а так же выполнить полный комплекс конструкторско-технологических работ по технической подготовке производства данного изделия, с последующим получением физических прототипов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шпади, Д. В. Новым грузовым вагонам – инновационные узлы и детали / Д. В. Шпади // Журнал Техника Железнодорожных дорог. – 2012. – № 1. – С. 46.
2. Габец, А. В. Исследование свойств и разработка эффективной конструкции опоры кузова вагона : монография / А. М. Марков, А. В. Габец, Д. А. Габец. – Барнаул : Изд-во АлтГТУ, 2016. – 81 с.
3. Габец, Д. А. Специальный модифицированный чугун марки ЧМН-35М для тяжело нагруженных деталей тележки грузового вагона / Д. А. Габец, А. М. Марков, А. В. Габец // Тяжелое машиностроение. – 2016. – № 1-2. – С. 23–26.
4. Гольдштейн, Я. Е. Модифицирование и микрولةгирование чугуна и стали / Я. Е. Гольдштейн, В. Г. Мизин. – М. : Металлургия. – 1986. – 272 с.
5. Филиппов, Г. А. Фундаментальные исследования природы хрупкости – основа создания высокопрочных и надежных конструкционных материалов / Г. А. Филиппов // Сталь. – 2004. – № 8. – С. 69–78.
6. Габец, А. В. Специальный чугун для отливки фрикционного клина тележки железнодорожного вагона / А. В. Габец // Ползуновский вестник. – 2013. – № 4/2. – С. 51–52.
7. Чертовских, Е. О. Триботехнические свойства специального чугуна ЧМН-35М / Е. О. Чертовских, Д. А. Габец, В. В. Каргин, А. М. Марков, А. В. Габец // Инновации в машиностроении: 7-я международная научно-практическая конференция. – Кемерово : Изд-во КузГТУ, 2015. – С. 268–273.
8. Марков, А. М. Методика испытания материалов на износостойкость / А. М. Марков, Д. А. Габец, А. В. Габец, В. Н. Некрасов, В. В. Каргин // Инновации в машиностроении – основа технологического развития России. – 2014. – № 4. – С. 253–258.
9. Чертовских, Е. О. Перспективные пары трения литых и конструкционных материалов из сплава Fe-C / Е. О. Чертовских, Д. А. Габец, А. В. Габец // Ползуновский вестник. – 2015. – № 2. – С. 37–42.
10. Пат. 2562554 Российская Федерация, МПК С22С 37/00. Чугун / Габец А. В., Габец Д. А. ; заявитель и патентообладатель ООО «Алтайский сталелитейный завод». – № 2014118635/02 ; заявл. 08.09.14 ; опубл. 10.09.15, Бюл. № 25 – 3 с.
11. Вершинский, С. В. Расчет вагонов на прочность / С. В. Вершинский и др.; под ред. Л. А. Шадура. – 2-е. изд. – М. : Машиностроение, 1971. – 432 с.
12. Прохоренко, В. П. SolidWorks. Практическое руководство / В. П. Прохоренко. – М. : ООО «Бином-Пресс», 2004. – 448 с.
13. СНиП "Система нормативных документов в строительстве строительные нормы и правила Российской Федерации" от 18 октября 1995 г. № 32-01-95 // МИИТ. Москва, 1995 (Минстрой России).
14. Алямовский, А. А. SolidWorks/COSMOS Works. Инженерный анализ методом конечных элементов / А. А. Алямовский. – М. : ДМК Пресс, 2004. – 432 с.
15. Нормы расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных). – М. : ГосНИИВ-ВНИИЖТ, 1996. – 319 с.
16. Габец, А. В. Методика исследования нормируемых показателей прочности колпака скользуна тележки грузового вагона средствами твердотельного моделирования / А. В. Габец, Д. А. Габец, А. В. Семенов, И. В. Левкин // Ползуновский вестник. – 2014. – №4-2. – С. 196–199.

Габец Александр Валерьевич, кандидат технических наук, директор по развитию, руководитель научно исследовательского сектора ООО «Алтайский сталелитейный завод», 656037, Алтайский край, г. Барнаул, пр-т Калинина, д. 116/52. тел.: (3852)50-18-87, e-mail: gabeca@mail.ru.

Марков Андрей Михайлович, доктор технических наук, профессор, Профессор кафедры «Технология машиностроения» ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», 656038, г. Барнаул, пр. Ленина, 46, e-mail: andmarkov@inbox.ru.

Габец Денис Александрович, аспирант, ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», 656038, г. Барнаул, пр. Ленина, 46, тел.: +79635332000, e-mail: gabets22@mail.ru.