

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Сибирский федеральный университет»

На правах рукописи



КОСОВИЧ Александр Александрович

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА АВТОМОБИЛЬНЫХ КОЛЕС  
ИЗ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ  
ПРИ ЛИТЬЕ ПОД НИЗКИМ ДАВЛЕНИЕМ  
ПУТЕМ ПРИМЕНЕНИЯ НОВЫХ РАЗДЕЛИТЕЛЬНЫХ ПОКРЫТИЙ

05.16.04 – Литейное производство

Диссертация на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Научный руководитель:  
Гильманшина Татьяна Ренатовна,  
кандидат технических наук, доцент

Красноярск – 2017

## СОДЕРЖАНИЕ

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ .....	4
ВВЕДЕНИЕ .....	5
1. ПОКРЫТИЯ В ЛИТЕЙНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ.....	9
1.1. Характеристика метода литья под низким давлением .....	9
1.2. Классификация дефектов литых автомобильных колес .....	15
1.3. Разделительные покрытия для литья под низким давлением .....	18
1.4. Управление качеством литых автомобильных колес путем изменения состава и свойств разделительных покрытий пресс-форм .....	28
1.5. Выводы и постановка задач исследования .....	36
2. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И МАТЕРИАЛЫ.....	37
2.1. Этапы производства легкосплавных колес .....	37
2.2. Исходные компоненты разделительных покрытий .....	39
2.3. Методы оценки свойств разделительных покрытий .....	44
2.4. Методы оценки влияния разделительных покрытий на литейные свойства сплава и качество колес .....	47
2.5. Моделирование процесса литья колес из сплава АК12 в пресс-формах с нанесенным разделительным покрытием.....	50
2.6. Выводы .....	53
3. РАЗРАБОТКА ИМПОРТОЗАМЕЩАЮЩИХ ПОКРЫТИЙ ПРЕСС-ФОРМ ДЛЯ ЛИТЬЯ ПОД НИЗКИМ ДАВЛЕНИЕМ .....	54
3.1. Разработка теплопроводящего покрытия пресс-форм .....	54
3.2. Разработка теплоизолирующего покрытия пресс-форм .....	66
3.3. Прогнозирование эффективности покрытий путем моделирования процесса литья в окрашенную пресс-форму.....	73

3.4. Выводы .....	79
4. ПРОМЫШЛЕННАЯ АПРОБАЦИЯ РАЗРАБОТАННЫХ ПОКРЫТИЙ ПРЕСС- ФОРМ .....	80
4.1. Внедрение теплопроводящего разделительного покрытия .....	80
4.2. Испытания теплоизолирующего разделительного покрытия .....	86
4.3. Выводы .....	91
ВЫВОДЫ .....	92
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	94
ПРИЛОЖЕНИЕ 1 .....	109
ПРИЛОЖЕНИЕ 2 .....	110
ПРИЛОЖЕНИЕ 3 .....	111
ПРИЛОЖЕНИЕ 4 .....	113
ПРИЛОЖЕНИЕ 5 .....	115
ПРИЛОЖЕНИЕ 6 .....	117

## УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

ЛНД – литье под низким давлением

РП – разделительное покрытие

$\rho$  – плотность, кг/м<sup>3</sup>

$\lambda$  – коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К)

$a$  – коэффициент температуропроводности, мм<sup>2</sup>/с

ДТА – дифференциальный термический анализ

ОП – относительная оптическая плотность газа

W – ширина колеса, дюйм

D – диаметр колеса, дюйм

LZ – количество отверстий под посадочные болты, шт

PCD – диаметр расположения отверстий под посадочные болты, мм

ET – вылет колеса, мм

DIA – диаметр центрального отверстия для посадки на ступицу, мм

## ВВЕДЕНИЕ<sup>1</sup>

Литье под низким давлением – один из наиболее автоматизированных и высокопроизводительных способов получения крупносерийных фасонных изделий из легких сплавов. Однако при имеющейся высокой геометрической точности отливок по-прежнему актуальной остается задача повышения качества их поверхности.

Для автомобильных колес, отлитых под низким давлением, характерными являются поверхностные и подповерхностные дефекты (неслитины, пористость и другие). Их возникновение обусловлено наличием в кристаллизирующемся расплаве двухфазной области, в которой одновременно существуют твердая и жидкая фазы. Ширина этой переходной области, играющей ключевую роль в формировании структуры колеса, прямо пропорционально зависит от величины температурного интервала кристаллизации сплава и обратно пропорционально от интенсивности отвода теплоты к пресс-форме.

Одним из решений по регулированию теплоотвода, не требующих больших экономических затрат, является применение разделительных покрытий, создающих на поверхности пресс-форм защитный слой с заданными теплофизическими свойствами. Однако данная область исследований практически не освещена в научных изданиях.

В то же время покрытия, выпускаемые в России и странах СНГ, в не полной мере удовлетворяют предъявляемым к ним требованиям, часто уступают зарубежным аналогам по уровню свойств. В связи с этим отечественные производители фасонной продукции из легких сплавов вынуждены закупать их за рубежом (Великобритания, Германия, Италия, США и др.).

Поэтому целью работы является разработка комплекса технологических решений, направленных на повышение качества автомобильных колес при литье

---

<sup>1</sup> Диссертация выполнена при научной консультации канд. техн. наук Т.А. Богдановой

под низким давлением за счет предотвращения образования подповерхностных дефектов.

Для достижения поставленной цели были сформулированы следующие задачи:

– выполнить анализ существующей литейной технологии, включая процесс подготовки пресс-форм и свойства используемых зарубежных покрытий;

– предложить составы импортозамещающих разделительных покрытий и экспериментально обосновать возможность их применения при литье автомобильных колес под низким давлением из силумина АК12;

– исследовать с использованием программного пакета ProCAST® процесс формирования качества поверхности колес под низким давлением при различных теплофизических свойствах разделительного слоя в системе «расплав – разделительное покрытие – пресс-форма»;

– внедрить разработанные покрытия на ООО «КиК» и в учебный процесс ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет».

Для решения поставленных задач были применены методы: лазерной granulометрии; дифференциально-термического анализа, оптической плотности газов, лазерной вспышки; метод измерения формозаполняемости расплава по спиральной металлической пробе; оптической микроскопии; контроля уровня механических свойств; ресурсных испытаний автомобильных колес, что обеспечило достоверность полученных результатов, при обработке которых использовались стандартные компьютерные программы.

Научную значимость имеют следующие результаты:

1. Установлено влияние содержания связующего (жидкого стекла) на технологические свойства водорастворимых разделительных покрытий пресс-форм для литья под низким давлением, что позволило определить его оптимальное содержание, равное 44–65 % при соотношениях наполнителя и связующего близких к 1:1,1–1,2 и среднем размере частиц минеральных и оксидных наполнителей от 0,2 до 25 мкм.

2. На основании проведенных исследований и анализа кинетики газовыделения установлено, что уменьшение газотворности разработанных покрытий при их нагреве до 690–720 °С позволяет снизить на 20 % количество газовых дефектов колес при литье под низким давлением.

3. Путем компьютерного моделирования кристаллизации отливок при литье под низким давлением установлено, что разработанное теплопроводящее покрытие в процессе теплообмена в системе «расплав – разделительное покрытие – пресс-форма» ускоряет кристаллизацию колеса на 2,1 с, а теплоизоляционное замедляет на 1,3 с, что позволяет выравнять кристаллизацию отливки и повышать ее качество.

4. Изучено совместное влияние профиля поверхности покрытия и его теплопроводности и установлено, что впадины профиля способствуют формированию воздушных зазоров, в которых прослойки воздуха выступают в роли тепловых микроизоляторов и ослабляют теплопередачу, нивелируя влияние коэффициента теплопроводности разделительного слоя, в то же время острые выступы на поверхности покрытия стягивают окисные пленки к краям потока металла, преодолевающего окрашенный участок формы, тем самым очищая его и повышая выход годного литья до 10 % в зависимости от модели колеса.

Практическую значимость имеют следующие результаты:

1. Предложено технологическое решение по снижению брака легкосплавных колес по термическим, газовым и усадочным дефектам, заключающееся в применении разделительных покрытий с заданными свойствами. Суммарное снижение по данным группам дефектов в среднем составило 30 %.

2. Предложен состав теплопроводящего покрытия (КПТ110), обладающий следующими свойствами в сравнении с зарубежными аналогами: седиментационная устойчивость увеличена на 20 %, приведенная прочность – в 4,5 раза, на 50 % снижена газотворность, средний прирост формозаполняемости сплава АК12 по окрашенной спиральной пробе составляет 9 см. На данный состав получен патент № 2604163 «Разделительное покрытие для литейных пресс-форм».

3. Разработаны рекомендации по технологии приготовления и нанесения теплоизолирующего покрытия (Ж163), содержащего наполнитель и связующее в соотношении 1:1,2 и обладающего плотностью 1110 кг/м<sup>3</sup>, седиментационной устойчивостью (через 3 ч) 40–45 %, приведенной прочностью 130 кг/мм, на 25 % меньшей газотворностью в сравнении с зарубежными аналогами.

4. Предложенные покрытия внедрены на ООО «КиК», что позволило увеличить выход годных отливок на 1,5–10,0 % в зависимости от модели колеса. Экономический эффект от внедрения разработанных покрытий на предприятии составляет 850 000 руб./год.

На защиту выносятся следующие положения:

1. Способ повышения эффективности технологии производства легкосплавных автомобильных колес, реализуемый через нанесение на пресс-формы покрытий с различными теплофизическими свойствами, позволяющими регулировать условия кристаллизации подповерхностных слоев отливок.

2. Новые составы разделительных покрытий пресс-форм, выполненные на основе полидисперсных наполнителей с повышенным содержанием связующего, технология нанесения которых не отличается от заводской.

3. Экспериментальные закономерности, подтверждающие повышение качества отливок из алюминиевых сплавов при литье под низким давлением за счет управления теплообменом между расплавом и пресс-формой.

4. Результаты компьютерного моделирования, позволяющие оценивать снижение риска возникновения дефектов легкосплавных колес за счет регулирования теплообмена в системе «расплав – разделительное покрытие – пресс-форма».

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, библиографического списка, содержащего 137 источников, и 6 приложений. Основной материал изложен на 107 страницах, включая 20 таблиц и 57 рисунков.

Автор работы выражает благодарность за большую помощь в области металловедения канд. техн. наук Богдановой Татьяне Александровне, начальнику металлургического отдела ООО «КиК».



## 1. ПОКРЫТИЯ В ЛИТЕЙНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

В последние годы в структуре мирового рынка металлов заметно растёт доля, приходящаяся на алюминиевые сплавы, которые обладают высокими технологическими и эксплуатационными свойствами: низкой литейной усадкой, высокой формозаполняемостью, хорошей коррозионной стойкостью и свариваемостью.

Это связано с развитием автомобильной промышленности ведущих стран и ростом такого сегмента отрасли, как производство легкосплавных колес. Ежегодно появляются новые модели и подавляющее большинство их изготавливается из алюминиевых сплавов методом литья под низким давлением.

Одним из ключевых условий получения годных отливок по данной литейной технологии является нанесение на пресс-формы разделительных покрытий, способствующих регулированию теплового режима.

Анализ литературных данных показан в работах [1–3].

### 1.1. Характеристика метода литья под низким давлением

Процесс литья под давлением имеет более чем вековую историю. Его возникновение относится к концу XIX века и первоначально он использовался в основном для цинковых сплавов, однако уже к 1915 году выпускалось значительное количество изделий из алюминия, являющегося наиболее востребованным в промышленности цветным металлом.

Развитие теории и практики литья под давлением совместно с выпуском широкой номенклатуры изделий привело к совершенствованию оборудования и появлению прообраза современных литейных машин.

Возможность регулирования давления на металл позволила сформировать принципы литья под низким давлением (ЛНД), которое выделилось в самостоятельное направление и получило большое значение в промышленности [4, 5].

Принцип процесса ЛНД заключается в принудительном заполнении рабочей полости металлической пресс-формы расплавом и последующем формировании отливки под действием избыточного давления (рисунок 1.1).

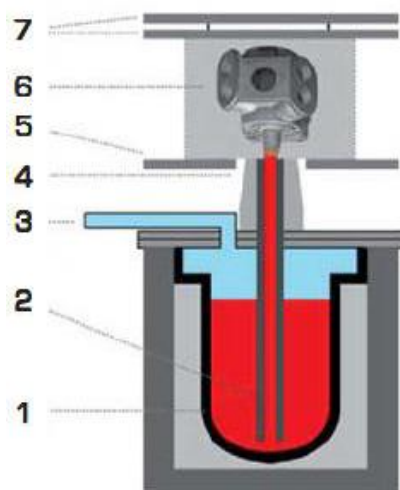


Рисунок 1.1 – Принципиальная схема литья под низким давлением [6]:

- 1 – печь с электронагревом; 2 – металлопровод; 3 – газообразная среда под давлением;  
4 – проставка; 5 – литейный стол; 6 – форма; 7 – подвижная прижимная плита

Метод ЛНД реализуется на специальных машинах, обеспечивающих возможность комплексной автоматизации технологического процесса и способствующих существенному улучшению условий труда, уменьшению вредного воздействия на окружающую среду.

Литейные машины обычно состоят из механизмов сборки и разборки форм, отделения отливок от пресс-формы, печи-металлораздатчика, гидравлической, пневматической и электрической систем управления. При этом пресс-форма имеет каналы, через которые пропускают воду или сжатый воздух, что дает возможность управлять температурными условиями охлаждения в ходе затвердевания металла [7–9].

В процессе получения отливок данным методом можно выделить следующие три этапа [8–10]:

– подача воздуха или инертного газа под избыточным давлением менее 0,1 МПа через систему регулирования внутрь камеры литейной машины. Вследствие

разности давления в камере установки и атмосферного давления, расплав поступает в закрытую пресс-форму снизу через металлопровод;

– окончание заполнения формы и увеличение давления в системе до конца затвердевания отливки;

– автоматическое открытие клапана, соединяющего камеру установки с атмосферой. Давление воздуха в камере снижается до атмосферного и незатвердевший расплав из металлопровода сливается в тигель. После охлаждения отливки до заданной температуры пресс-форма раскрывается, отливка выталкивается и цикл повторяется.

Основными факторами, определяющими процесс формирования отливки, являются давление в тигле и пресс-форме, скорость заполнения литника и коллектора, параметры литниково-вентиляционной системы, температуры заливаемого металла и формы, режимы смазывания и охлаждения ее рабочей полости.

Тепловой режим получения отливки обеспечивает подвижность сплава. Он связан с высокой интенсивностью теплового взаимодействия жидкого металла со стенками массивной пресс-формы возрастающей при отводе теплоты через систему охлаждения. Передача теплоты определяет не только качество отливок, но и стойкость пресс-формы: одна из основных причин разрушения поверхностных слоев матриц и пуансонов и появление на отливках, так называемых, следов разгара – это возникновение температурных напряжений в материале формы. Терморегулирование рабочей полости пресс-формы необходимо для стабилизации и выравнивания тепловых условий в различных по толщине сечениях отливки.

С другой стороны, гидродинамический режим формирования отливки создает кинетику заполнения, характер распределения газовых включений и качество её поверхности. Давление в потоке металла возникает в результате сопротивления при прохождении им через тонкие сечения полости пресс-формы, при поворотах, сужениях и расширениях потока. В случае отсутствия сопротивления величина гидродинамического давления в потоке определяется противодействием воздуха и газов, удаление которых затруднено из-за невозможности выполнения вентиляционных каналов большого сечения. Характер движения металла в

оформляющей полости зависит от скорости выпуска, соотношения толщины питателя и отливки, вязкости и поверхностного натяжения заливаемого сплава, тепловых условий его взаимодействия со стенками пресс-формы. Большая часть отливок, используемых в машиностроении и приборостроении, имеет сложную конфигурацию с утолщениями, бобышками, приливами и переходами, поэтому заполнение отливок представляет собой последовательное превращение дисперсного потока, образовавшегося в месте удара струи о стенку форы, в сплошной турбулентный [8, 11].

Так как заполнение пресс-формы расплавом при данном способе литья может осуществляться с регулируемыми скоростями потока, для получения качественных отливок предпочтительно заполнять пресс-форму сплошным потоком при скоростях, исключающих захват воздуха расплавом, образование в теле отливки газовых раковин, попадание оксидных плен и неметаллических включений. Однако неизбежное уменьшение скорости потока, необходимое для сохранения его сплошности, сопряжено с опасностью преждевременного затвердевания расплава еще до полного заполнения формы. Именно поэтому необходим контроль и согласование гидравлического (давление в потоке металла, скорость движения металла, противодействие) и теплового (температуры заливаемого расплава и формы, продолжительность заполнения и подпрессовки) режимов заполнения пресс-формы. От правильного их выбора напрямую зависит качество получаемой отливки [4, 8–11].

Метод литья под низким давлением можно охарактеризовать следующими основными преимуществами [8, 12, 13]:

- управление гидродинамическими параметрами течения металла, позволяющее заполнить форму с минимальными потерями теплоты;
- подвод металла в наиболее массивные части отливок и питание их в процессе кристаллизации через металлопровод, что упрощает конструкцию литниковой системы;
- избыточное давление после заполнения формы улучшает питание кристаллизующихся слоев металла как в тонких, так и в массивных сечениях отлив-

ки, увеличивает скорость затвердевания металла благодаря интенсификации теплообмена с формой. Это способствует измельчению структуры и повышению плотности отливки;

- подача металла в пресс-форму снизу обеспечивает ее плавное заполнение, уменьшение развития эффектов разбрызгивания и перемешивания расплава, приводящих к его окислению и захвату им воздуха в рабочей полости;

- уменьшение возможности окисления металла в печи исключает вероятность попадания в форму шлака с зеркала расплава, так как металл поступает в пресс-форму из глубинных слоев ванны печи;

- полностью автоматизированный процесс заполнения литейной формы жидким металлом и обеспечение повторяемости параметров охлаждения;

- низкие, в сравнении с литьем под давлением, скорости течения металла при заполнении пресс-формы позволяют использовать, помимо металлических, разовые элементы формы из менее прочных материалов;

- оптимизированное охлаждение пресс-формы обеспечивает направленную кристаллизацию, а также повышенную производительность благодаря сокращению времени цикла до 1,5 раз по сравнению с литьем в кокиль.

Наряду с указанными преимуществами, данный способ литья обладает следующими недостатками [8, 12, 13]:

- невысокая стойкость металлопровода постоянно погруженного в расплав, что затрудняет использование способа для сплавов с высокой температурой плавления (чугун, сталь);

- сложность регулирования скорости потока расплава в форме из-за динамичности процессов, происходящих в установке;

- возможность изменения свойств сплава при его длительной выдержке в печи-металлораздатчике;

- снижение стойкости и срока эксплуатации пресс-форм при нарушении технологии их подготовки или режимов литья.

Названные преимущества и недостатки определяют применимость ЛНД. Так основную долю продукции, получаемой рассматриваемым способом, составляют отливки из алюминиевых сплавов. Минимальная толщина их стенок равна 1,5 мм, а средняя находится в пределах 3-6 мм. Реже этим способом изготавливают отливки из медных сплавов, стали и чугуна, в том числе высокопрочного с толщиной стенки до 3 мм. [4, 10, 13].

Наибольшим спросом, среди присущей ему номенклатуры отливок, пользуются автомобильные колеса. В настоящее время в мире существует более 200 производителей колес, в суммарном объеме выпуска которых 82% приходится на литые диски, 13% – сборные (отдельные элементы диска выполнены различными способами), 5% – кованные и раскатные. При этом одним из ведущих в мире и крупнейшим в России является предприятие ООО «КиК» (г. Красноярск) с ежегодными продажами более 2 млн штук [2, 14].

Среди основных направлений развития ЛНД можно выделить: усовершенствование систем автоматизированного моделирования литейных процессов и оснастки [15–18]; комбинирование процессов для производства заготовок сложно-профильных объемных деталей [19]; вовлечение в шихту возврата, рафинирующих добавок и флюсов (смеси галоидных солей щелочных и щелочноземельных металлов, криолит, фтористый натрий и др.) [3, 20].

Однако наиболее актуальным направлением, значительно увеличивающим эффективность технологии, является совершенствование процесса подготовки пресс-форм и повышение их эксплуатационной стойкости, которая определяется теплонапряженным состоянием, конструкцией и физико-механическими свойствами материала формообразующей поверхности [21, 22].

Его реализация непосредственно связана с применением для изготовления пресс-форм материалов с высокими механическими свойствами и упрочнением их рабочей поверхности [23–25], в том числе путем нанесения многослойных тугоплавких покрытий [26, 27], а также с использованием специальных смазок и разделительных теплоизолирующих и теплопроводящих покрытий [28–30].

Последнее требует наименьших экономических затрат и изменений в технологии действующего литейного производства, но ставит вопрос правильности выбора покрытия. Принятое решение будет определяться характеристиками нанесенного разделительного слоя и режимами литья конкретного вида продукции.

## **1.2. Классификация дефектов литых автомобильных колес**

Различные методы повышения эффективности производства алюминиевых колес направлены на сокращение брака и поддержание высокого потребительского спроса. К тому же независимо от типа конструкции колеса должны соответствовать ряду стандартов качества, определяющих их механические свойства: ГОСТ Р 50511–93, ГОСТ Р 52390–2005, ISO 3006:2015, ISO 3894:2015, ISO 7141:2005, DIN EN 1706 и др.

Данные стандарты содержат требования к физико-механическим и эксплуатационным свойствам колес и методы их испытаний, но не дают общепринятого классификатора возможных дефектов. Поэтому в России и странах СНГ качество литого изделия в общем случае все еще оценивается согласно ГОСТ 4.439–86 и определяется пятью группами показателей: классификационные (марка сплава, класс точности, группа сложности и др.), назначения (микроструктура, механические свойства), использования металла и технологичности (припуски на механическую обработку, допуски размеров), качества поверхности (шероховатость), экономические [31]. Подобные системы показателей используются и в европейской промышленности [32].

Неизбежно возникающие отклонения в составе шихтовых материалов, технологии приготовления сплава и режимах литья, приводят к отличиям характеристик одновременных партий колес и возникновению различных дефектов, которые классифицируют по нескольким признакам (локализации, природе возникновения и т.д.). При этом от работы к работе может варьироваться количество и интерпретация дефектов, выделяемых авторами [33–36].

На сегодняшний день наиболее проработанной можно считать трехуровневую классификацию дефектов литья алюминиевых сплавов (рисунок 1.2), основные принципы которой были сформулированы при разработке общеевропейского стандарта качества [37].



Рисунок 1.2 – Пример трехуровневой классификации дефектов литья [37]

На первом уровне дефекты рассматривают по их локализации в теле отливки и необходимым методам контроля: видны ли они невооруженным глазом или для их обнаружения требуется нарезка темплетов, применение специального оборудования. Соответственно, различают дефекты внутренние (находящиеся в теле отливки и под ее поверхностным слоем), внешние (расположенные на поверхности изделия) и геометрические (искажение размеров, допусков).

На втором уровне классификации определяют природу возникновения дефектов, по которой они сгруппированы в несколько категорий: усадочные, газовые, заполнения, нежелательные фазы, термические, взаимодействия расплав-форма.

Третий уровень подразумевает идентификацию конкретного типа дефекта, то есть выявляется частный случай той или иной категории, установленной ранее.

Применяя трехуровневую классификацию к рассмотрению характерных дефектов колес, изготавливаемых методом литья под низким давлением, следует дополнить ее данными о возможных причинах их возникновения [8, 37–40], изменить порядок уровней для удобства использования. Результат такого подхода представлен в таблице 1.1.



Таблица 1.1 – Дефекты литых алюминиевых колес

Природа возникновения	Локализация	Тип дефекта	Основные причины возникновения
Дефекты заполнения	Внутренние	Холодный спай (неслитина), брызги	Отклонение от нормального режима заполнения (давление, температура металла и формы); соединение потоков металла с различной температурой; оксидные пленки
	Внешние		
Нежелательные фазы	Внутренние	Включения, структуры	Наличие в сплаве окислов, интерметаллидов, шлаков, остатков флюса, продуктов взаимодействия со смазкой или покрытием пресс-формы
	Внешние	Включения, налет	
Усадочные дефекты	Внутренние	Макро-усадка, междендритная усадка, пористый слой	Сокращение объема металла во время затвердевания в сегментах с недостаточным питанием; интенсивный теплообмен расплава с пресс-формой
	Внешние	Раковина	
Газовые дефекты	Внутренние	Пористость	Захват расплавом пузырьков газа (воздуха, водорода, продуктов распада покрытия формы); неправильная или недостаточная вентиляция пресс-формы; прорыв газа из тигля
	Внешние	Пористость, пузырь, ужимины	
Термические дефекты	Внутренние	Холодные и/или горячие трещины	Термические и фазовые напряжения; достижение усадочными напряжениями предела прочности металла; холодная пресс-форма
	Внешние		
Дефекты, возникающие по вине пресс-формы	Внешние	Шероховатость, задиры, приваривание отливки, следы течения металла	Эрозия, термическая усталость материала пресс-формы, появление и разрастание сетки разгара
Геометрические дефекты	Геометрические	Недолив, облой, деформация, следы толкателей, вырывы, несоответствие чертежу	Недостаточное количество расплава; неправильная работа толкателей и/или пресс-поршня; засорение зон стыковки секций; неточность размеров рабочей полости пресс-формы

Как видно из таблицы 1.1, возникновение дефектов зависит от большого числа факторов, связанных с температурой расплава и пресс-формы [41–43]; скоростью прессования, давлением на металл во время заполнения рабочей полости и подпрессовки [44, 45]; материалом пресс-формы [46] и технологией ее подготовки

(очистка, смазывание, нанесение покрытия) [9, 28, 40]. В связи с этим множество разработок направлено на предотвращение дефектов путем совершенствования оборудования, оснастки, материалов пресс-форм и методов их защиты от воздействия расплава [47, 48].

Перспективным направлением в решении данных задач является использование специальных покрытий, создающих на поверхности форм и стержней защитный слой с заданными физико-химическими свойствами. Кроме того, эффективные разделительные покрытия, позволяют регулировать теплообмен между расплавом и формой, тем самым способствуя созданию фронта направленной кристаллизации, что так же повышает качество легкосплавных колес.

### **1.3. Разделительные покрытия для литья под низким давлением**

Разделительные покрытия (РП) являются сложными многокомпонентными системами, а вещества, входящие в их состав, представляют широкую номенклатуру материалов. По своей природе эти материалы могут быть природным сырьем, продуктами переработки минералов, отходами различных производств, соединениями органического и неорганического синтеза и др. [49–51].

В составе покрытий принято различать следующие компоненты:

- наполнитель;
- связующее;
- растворитель;
- добавки.

*Наполнители* – порошкообразные полидисперсные материалы, составляющие основу композиции, от фракционного состава которых во многом зависят свойства покрытия.

Анализ литературных данных показал, что в составе РП для постоянных литейных форм желательно использовать наполнители с преобладающим размером частиц от 20 до 50 мкм. Более грубый помол снижает седиментационную устой-

чивость, вызывает образование пузырей и несплошностей в нанесенном слое, повышает шероховатость его поверхности [52–54].

Однако необходимо учитывать, что тонкомолотые наполнители с размером частиц в пределах 15–40 мкм, за счет более плотной упаковки дисперсной фазы, требуют большого расхода связующего при формировании на металлической подложке сплошных слоев малой толщины [55].

С развитием практики активации и структурирования минеральных огнеупорных и теплоизоляционных наполнителей, не смотря на относительную дороговизну методов подготовки, растет область применения подобных материалов в литейном производстве. Покрытия на основе механоактивированных материалов способствуют улучшению товарного вида продукции и сокращению или практически полному исключению затрат на механическую доработку [56–61].

*Связующие материалы* отвечают за способность покрытия сохранять свою сплошность и удерживаться на поверхности подложки после нанесения и отверждения. При этом различают два основных механизма отверждения покрытий: удаление растворителя при тепловой сушке или естественном испарении и химическое воздействие [54].

В покрытиях металлических форм, в основном, используются неорганические связующие, так как органические компоненты обладают довольно низкой термической стойкостью. Среди многообразия материалов, используемых в производстве высыхающих покрытий (первый механизм отверждения), большое внимание уделяется совершенствованию кремнезоль [62, 63], металлофосфатных [64, 65] и жидкостекольных связующих [66, 67].

Для составов покрытий пресс-форм литья под низким давлением наибольшее распространение получило именно натриевое жидкое стекло (водный раствор силиката натрия), обладающее рядом преимуществ [68, 69]:

- создание равномерного прочного слоя на поверхности формы;
- высокая адгезия к металлической подложке;
- негорючесть, безвредность;
- низкая стоимость и доступность;

– возможность быстрого приготовления из сухого концентрата.

Среди недостатков жидкостекольного связующего отмечается вспучивание и отслаивание толстых слоев покрытия, что связано с усиленным влагоудалением. Происходящие при этом термическое разложение геля кремниевой кислоты приводит к расширению нанесённого слоя с возможным выгоранием связующего, вследствие удаления физически связанной воды, и повышенной хрупкости покрытия.

*Растворитель* в составе покрытия является дисперсионной средой для частиц наполнителя. Он должен иметь хорошую растворяющую способность, оптимальную скорость испарения и минимальную токсичность. Для жидкостекольных покрытий дисперсионной средой выступает обычная питьевая вода, к которой редко предъявляются требования по содержанию солей. Использование воды также способствует удешевлению состава, облегчению его приготовления к нанесению, исключает пожароопасность покрытия [51, 70].

*Добавки* вводятся в покрытия с целью улучшения их технологических и рабочих свойств. Органическими добавками для распространенных жидкостекольных РП могут служить алкилсиконаты натрия, адсорбирующиеся на поверхности частиц наполнителей (муллитокорундового шамота, электрокорунда, циркона, каолина) и в дальнейшем снижающие вязкость суспензии [71]; глицеринацетат, повышающий поверхностную прочность покрытия за счет ослабления внутренних напряжений связующего в процессе отверждения [72].

В то же время органические компоненты подвержены термическому разложению, что приводит к снижению стойкости покрытия и образованию копоты на его поверхности. Возникающая при этом газовая прослойка может существенно изменить интенсивность теплообмена и нарушить тепловой режим формирования отливки.

Использование неорганических добавок, изменяющих скорость отверждения жидкостекольных покрытий так же не всегда целесообразно. Гексафторсиликаты щелочных металлов (например, порошок  $\text{Na}_2\text{SiF}_6$ ), уплотняя нанесенный слой, вызывают коагуляцию силиката и дополнительное гелеобразование. Данное

явление затрудняет нанесение покрытия на горячую поверхность пресс-формы методом пульверизации, приводит к забивке каналов распылителя и неравномерности нанесенного слоя [73].

В настоящее время на рынке материалов для литейного производства нет универсальных покрытий. Все известные составы оказывают положительное действие на качество отливок и стойкость форм только для определенного интервала температур, сплава и метода литья.

В работах [51–55, 62] существующие покрытия различных литейных форм и стержней классифицируются отечественными и зарубежными авторами по следующим признакам: тип наполнителя, физическое состояние при нанесении, характер отверждения, характер формируемого слоя, воздействие на расплав. Согласно этому, одна из более полных и проработанных классификаций покрытий для металлических форм представлена в таблице 1.2.

Место покрытия в представленной классификации определяется, в первую очередь, его составом и физико-химическими свойствами. Большинство покрытий постоянных литейных форм, в том числе включающих нанопорошки различных материалов, при нанесении выполняют несколько функций: защищают поверхность формы, образуют смазочный слой и облегчают извлечение отливок, обеспечивают высокое качество их поверхности, предоставляют широкие возможности регулирования скорости кристаллизации [9, 51–54].

Следует отметить, что наряду с перечисленными функциями покрытий, не менее важным направлением их использования является поверхностное легирование. Данный метод позволяет изменять свойства поверхностного слоя отливки, не изменяя свойств ее внутреннего объема уже в процессе литья, таким образом, исключая дополнительные операции с готовым изделием (например, химико-термическую обработку). Для этого поверхность литейной формы окрашивают покрытием, содержащим легирующие элементы в виде нанопорошков, или вводят в форму гранулированный материал без связующего [74–78].

Таблица 1.2 – Классификация покрытий металлических форм [51]

Покрытие	Вид покрытия	Группа покрытий	Основные свойства	Назначение
1	2	3	4	5
Облицовки	-	Тепло-изолирующие	Пониженная теплопроводность, податливость	Утепление отдельных участков крупных отливок, облицовка кокилей массового производства крупных чугуновых и стальных отливок
Пассивные краски	Суспензии дисперсных материалов в воде или органических растворителях	Тепло-изолирующие	Пониженная теплопроводность	Увеличение стойкости кокилей, уменьшение скорости кристаллизации
		Снижающие шероховатость	Высокая дисперсность наполнителя, наличие сгорающих веществ	Снижение шероховатости
		Газотворные	Энергичное газовыделение	Предотвращение неметаллических включений на вертикальных поверхностях
		Антифрикционные	Уменьшение трения скольжения	Облегчение извлечения отливок
		Экзотермические	Выделение теплоты при контакте с металлом	Улучшение условий заполнения формы для тонкостенных отливок
	Суспензии дисперсных материалов в невысыхающих, неокисляющихся органических жидкостях	Газотворные	Обильное газовыделение при контакте с жидким металлом	Предотвращение неметаллических включений на вертикальных поверхностях отливок с отбеленной поверхностью
Активные краски	Суспензии дисперсных активных материалов в воде или органических растворителях	Плавающие, диффундирующие	Легирование и модифицирование поверхности	Придание поверхностному слою отливки заданных свойств

Продолжение таблицы 1.2

1	2	3	4	5
Смазки	Растворы смол и битумов в летучих растворителях	Газотворные	Энергичное газовыделение при контакте с жидким металлом	Предотвращение неметаллических включений на вертикальных поверхностях отливок
	Растворы органических веществ в невысыхающих, неокисляющихся жидкостях			
Копоти	Сажа пламени горящих газов	Повышающие чистоту поверхности	Создание газовой прослойки между отливкой и теплоизолирующим покрытием	Повышение чистоты поверхности отливок и стойкости теплоизолирующих покрытий
Металлические	Металлы или металлические порошки	Адгезионные	Улучшение адгезии металло-керамических и керамических покрытий	Улучшение адгезии газопламенных и плазменных покрытий к поверхности формы и коррозионной стойкости
Металлокерамические	Смеси порошков металлов и огнеупорных окислов	Теплоизолирующие	Долговечность покрытий	Повышение стойкости покрытий и форм, работающих под большими нагрузками
Керамические	Порошки огнеупорных окислов			
Оксидные	Окисленный металл формы		Низкая теплопроводность, высокая огнеупорность	Увеличение стойкости алюминиевых кокилей
Эмалевые	Смеси порошков огнеупорных окислов	Коррозионно-стойкие	Отсутствие пористости, высокая чистота поверхности	Защита кокилей от газовой коррозии

Основная задача РП, используемых в литье под низким давлением, заключается в уменьшении воздействия теплового потока на материал формы и повышение его способности сопротивляться образованию и росту трещин. Появление сетки разгара обусловлено тем, что при заливке рабочая поверхность формы нагревается с большой скоростью, в то время как подповерхностные слои ее материала, расположенные ближе к наружной стенке, имеют относительно низкую

температуру. В нагреваемых слоях возникают сжимающие напряжения, а во внутренних – растягивающие. Чередующиеся пластические деформации рабочей поверхности формы приводят к образованию трещин, что особенно выражено при высоком темпе работы [8, 51, 79].

Применение разделительных покрытий, обладающих разной теплопроводностью, позволяет регулировать скорость охлаждения различных частей отливки, тем самым способствуя созданию направленной кристаллизации. Охлаждение тонкостенных частей отливок замедляют с помощью составов с низким коэффициентом теплопроводности, а затвердевание утолщенных частей ускоряют, применяя более теплопроводные покрытия [9, 51, 66].

С другой стороны, теплоизолирующая способность покрытия зависят не только от коэффициента теплопроводности. Значительную роль так же играет толщина нанесенного слоя, регулирование которой является наиболее простым способом изменения термического сопротивления покрытия (рисунок 1.3). Изменяя толщину покрытия на форме, можно в несколько раз изменить скорость затвердевания отливки и возникающие при этом термические напряжения [9, 70].

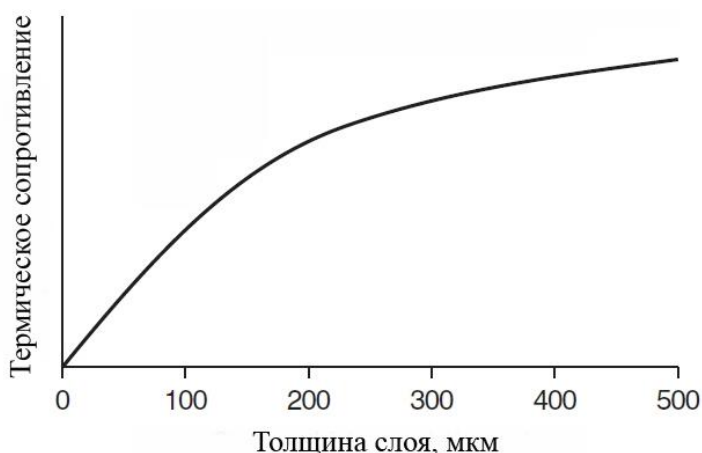


Рисунок 1.3 – Зависимость термического сопротивления условного покрытия от толщины нанесенного слоя [9]

Независимо от выполняемых функций, к покрытиям металлических форм предъявляются следующие требования [51, 55, 72]:

- обеспечение необходимой чистоты поверхности и качества отливки;



- достаточно высокие огнеупорные свойства;
- низкий коэффициент теплового расширения;
- отсутствие материалов, образующих легкоплавкие соединения;
- хорошая адгезия к подложке;
- относительно быстрое высыхание;
- отсутствие пузырей и трещин при сушке;
- легкость и безопасность применения;
- стабильность при хранении.

Чтобы покрытие соответствовало предъявляемым требованиям, оно должно обладать установленным для него уровнем свойств. На рисунке 1.4 представлена классификация свойств покрытий.



Рисунок 1.4 – Свойства литейных покрытий [51]

Данная классификация показывает, что общие свойства характеризуют покрытие и его составляющие как дисперсную систему (суспензию), технологиче-

ские определяют пригодность покрытия к нанесению, а рабочие проявляются при взаимодействии с жидким металлом и непосредственно влияют на качество отливки. Однако практически все они тесно связаны между собой и зависят от физико-химических свойств наполнителя, а также связующего и растворителя.

Знание взаимозависимостей свойств покрытий облегчает разработку новых составов. Для получения суспензии с требуемой вязкостью, необходимо изменить концентрацию дисперсной фазы или связующего, ввести добавки, способствующие образованию новых агрегатов благодаря сольватации частиц [80, 81].

Форма и размер частиц твердой фазы, помимо вклада в процесс седиментации, определяют шероховатость слоя покрытия, нанесенного на подложку. Шероховатая поверхность покрытия обеспечивает дополнительную теплоизоляцию посредством формирования воздушного зазора во время заливки металла, возникающего из-за высокого поверхностного натяжения расплава. Меньшая площадь контакта покрытия с металлом значительно снижает теплопередачу и, следовательно, способствует заполнению формы. Наоборот, гладкое покрытие на основе тонкодисперсных наполнителей обеспечивает большую площадь поверхности контакта и высокую теплопередачу между металлом и формой [6].

В то же время, горючесть, токсичность, технологические и некоторые рабочие свойства покрытия непосредственно зависят от химической природы и количества связующего и растворителя, входящих в его состав. Покрытия, имеющие в качестве дисперсионной среды воду, считаются наиболее технологичными: они термостойки, не токсичны, негорючи и обладают высокой живучестью. Если же применяются органические растворители, следует учитывать скорость их испарения, токсичность и взрывобезопасность [55, 62].

Необходимо отметить, что немаловажным является и выбранный способ нанесения покрытия (кистью, окунанием, обливом, рапылением). Он тесно связан с кроющей способностью, толщиной образуемого слоя на поверхности подложки и продолжительностью высыхания покрытия.

*Окрашивание кистью* широко применяется для нанесения покрытий просушиваемых и прочных химически твердеющих разовых форм. При его использова-

нии трудно добиться равномерности слоя покрытия, неизбежно остаются следы кисти, проявляющиеся на литой поверхности изделий.

*Окувание*, как правило, используется для нанесения покрытий на просушенные или химически отвержденные стержни малых размеров и массы. Эффективность окувания в значительной степени зависит от вязкости покрытия, которая должна оставаться практически постоянной. Для поддержания заданной вязкости, в суспензию регулярно вводятся добавки растворителя, что может привести к высокому содержанию летучих органических соединений.

*Облив* применяется для достаточно больших форм и стержней необычной формы (в основном из холоднотвердеющих смесей), которые трудно или невозможно покрыть окуванием. Основным преимуществом облива является равномерность толщины нанесенного слоя. Среди недостатков данного способа выделяется громоздкость механизации, необходимость поддержания постоянной вязкости покрытия, пожароопасность [51, 82].

При окрашивании постоянных литейных форм покрытиями в виде суспензий наиболее эффективным способом является распыление (*пульверизация*), обладающее следующими преимуществами:

- применимость для покрытий на водной и спиртовой основе;
- возможность получения равномерного слоя заданной толщины;
- достаточно ровная поверхность покрытия;
- хорошее сцепление с подложкой;
- значительное повышение производительности труда.

Вместе с тем пульверизация требует наличия линии подачи сжатого воздуха, может вызвать увеличение расхода покрытия до 20% и образование аэрозолей в атмосфере цеха. Последнее ведет к загрязнению рабочего пространства частицами наполнителя и парами растворителя, а значит, к снижению санитарной и пожарной безопасности при использовании быстросохнущих красок [55].

Распыление может осуществляться как с помощью простейших нагнетательных баков, так и пульверизаторами различных конструкций (инжекционного типа или с принудительной подачей суспензии).

Для подготовки массивных пресс-форм литья под низким давлением оптимально подходят инжекционные пульверизаторы, так как для данного метода важно получение равномерных тонких разделительных слоев без подтеков, что играет ключевую роль в формировании теплового режима формы. Недостатки пульверизации при этом несущественны, в виду того, что большинство применяемых разделительных покрытий имеют водную основу, а предварительный подогрев форм значительно ускоряет высыхание нанесенного слоя [83–85].

#### **1.4. Управление качеством литых автомобильных колес путем изменения состава и свойств разделительных покрытий пресс-форм**

Использование различных разделительных покрытий, благодаря их универсальности и относительной дешевизне, является одним из наиболее распространенных способов снижения брака и защиты поверхности пресс-формы в мировой практике литейного производства [86–89].

Рациональное применение и разработка эффективных РП главным образом зависят от понимания тепловых процессов, протекающих в системе «расплав – разделительное покрытие – пресс-форма». Исследования теплофизических явлений, сопровождающих заливку расплава, затвердевание отливки и охлаждение ее с формой активно проводились советскими учеными [74, 90–92]. В результате были предложены обобщенные схемы температурных полей постоянных литейных форм с различными типами отвода теплоты от отливки (рисунок 1.5).

Ни одна из представленных схем, успешно отработанных на кокильном литье, не подходит для описания тепловых процессов при ЛНД ввиду конструктивных особенностей пресс-форм (массивность, вентиляционные каналы) и наличия на их поверхности достаточно тонких слоев разделительных покрытий. Данный вопрос остается нерешенным и в свете современных исследований, проводимых с привлечением автоматизированных методик расчета непосредственно для специальных способов литья [93, 94].

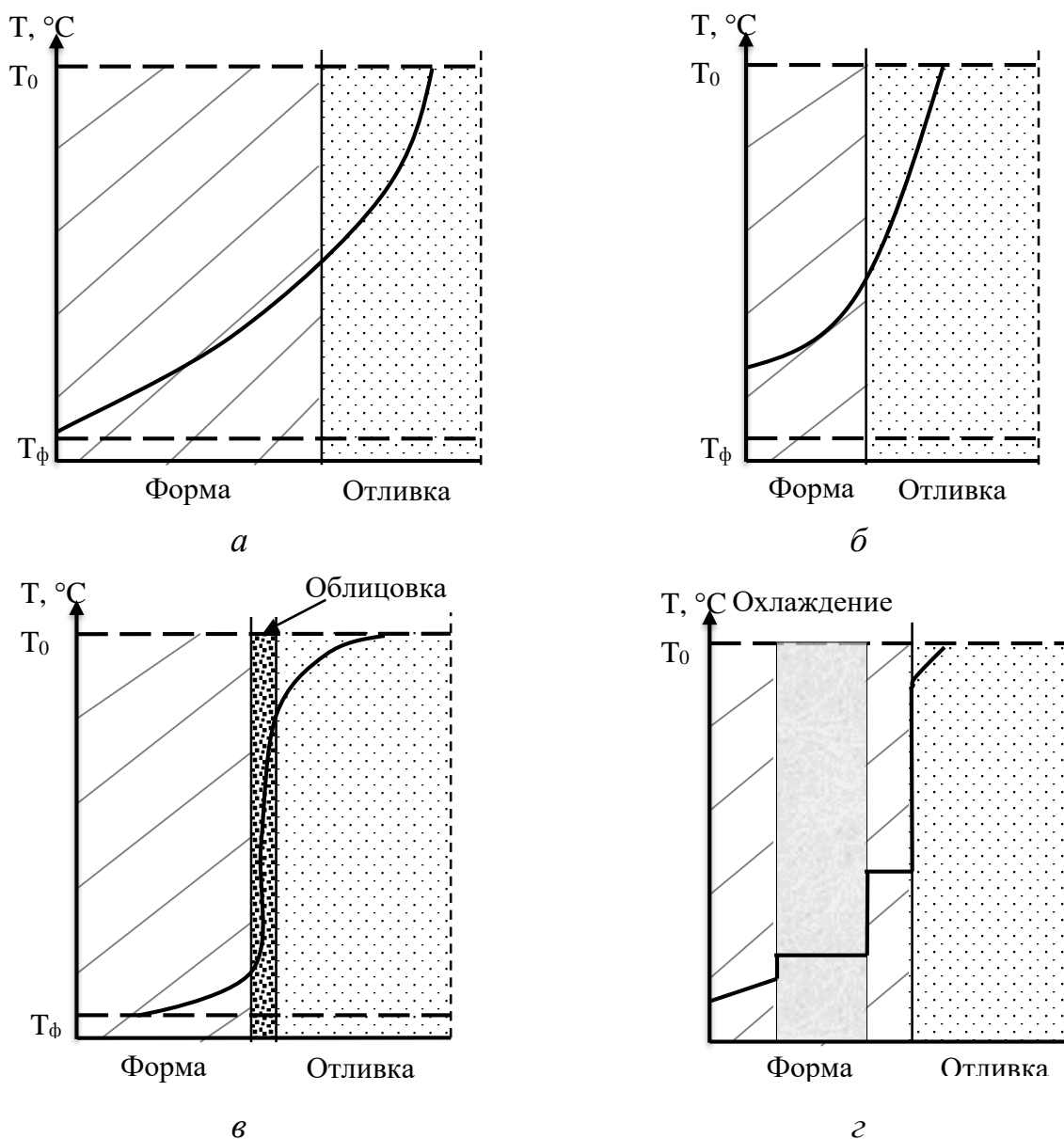


Рисунок 1.5 – Температурное поле затвердевания отливки в зависимости от типа металлической формы: *а* – толстостенная; *б* – тонкостенная; *в* – с облицовкой; *г* – с охлаждением.

$T_0$  – температура отливки,  $T_\phi$  – температура формы [92]

Слабо изучено и совокупное влияние теплофизических свойств, структуры и шероховатости слоя РП на качество поверхности отливок при литье под низким давлением. Данные проблемы являются одними из причин роста числа покрытий, композиции которых получены исключительно опытным путем и не удовлетворяют требованиям производителей фасонной продукции.

Существующие покрытия пресс-форм в зависимости от теплофизических характеристик их наполнителей делятся на три типа: теплопроводящие – способ-

ствуют направленной кристаллизации отливки; теплоизолирующие – снижают интенсивность теплообмена между отливкой и формой; грунтовые – служат базовым слоем для других покрытий или наносятся для защиты инструмента.

В мировой практике для их приготовления используются такие материалы как мел, циркониевый концентрат, маршалит, асбест, тальк, мусковит, шамот, каолин, оксиды циркона, алюминия, титана, магния, хрома и др. [95–101].

В таблице 1.3 приведены известные составы покрытий, применимых для окрашивания пресс-форм ЛНД.

Таблица 1.3 – Составы отечественных и зарубежных покрытий [70, 71, 98-101]

Компонент	Содержание, %								
Асбест	-	7	-	-	-	-	-	4	14
Бентонит	-	-	-	2,1	-	4,2	4,3	2,5	-
Графит	-	-	8,4	-	-	-	28,5	-	-
Диатомит	-	-	-	-	-	-	-	2,5	2
Диоксид титана	-	-	8,4	-	2	25	-	1,8	7
Каолин	-	-	-	1,1	20	-	-	-	-
Корунд	-	-	-	4,4	20	-	-	-	2
Мел	15	-	4,3	-	-	-	-	-	-
Тальк	-	1,5	-	-	5	-	-	-	-
Цирконовый концентрат	-	-	-	4,4	-	-	-	2	-
Шамот	-	-	-	10,7	-	-	-	-	-
Золь-гель	-	-	-	-	20	-	-	1,4	2
Жидкое стекло	0,6	4	8,4	4,3	-	-	-	-	-
Вода	остальное					-			
Спирт	-					остальное			

Используя схематичный метод установления взаимосвязей [102, 103], проанализируем влияние свойств покрытия пресс-формы и параметров их регулирования на возникновение дефектов колес (рисунок 1.6).

При условном постоянстве химического состава сплава и режимов литья (давления, скорости, температуры металла и формы) причины отклонений от нормального заполнения (рисунок 1.7) и появления усадочных дефектов (рисунок 1.8) связаны с процессами теплообмена в системе «расплав – разделительное покрытие – пресс-форма». Интенсивность отвода теплоты в этом случае напрямую зависит от теплофизических свойств и шероховатости разделительного слоя.

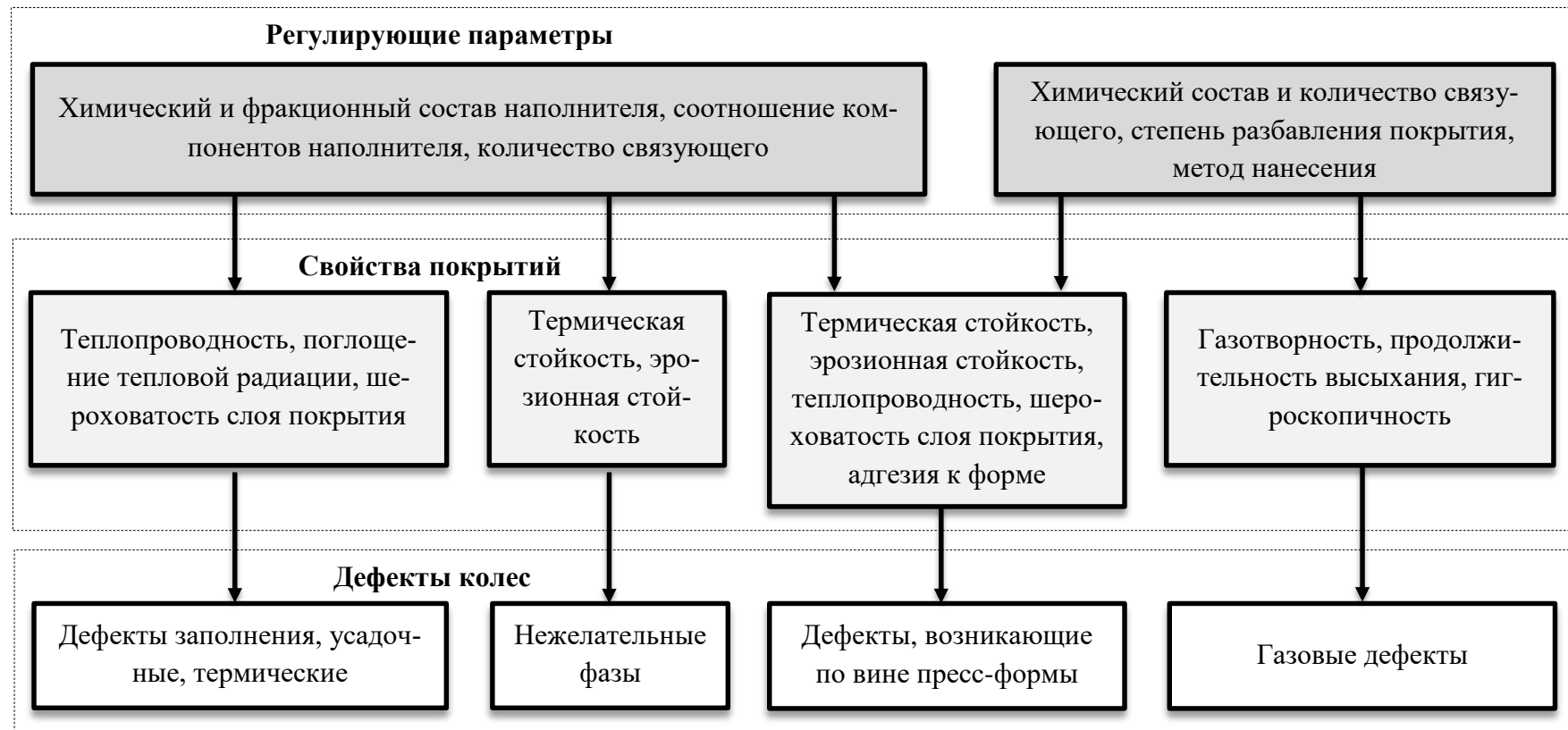


Рисунок 1.6 – Влияние параметров регулирования качества разделительных покрытий на предотвращение дефектов колес

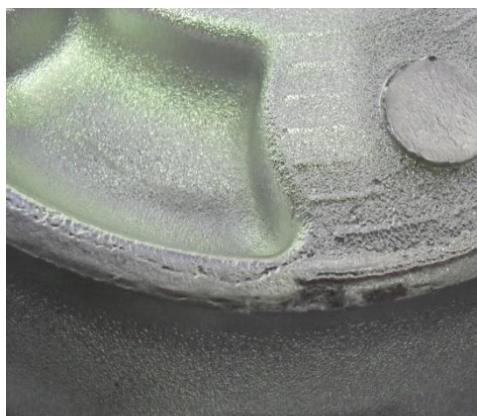
*a**б*

Рисунок 1.7 – Дефекты заполнения легкосплавных колес: *a* – неслитина с обратной стороны ступицы; *б* – следы течения металла

Согласно этому, для уменьшения скорости охлаждения металла, поступающего в матрицу, ее окрашивают покрытиями, наполнители которых содержат материалы с низкими коэффициентами теплопроводности.

Наполнители теплоизолирующих составов часто содержат грубодисперсные частицы, повышающие шероховатость слоя покрытия, что способствует формированию воздушного зазора и уменьшению теплопередачи. Эти частицы способны стягивать окисные пленки к краю фронта течения металла, тем самым положительно влияя на формозаполняемость.

*a**б*

Рисунок 1.8 – Усадочные дефекты легкосплавных колес: *a* – раковины в ступице; *б* – раковина на спице

С другой стороны, для интенсификации теплообмена между металлом и пресс-формой в определенных зонах, на них наносят покрытия с более высокими



коэффициентами теплопроводности материалов наполнителя. При этом дисперсность наполнителей обеспечивает меньшую шероховатость слоя и, следовательно, большую площадь поверхности контакта с расплавом [9, 70].

Термических дефектов (рисунок 1.9) в колесах сложной конфигурации так же можно избежать регулированием теплообмена. Нанесение на различные участки пресс-форм одно- или многослойных РП, обладающих заданными теплофизическими характеристиками, способствует созданию условий для направленной кристаллизации отливки или же выравниванию температурного поля по ее сечению с последующим однородным охлаждением, что снижает воздействие напряженного состояния [34].

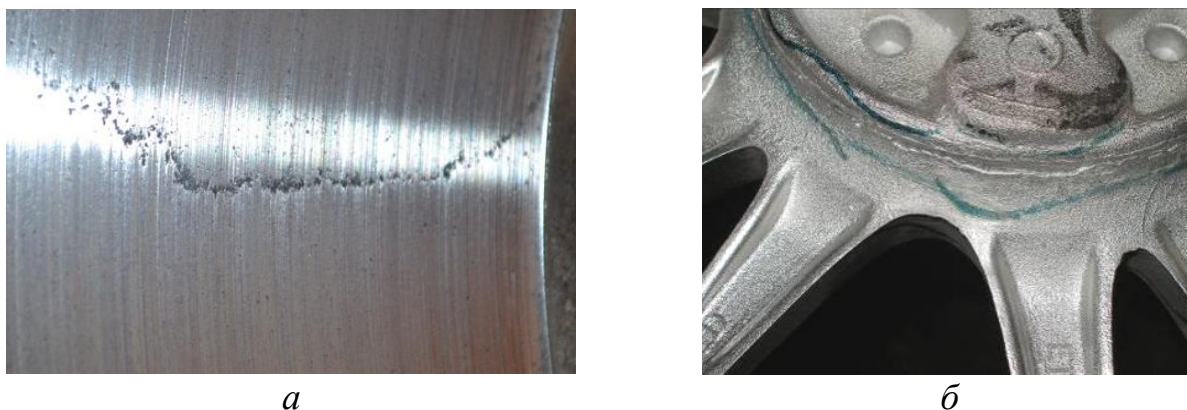


Рисунок 1.9 – Термические дефекты легкосплавных колес: *а* – трещина на ободе; *б* – трещина на ступице

Появление нежелательных фаз, снижающих прочность и коррозионную стойкость колес, связано с попаданием в кристаллизующееся тело отливки фрагментов разрушенного слоя покрытия из-за его недостаточной термической и эрозивной стойкости. Предотвращение подобных дефектов возможно путем подбора состава с рабочим диапазоном температур, более подходящим данным режимам литья, изменением фракционного состава наполнителя и его соотношения со связующим для получения более прочной структуры слоя [55].

В случае захвата расплавом водяных паров и других газов, выделяющихся из слоя покрытия, возникает пористость – множество газовых включений различного размера, которые могут выходить на поверхность или располагаться под по-

верхностью отливки. Последнее значительно увеличивает издержки предприятия, так как выявляется после механической обработки и окраски колес (рисунок 1.10).

Для предотвращения газовых дефектов рекомендуется использовать покрытия с оптимальным соотношением наполнителя со связующим, обладающим термической стойкостью или упрочняющимся при нагреве до рабочей температуры; подбирать достаточную степень разбавления, необходимую для нанесения выбранным методом [8, 9].



Рисунок 1.10 – Пористость на лицевой поверхности легкосплавного колеса

Дефекты, возникающие по вине пресс-формы (рисунок 1.11), не только снижают качество получаемых отливок, но и являются признаком разрушения формообразующей поверхности матрицы. Причины появления трещин и разрастания сетки разгара заключаются в температурных напряжениях пресс-формы, ее термической усталости и гидродинамическом износе, адсорбционно-поверхностных эффектах, коррозионном растрескивании, трении.

Циклический нагрев и охлаждение приводят к появлению неоднородного поля напряжений в стенке матрицы, вызывающего ее упругие и пластические деформации. Для последних характерны остаточные деформации и напряжения. В каждом цикле термического нагружения (залитка – удаление отливки) деформация сжатия сменяется деформацией растяжения, что приводит к термической

усталости материала пресс-формы. Уровень возникающих напряжений зависит также от конструкции формы – толщины его стенки, конструкции ребер жесткости и т.д. [22, 104].

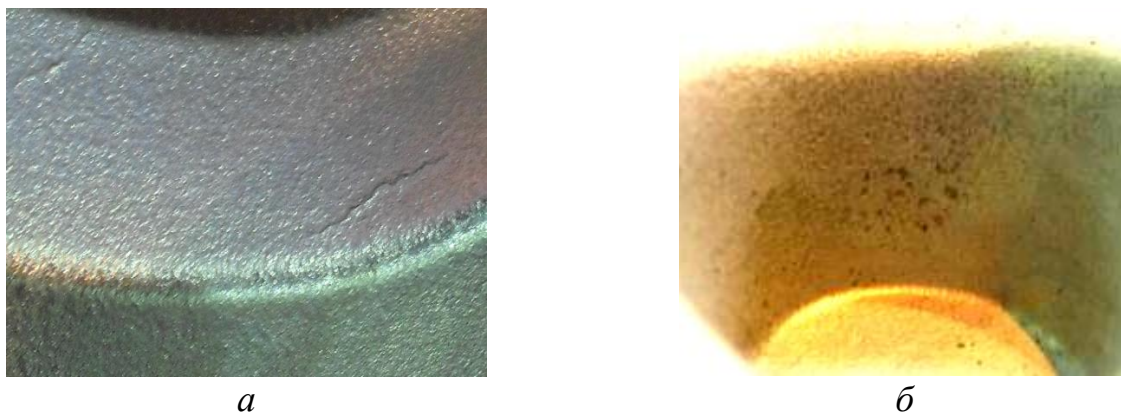


Рисунок 1.11 – Дефекты взаимодействия расплав-форма на отливке: *а* – следы от трещин матрицы на ступице; *б* – задиры

Многочисленное воздействие силицидов на стальную форму сопровождается образованием твердых растворов алюминия и кремния в легированном феррите, алюминидов и алюмосилицидов железа, кристаллы которых, нарастая, изменяют геометрию рабочей поверхности, что приводит к частому привариванию отливок, задирам [105–107].

Нанесение РП предотвращает контакт формообразующей поверхности с расплавами силицидов, нивелирует воздействие циклических тепловых и кавитационно-гидравлических ударов. При этом, согласно приведенной выше схеме (см. рисунок 1.6), эффективность защиты пресс-формы зависит от сложной взаимосвязи параметров, регулирующих свойства покрытия.

Состав с заданной теплопроводностью наполнителя и шероховатостью получаемого слоя, обладающий высокой адгезией к форме, термической и эрозионной стойкостью, исключает металлизацию рабочей поверхности матрицы, обеспечивает лучшее заполнение, уменьшает трение при извлечении отливок и способен выдержать большое число циклов заливки без подкраски.

## 1.5. Выводы и постановка задач исследования

Анализ литературных данных показал, что в настоящее время для автомобильной промышленности, в частности производителей фасонных алюминиевых деталей и элементов, актуальной является комплексная задача по улучшению качества отливок, защите рабочей поверхности пресс-форм от воздействия расплава и продлению срока их эксплуатации, снижению производственных затрат.

Применительно к производству легкосплавных колес решение данной задачи заключается в нанесении на пресс-формы специализированных разделительных покрытий и не требует, в отличие от других методов, изменения технологического процесса и экономических вложений на модернизацию оборудования.

Цель данной работы – разработка комплекса технологических решений, направленных на повышение качества автомобильных колес при литье под низким давлением за счет предотвращения образования подповерхностных дефектов.

Для достижения цели были сформулированы следующие задачи:

- выполнить анализ существующей литейной технологии, включая процесс подготовки пресс-форм и свойства используемых зарубежных покрытий;
- предложить составы импортозамещающих разделительных покрытий и экспериментально обосновать возможность их применения при литье автомобильных колес под низким давлением из силумина АК12;
- исследовать с использованием программного пакета ProCAST® процесс формирования качества поверхности колес под низким давлением при различных теплофизических свойствах разделительного слоя в системе «расплав – разделительное покрытие – пресс-форма»;
- внедрить разработанные покрытия на ООО «КиК» и в учебный процесс ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет».

## 2. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И МАТЕРИАЛЫ

Легкосплавное автомобильное колесо, являющееся ответственным элементом конструкции шасси транспортного средства, должно обладать высокими эксплуатационными характеристиками. Соответственно, надлежащий контроль ведется за стабильностью химического состава сплава и режимов литья, постоянством геометрических размеров, чистотой и целостностью рабочей поверхности пресс-форм, равномерностью нанесенного слоя защитного покрытия.

Использование высококачественных зарубежных материалов, в зависимости от рыночной ситуации, усложняет выпуск конкурентоспособной продукции при минимальных затратах. С другой стороны, все более актуальным для отечественной промышленности становится импортозамещение, сопряженное с задачами выпуска продукции, не уступающей зарубежным аналогам.

Новизна представленных конструктивных и технологических решений подтверждена в работах [108–111].

### 2.1. Этапы производства легкосплавных колес

На ООО «КиК» процесс производства автомобильных колес методом ЛНД включает следующие стадии (рисунок 2.1) [3]:

- компьютерное моделирование, позволяющее осуществить расчет режимов литья, разработать программы для станков участка механической обработки и линии покраски, провести симуляции испытаний готового колеса и выявить слабые места конструкции;
- изготовление пресс-форм из высоколегированной инструментальной стали;
- подготовка пресс-форм к литью, заключающаяся в проверке целостности рабочей поверхности, ее очистке и нанесении покрытий;
- приготовление расплава в индукционных тигельных печах фирмы StrikoWestofen;

- литье колес на автоматизированных литейных машинах фирмы GIMA, обеспечивающих поддержание нужных параметров процесса и направленное затвердевание отливок;
- обязательный стопроцентный рентгеноскопический контроль, осуществляемый на автоматических рентген-установках фирмы Yxlon;
- механическая обработка и покраска.

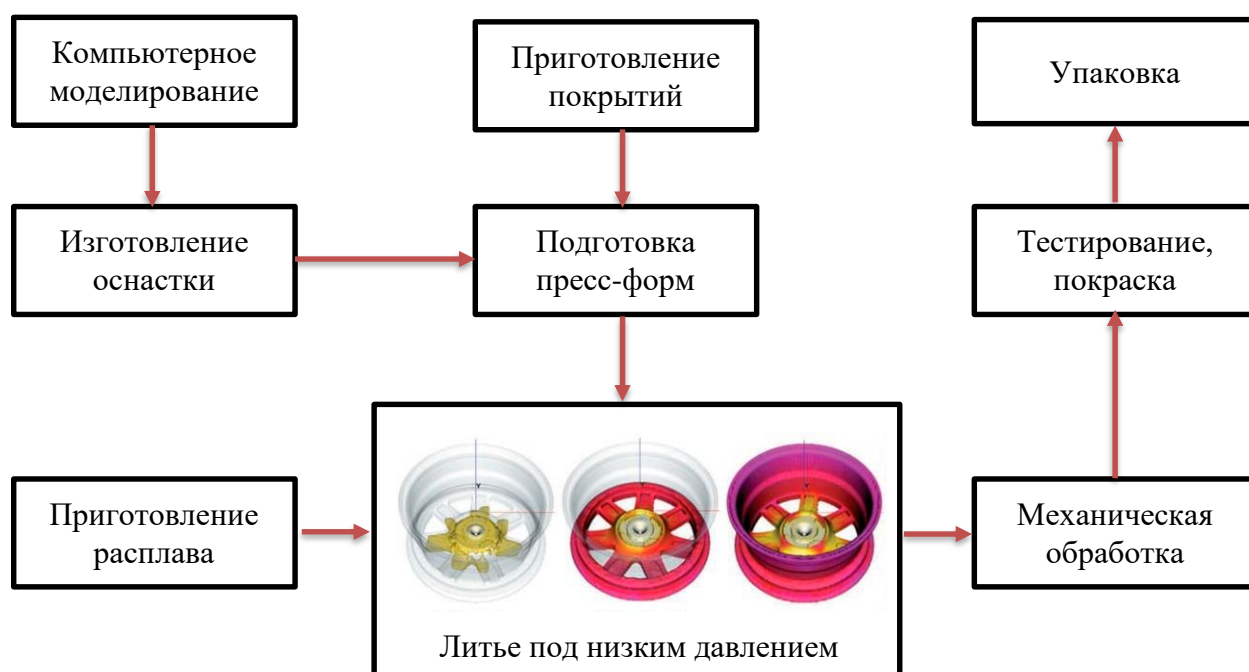


Рисунок 2.1 – Схема процесса изготовления легкосплавных колес на ООО «КиК»

Как видно, приготовление и нанесение покрытий является важным звеном технологической цепочки. Номенклатура РП, используемых ООО «КиК», представлена в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Общая характеристика покрытий [112, 113]

Условное обозначение	Марка	Производитель	Описание
Серийно используемые составы			
D1	D39ESS	Foseco DYCOTE (Великобритания)	Покрытие общего применения, обеспечивающее гладкую литую поверхность
D2	D34ESS		Покрытие с высокими теплоизоляционными свойствами для тонкостенного литья
D3	DR87		Грунтовое покрытие

Продолжение таблицы 2.1

Условное обозначение	Марка	Производитель	Описание
Альтернативные составы			
H1	CG-595	Henkel BONDERITE (Германия)	Покрытие с большой стойкостью к абразивному износу, обеспечивает гладкую литую поверхность
H2	CG-535		Покрытие, дающее шероховатый нанесенный слой с высокими теплоизоляционными свойствами
H3	CG-515		Грунтовое покрытие для серии CG-5xx, может использоваться для защиты инструментов (ковшей)

Данные составы поставляются в виде паст, которые перед использованием разбавляются водой до нужной плотности. Готовые покрытия необходимо периодически перемешивать ввиду образования осадка при длительном отстаивании. Наносятся суспензии с расстояния 20–30 см на поверхность пресс-форм, подогретых до 180–200 °С. При этом давление воздуха в линии подачи распылителя должно составлять 0,4–0,5 Мпа [112, 113].

Из-за склонности концентратов к замерзанию их необходимо хранить при температуре 10–25 °С, что накладывает ограничения на создание производственных запасов и ведет к сезонности закупок. Ввиду этих особенностей перспективной является возможность разработки и внедрения в производство отечественных покрытий с повышенными свойствами на основе местных ресурсов.

## 2.2. Исходные компоненты разделительных покрытий

Одним из условий разработки эффективных импортозамещающих РП и снижения их себестоимости является обязательное вовлечение отечественного сырья. На территории Красноярского края имеются залежи материалов, часто применяемых в качестве наполнителей (см. таблицу 1.3): Подлысанское месторождение – титаномагнетитовые руды, Горячегорское – корунд, Киргитейское – тальк, Курейское – графит, Молодежное – асбест и др. [114, 115].

Свойства наполнителей, используемых в настоящей работе при разработке разделительных покрытий для пресс-форм ЛНД, приведены в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Физические свойства наполнителей [54, 70, 116]

Наполнитель	Стандарт качества	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Твердость по Моосу	Температура плавления, °С	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К)
Мел CaCO <sub>3</sub>	ГОСТ 4530-76	2 740	3	839	0,930**
Сульфат бария BaSO <sub>4</sub>	ГОСТ 3158-75	4 500	-	1 580	-
Корунд Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	ГОСТ 28818-90	3 800–4 000	9	2 050	22,562***
Тальк 3MgO × 4SiO <sub>2</sub> × H <sub>2</sub> O	ГОСТ 19729-74	2 700–2 800	1	1 200	0,002*
Мусковит KAl <sub>2</sub> (AlSi <sub>3</sub> O <sub>10</sub> ) × (OH) <sub>2</sub>	ТУ 5725-011-00281878-03	2 760–3 100	2-2,5	1 145-1 400	0,550*
Диоксид титана TiO <sub>2</sub>	ТУ 2-339-11	3 900–4 050	5,5-6	1 843	9,500*
Пылевидный кварц SiO <sub>2</sub>	ГОСТ 9077-59	2 650	7	1 713	6,978***

Примечание. Температура испытаний, °С: \* – 20; \*\* – 50; \*\*\* – 100.

Данные о фракционном составе выбранных наполнителей представлены на рисунках 2.2–2.8 (в виде интегральных кривых и гистограмм) и в таблице 2.3.

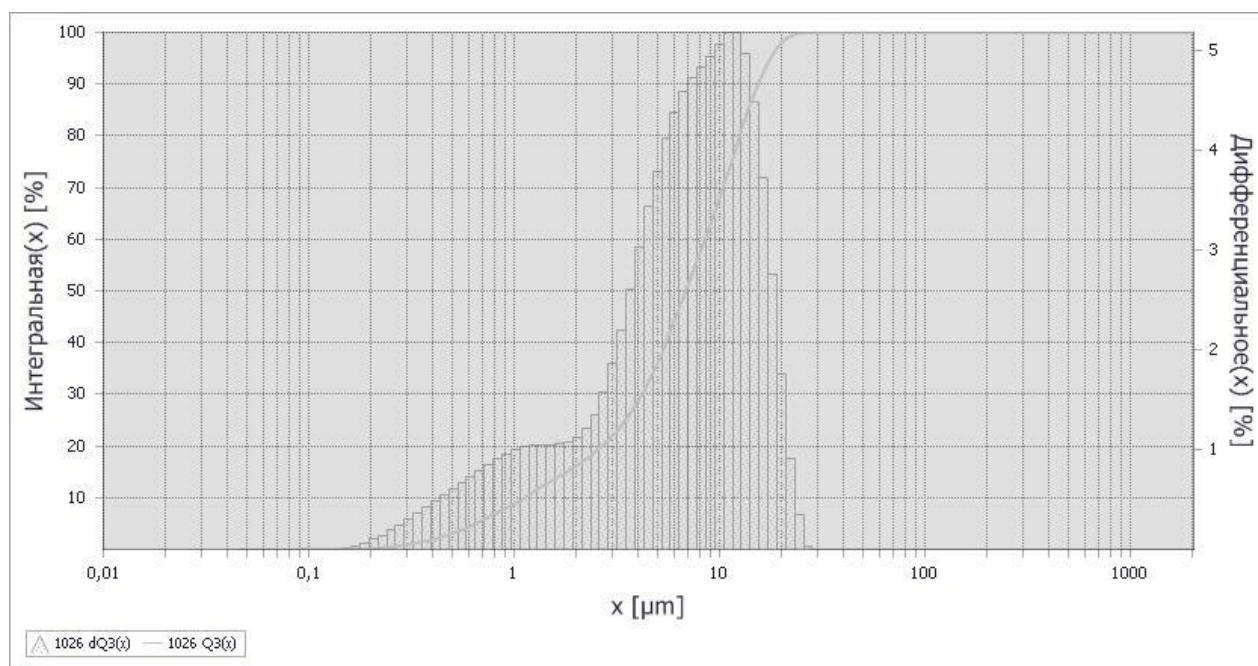


Рисунок 2.2 – Фракционный состав образца мела



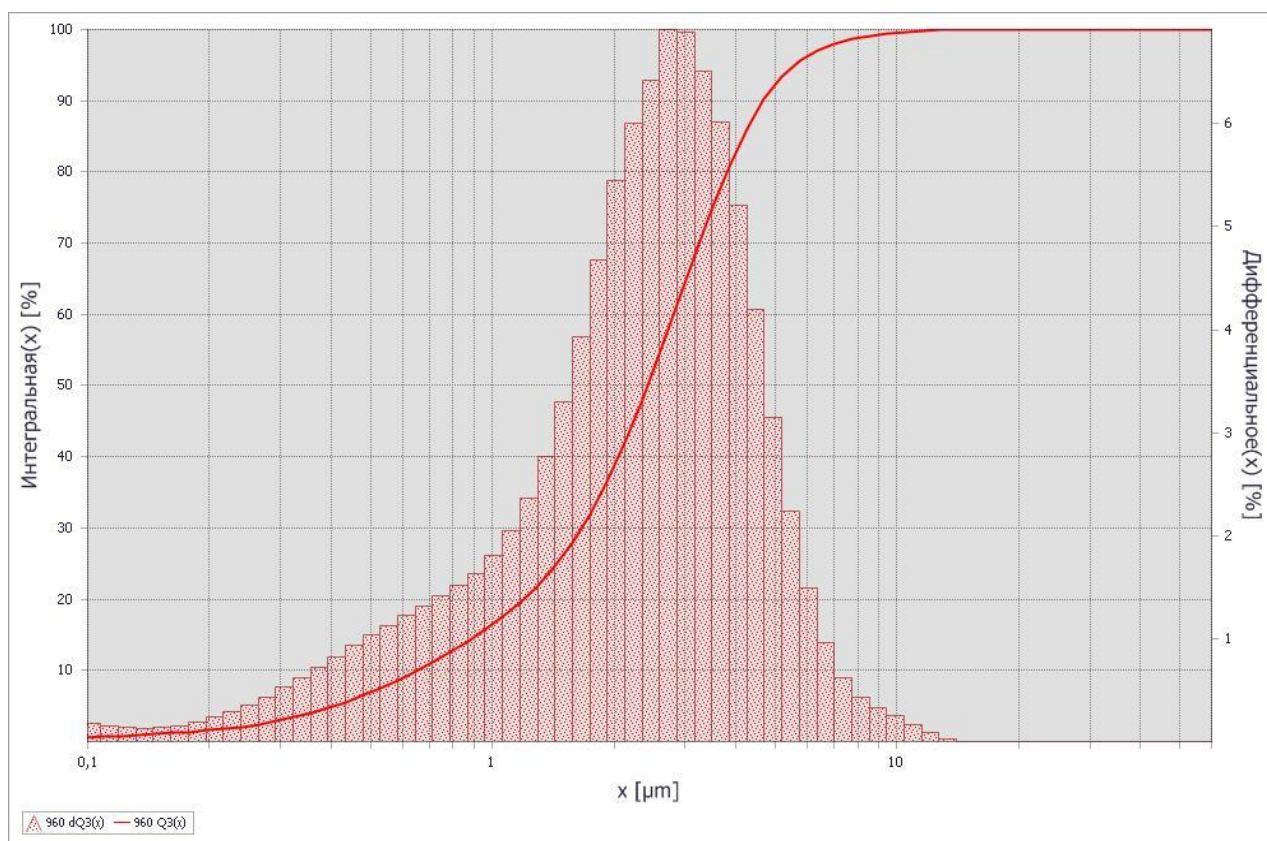


Рисунок 2.3 – Фракционный состав образца сернокислого бария

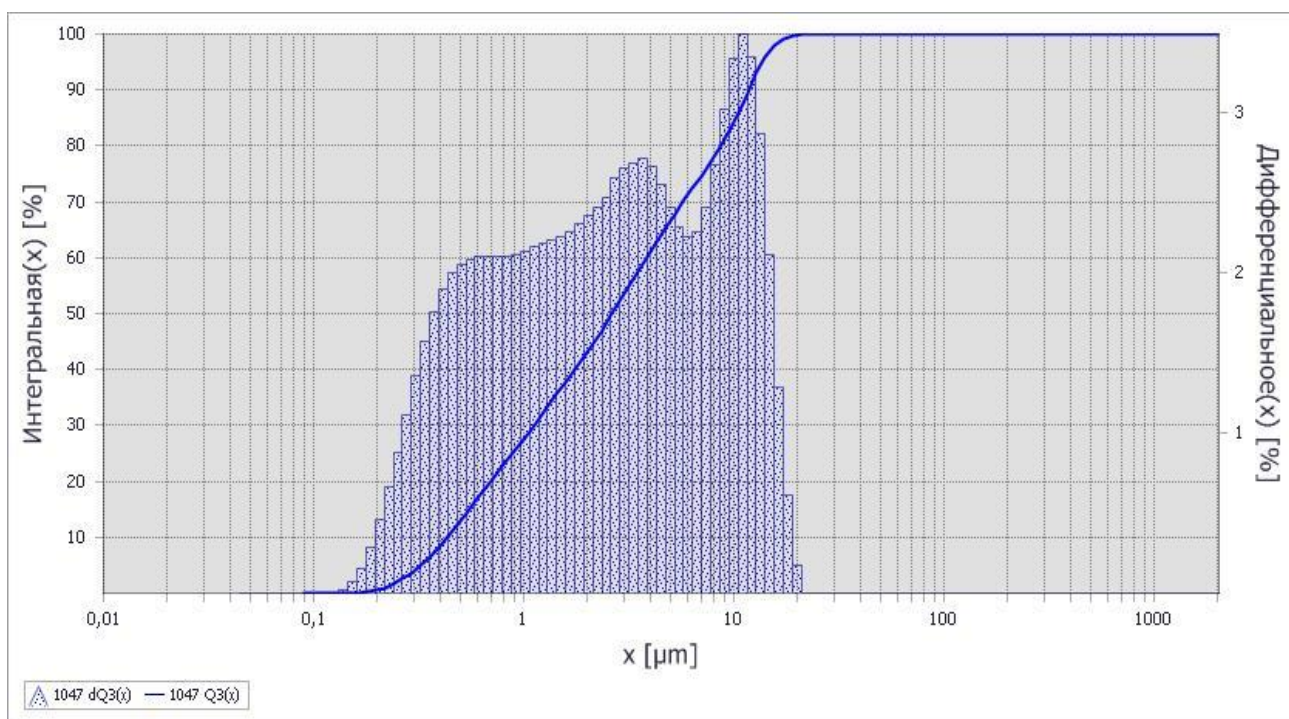


Рисунок 2.4 – Фракционный состав образца корунда

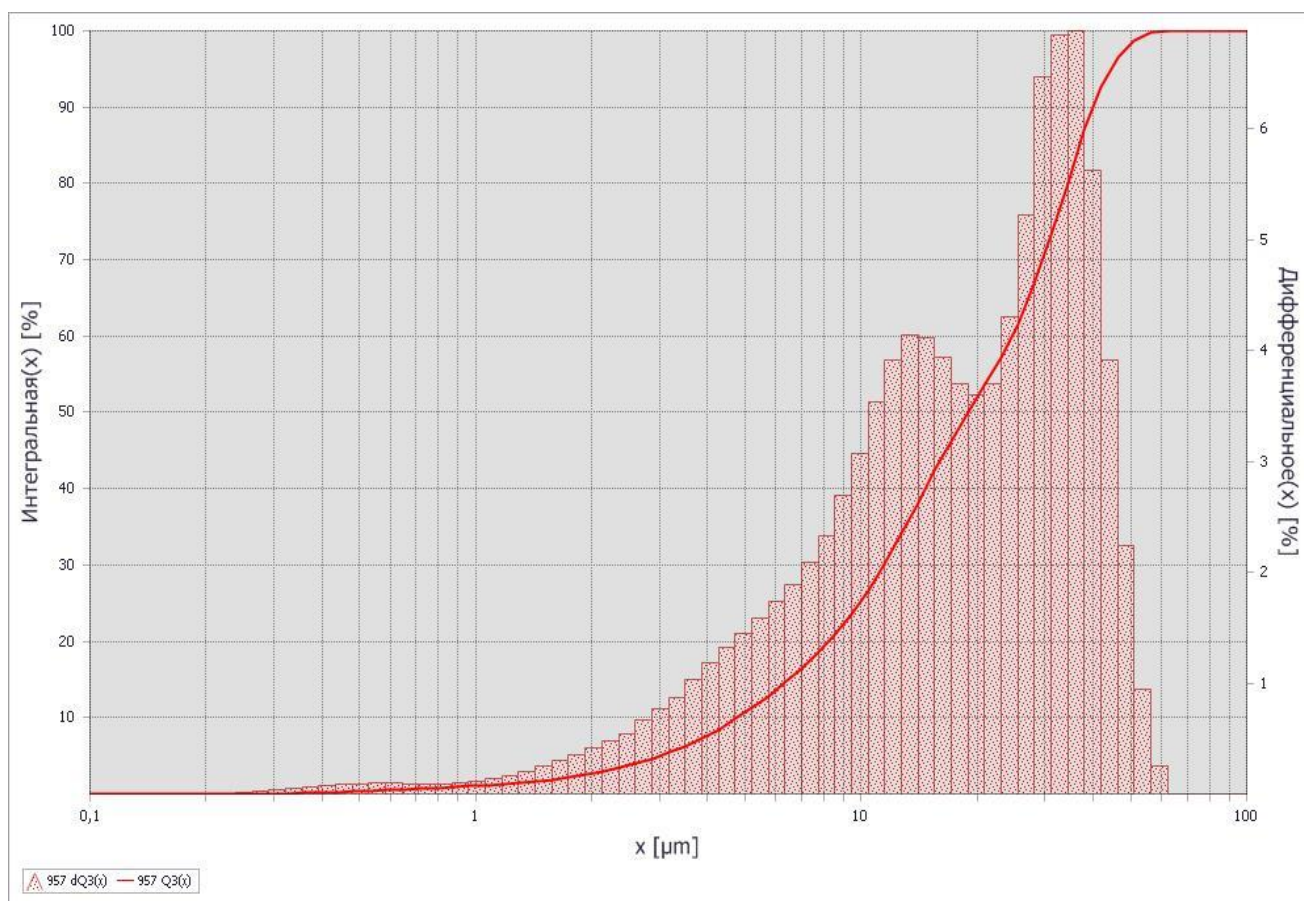


Рисунок 2.5 – Фракционный состав образца талька

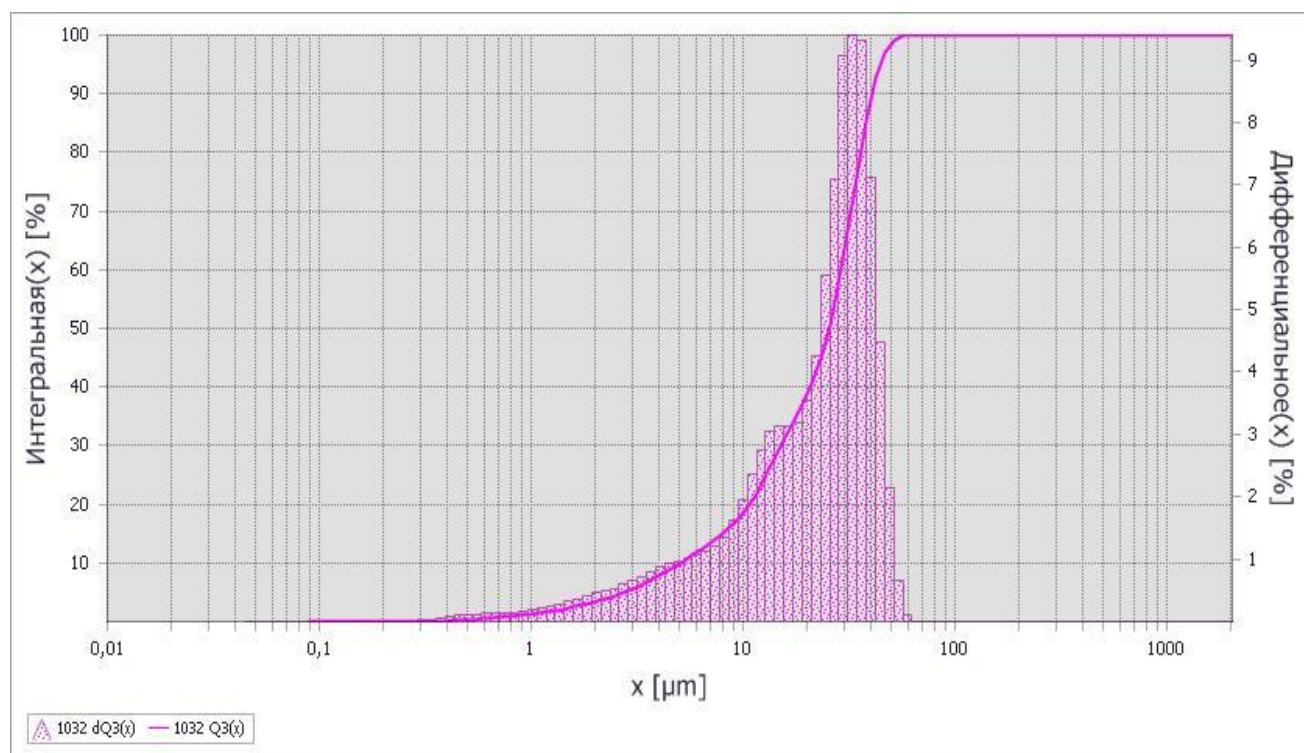


Рисунок 2.6 – Фракционный состав образца мусковита

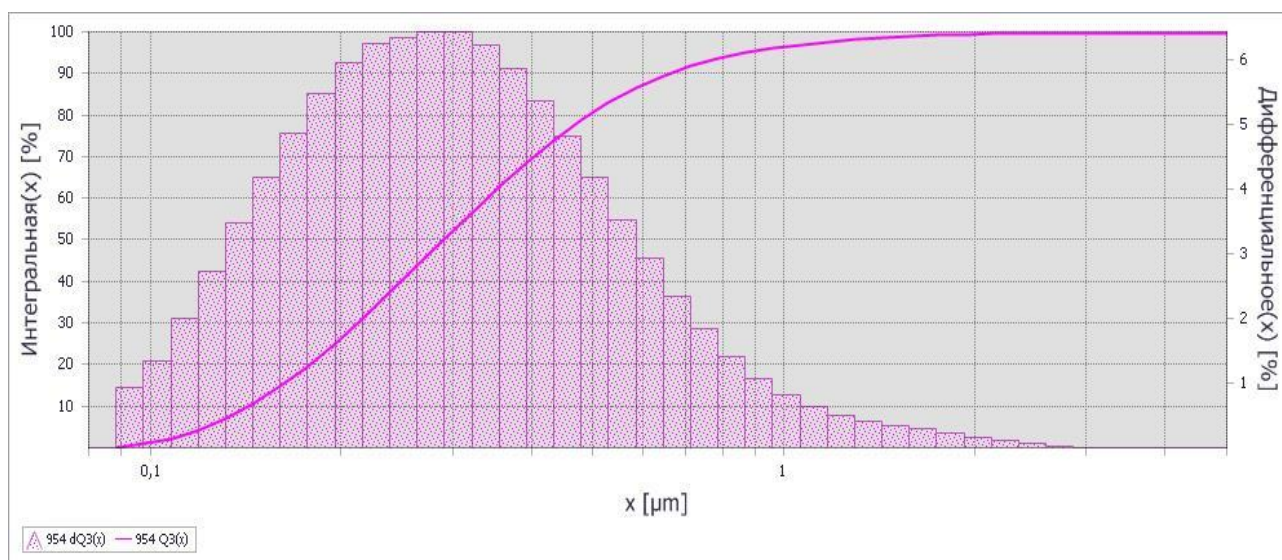


Рисунок 2.7 – Фракционный состав образца диоксида титана

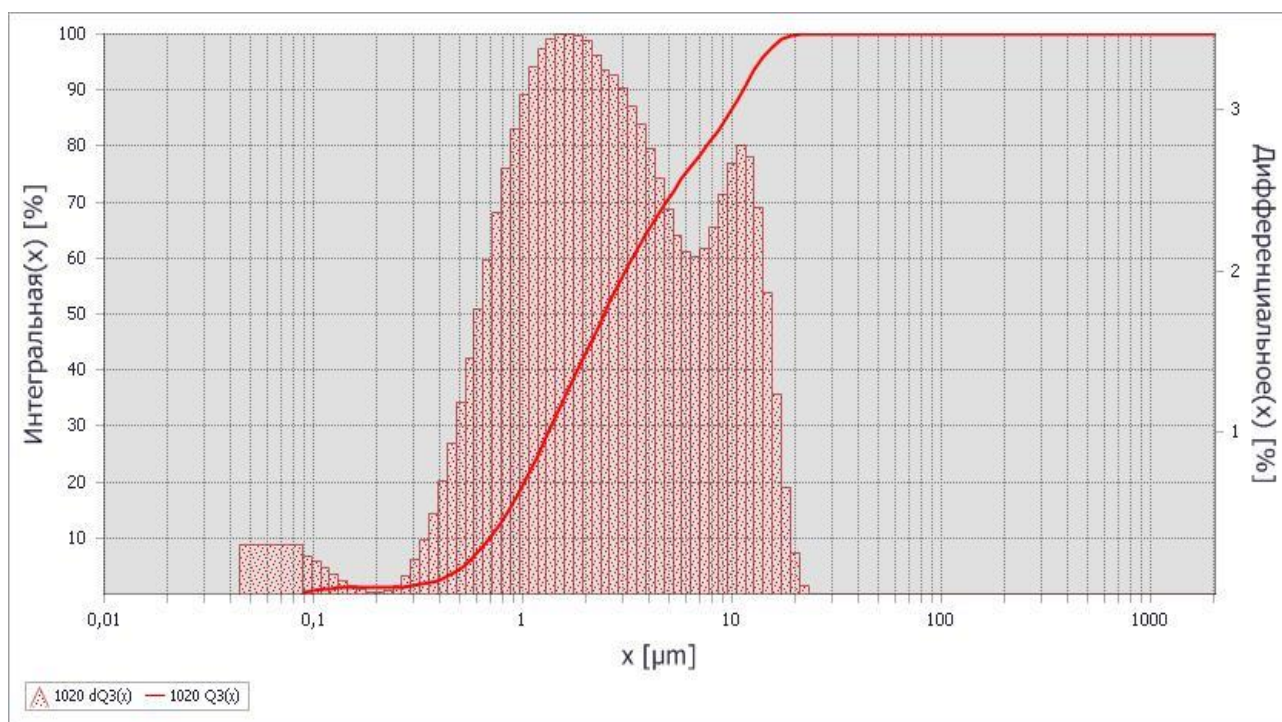


Рисунок 2.8 – Фракционный состав образца пылевидного кварца

Таблица 2.3 – Средний размер частиц используемых наполнителей, мкм

Мел	Сульфат бария	Корунд	Тальк	Мусковит	Диоксид титана	Пылевидный кварц
5,16	2,42	2,63	18,92	19,03	0,30	1,81

В качестве связующего вещества использовалось натриевое жидкое стекло для литейного производства по ГОСТ 13078–81.

Таким образом, выбор исходных компонентов РП обусловлен их физико-химическими характеристиками, сочетание которых дает возможность создавать составы, дающие при нанесении защитный слой с высокой химической, термической, эрозионной стойкостью и другими заданными свойствами. При этом необходимые показатели коэффициента теплопроводности конкретного покрытия достигаются изменением процентного соотношения его компонентов.

### 2.3. Методы оценки свойств разделительных покрытий

Применимость конкретного разделительного покрытия в производстве оценивается по ряду свойств. Во-первых, это общие свойства (фракционный состав, плотность, вязкость, седиментационная устойчивость), влияющие на процесс приготовления покрытий, продолжительность их хранения, формирование структуры и профиля поверхности нанесенного слоя. Во-вторых, рабочие свойства (прочность на истирание, шероховатость, теплопроводность, газотворность), от которых зависит количество циклов литья без подкраски пресс-формы, ее теплообмен с кристаллизующейся отливкой и риск возникновения дефектов.

*Фракционный состав наполнителя* разрабатываемых покрытий определяли с помощью лазерного гранулометра Fritsch ANALYSETTE 22 MicroTec (рисунок 2.9, а), обладающего диапазоном измерений от 0,08 до 2000 мкм. Навески используемых наполнителей (см. таблицу 2.2) помещали в замкнутый контур блока диспергирования с циркулирующей жидкостью. Разрушение агломератов обеспечивалось встроенным излучателем ультразвука. Измерительная ячейка, входящая в циркуляционный контур, просвечивалась зеленым и инфракрасным лазерами с автоматической настройкой положения (рисунок 2.9, б). Фиксируемые детектором данные об излучении передавались измерительным блоком на компьютер для обработки специальным программным обеспечением.

*Плотность* приготовленных покрытий измеряли ареометрами общего назначения (ГОСТ 18481–81). Данная методика применима для экспресс-контроля плотности покрытий непосредственно на участке подготовки пресс-форм.

*Вязкость* покрытий в литейном производстве определяют по вискозиметру ВЗ-4 (ГОСТ 8420–74).

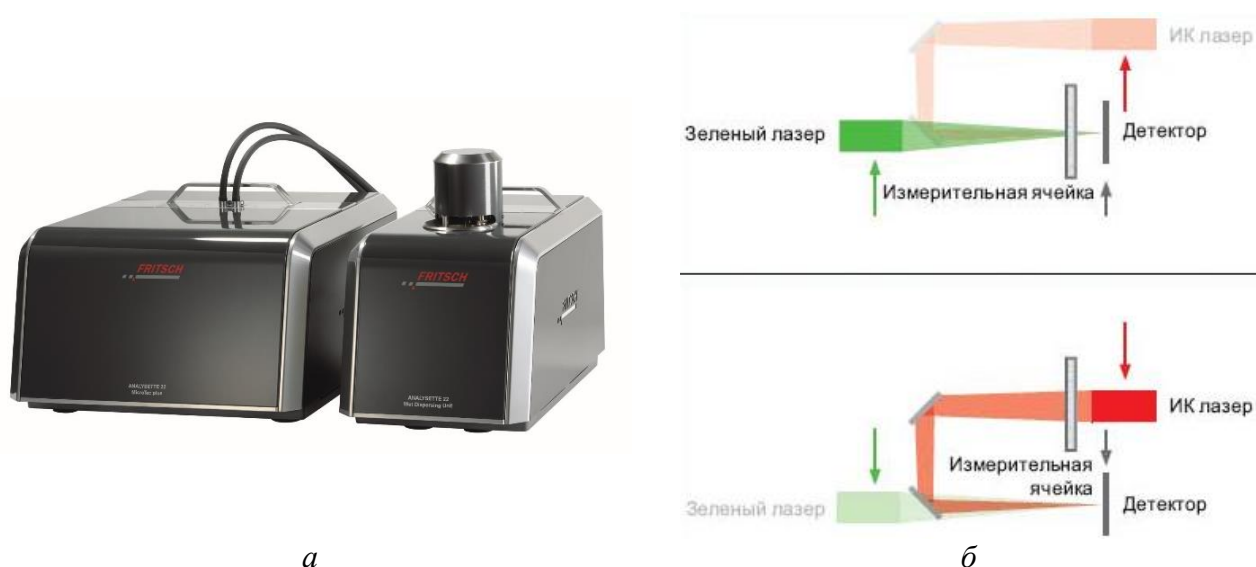


Рисунок 2.9 – Гранулометр ANALYSETTE 22 MicroTec [117]: *а* – общий вид; *б* – расположение лазеров при измерении диспергированных частиц

*Седиментационная устойчивость* оценивалась по методике, изложенной в ГОСТ 10772–78. Замеры отстоявшейся суспензии проводились по нескольким временным отметкам: 0,5, 1, 3, 7 и 24 часа от начала испытаний.

*Прочность на истирание*, согласно ГОСТ 10772–78, определялась с помощью установки представленной на рисунке 2.10.

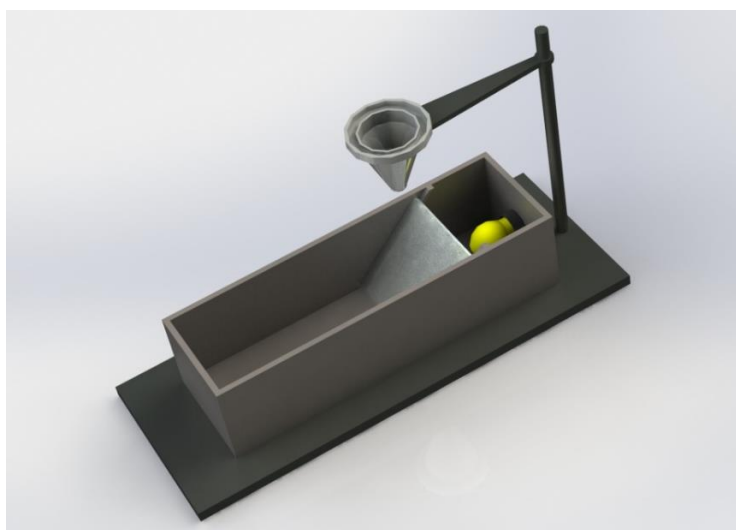


Рисунок 2.10 – Модель установки для определения прочности на истирание

*Измерение шероховатости* проводилось при помощи сертифицированного профилометра TR200 совместимого со стандартами ISO, DIN, ANSI, JIS. Диапазон измерений прибора составляет от 0,01 до 40 мкм по шкале Ra и от 0,02 до 160 мкм по Rz. Погрешность составляет не более 3 %. Для проведения замеров исследуемые покрытия наносились на пластинки из инструментальной штамповой стали 4X5МФС, соответствующей материалу пресс-форм литья под низким давлением. Шероховатость пластин до окраски – 40 мкм.

*Коэффициент теплопроводности* оценивали по методу лазерной вспышки на установке NETZSCH LFA 457 MicroFlash (рисунок 2.11). Сущность метода заключается в том, что нижняя сторона плоскопараллельного образца нагревается коротким лазерным импульсом. Полученное тепло распространяется по образцу и вызывает повышение температуры его противоположной верхней поверхности. Рост температуры со временем измеряется с помощью инфракрасного детектора (рисунок 2.12). По полученным данным рассчитывается температуропроводность  $a$  и как функция температуры определяется коэффициент теплопроводности  $\lambda$ .

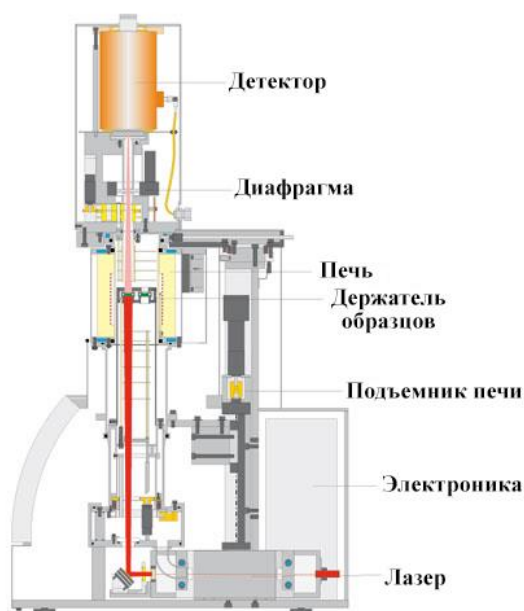


Рисунок 2.11 – Схема измерительного блока установки LFA 457 MicroFlash [118]

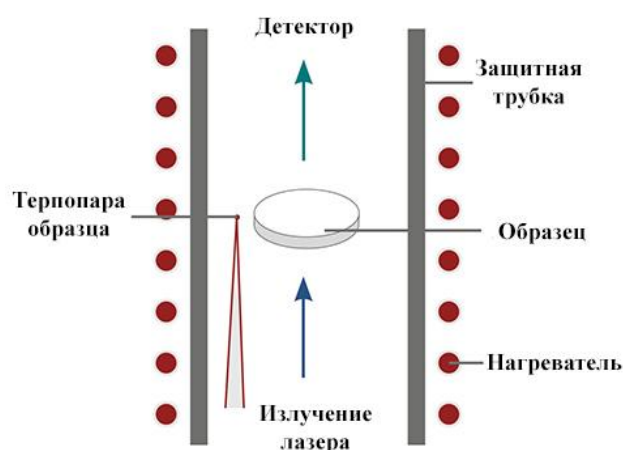


Рисунок 2.12 – Принципиальная схема метода лазерной вспышки [118]

Образцы готовились из высушенных покрытий. Для улучшения поглощения лазерной вспышки на поверхность образцов наносили графитовый спрей тем са-

мым увеличивая степень черноты. Нагрев происходил в атмосфере аргона. В качестве хладагента для инфракрасного детектора использовался жидкий азот.

*Газотворность* покрытий, характеризующаяся количеством выделившихся газов при нагреве и распределением их выделения во времени, определялась на термоанализаторе TA Instruments SDT Q600, совмещенном с ИК-Фурье спектрометром и газовой кюветой. Данный прибор позволяет регистрировать изменения массы образца и процессы, сопровождающиеся выделением или поглощением тепла. В диапазоне температур от комнатной до 1500 °С одновременно реализуются три метода термического анализа материалов: термогравиметрический (ТГА), дифференциальный термический (ДТА) и дифференциальная сканирующая калориметрия (ДСК).

#### **2.4. Методы оценки влияния разделительных покрытий на литейные свойства сплава и качество колес**

Влияние серийно применяемых и разрабатываемых покрытий на *формозаполняемость* широко используемого в производстве колес силумина АК12 определяли с помощью спиральной пробы по ГОСТ 16438–70 (рисунок 2.13). Толщина слоя покрытия, нанесенного на поверхность кокиля, составляла 35 мкм и контролировалась толщиномером ElektroPhysik MiniTest 1100.



Рисунок 2.13 – Металлическая форма для получения проб формозаполняемости [3]

Перед нанесением покрытия форма очищалась в камере пескоструйной обработки. При отливке образцов температура формы составляла 100 °С, температура расплава – 710 °С. Контроль температуры осуществлялся пирометром Fluke 568.

Качество готовых колес оценивалось в лаборатории металлургического отдела ООО «КиК», имеющей аккредитацию Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в системе сертификации ГОСТ Р 52390–2005 рег. № РОСС RU 0001.22МТ79.

*Контроль механических свойств*, согласно ГОСТ Р 50511–93, проводили на образцах, вырезанных из наиболее нагруженных частей колес, указанных в соответствующей конструкторской документации. Образцы подвергались разрыву на машине WDW-20 (ГОСТ 1497–93) при комнатной температуре. Твердость по Бринеллю измерялась при помощи твердомера ТБ-5004 (ГОСТ 9012–59) в нескольких точках испытуемого образца (рисунок 2.14).

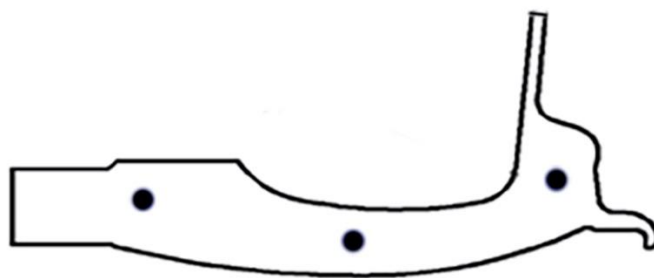


Рисунок 2.14 – Типовое расположение точек замера твердости в образце колеса

*Макро- и микроструктуру образцов* колес исследовали при помощи микроскопов Carl Zeiss Stemi 2000-C и OLYMPUS GX51, позволяющего проводить наблюдения в режимах светлого или темного поля, поляризованного света.

Для определения *сопротивления усталости колес при изгибе с вращением*, на двухосевом испытательном стенде Makra ZWARP (рисунок 2.15) колеса в сборе с шиной подвергались циклическим перегрузкам, имитирующим жесткие условия эксплуатации: движение на перегруженном автомобиле, резкое перестроение, неровности дороги, разгон до 180 км/ч. В данных испытаниях суммарная



нагрузка на колесо кратковременно может превышать номинальную (заявленную производителем) в три раза.

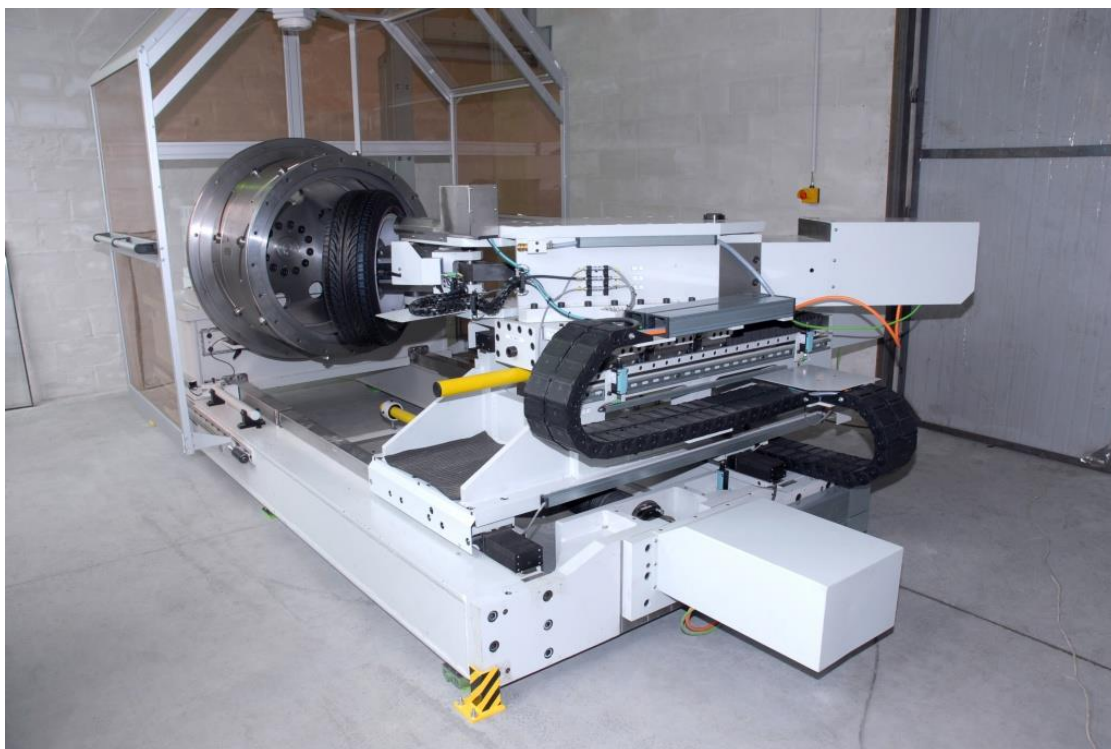


Рисунок 2.15 – Испытательный стенд Makra ZWARP [119]

Испытательный стенд для изучения *сопротивления колеса удару под углом*, согласно ГОСТ Р 50511–93, имитирует наезд на бордюр или попадание в яму. Колесо в сборе с радиальной бескамерной шиной, накачанной до 200 кПа, крепится под углом 13 градусов к горизонтальной плоскости. Свободно падающий элемент, создающий ударную нагрузку, располагается на высоте 230 мм над верхней точкой бортовой закраины. Его масса рассчитывается по формуле:

$$D = 0,6F + 180$$

где  $D$  – масса ударного элемента, кг;

$F$  – приходящаяся на колесо максимальная масса, установленная производителем, кг.

В данных испытаниях критериями несоответствия считаются следующие дефекты: видимые трещины по радиальному сечению колеса, отделение диска от

обода, падение давления в бескамерной шине. При этом деформация колеса или появление трещины в зоне контакта с ударным элементом дефектом не считается.

## 2.5. Моделирование процесса литья колес из сплава АК12 в пресс-формах с нанесенным разделительным покрытием

Сложность технологии изготовления легкосплавных колес методом литья под низким давлением требует от производителя не только постоянного ее совершенствования, но и применения современных систем автоматизированного расчета на стадии проектирования и разработки новых моделей. Ценной представляется возможность предварять запуск колеса в производство компьютерным моделированием, что дает возможность осуществления анализа и оптимизации режимов литья, симуляции испытаний с помощью виртуальной модели. С этой целью на многих предприятиях используется зарекомендовавший себя программный пакет ProCAST<sup>®</sup>, позволяющий моделировать процессы заливки, кристаллизации, теплообмена и образования пористости [3, 108].

При этом технологи и конструктора сосредотачивают внимание на расчете теплового и гидродинамического режимов для установления оптимального времени заполнения пресс-формы металлом, выявления переохлаждённых и перегретых зон, а, следовательно, зон с затрудненной усадкой (рисунок 2.16).

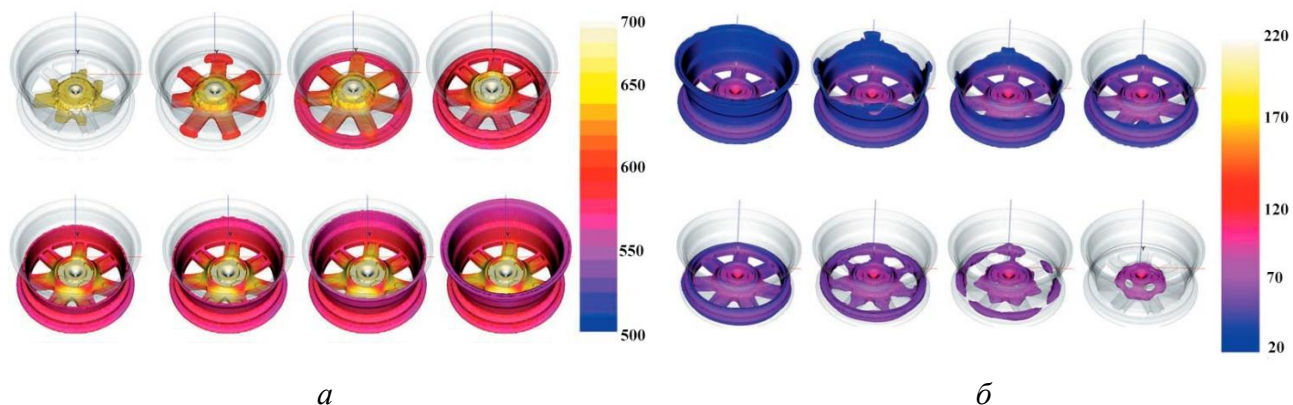


Рисунок 2.16 – Моделирование литья колес под низким давлением [120]: *а* – заполнение пресс-формы металлом; *б* – кристаллизация колеса

С помощью ProCAST® также возможно провести моделирование литья в пресс-форму, на рабочую поверхность которой нанесено разделительное покрытие. Для этого в CAD-системе SolidWorks предварительно создается трехмерная геометрическая модель оснастки, включающая слой разделительного покрытия заданной толщины (рисунок 2.17).

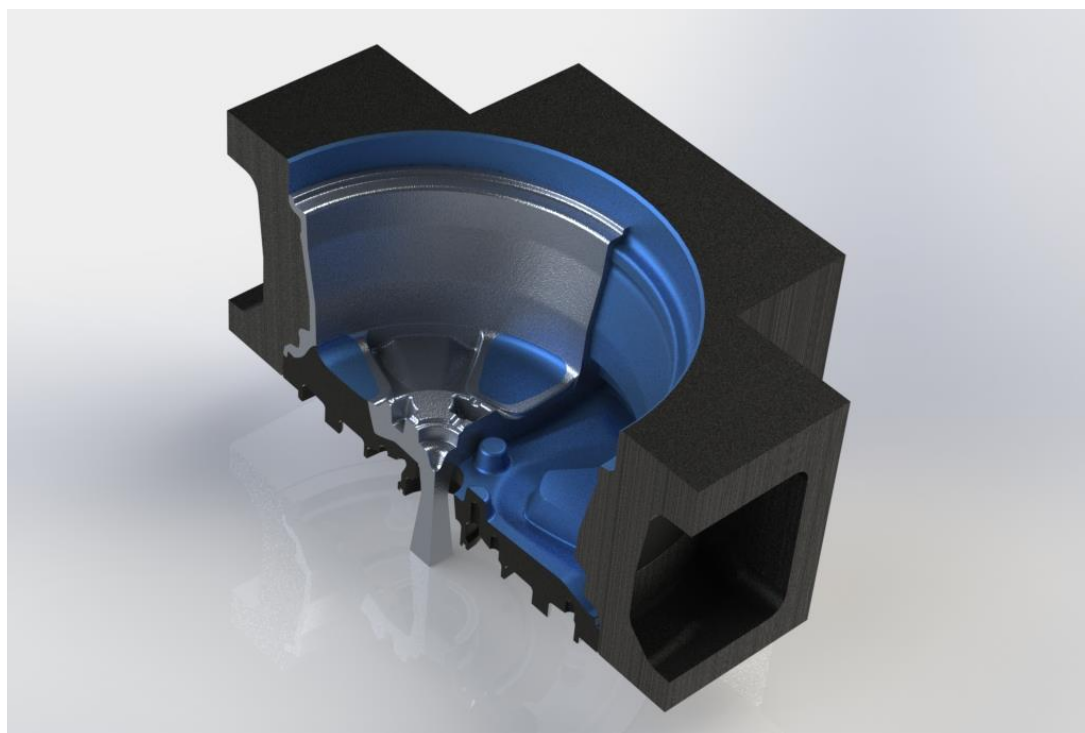


Рисунок 2.17 – 3D визуализация разреза пресс-формы с покрытием и отливкой в SolidWorks

Данная модель сохраняется в промежуточном формате IGS и передается в ProCAST® для обработки и создания поверхностной и объемной конечно-элементных сеток посредством сеточного генератора MeshCAST. От построения сеток непосредственно зависит точность расчетов, поэтому геометрическая модель делится на несколько доменов с различной величиной конечных элементов. Элементы меньшего размера более корректно описывают геометрию отливки, но значительно увеличивают время расчета.

Дальнейшая подготовка к моделированию осуществляется препроцессором PreCAST в следующем порядке [3, 120]:

- назначаются материалы компонентов, входящих в модель;

– для используемого сплава АК12, в зависимости от его химического состава, на основе встроенной термодинамической базы генерируются теплофизические и механические свойства;

- назначаются контактные поверхности между компонентами модели;
- задаются граничные условия;
- выбирается вектор гравитации;
- устанавливаются константы начальных условий;
- вводятся параметры запуска и критерии завершения расчета.

Далее следует компиляция необходимых настроек и непосредственно моделирование процессов литья в ProCAST®, расчет которых выполняется одновременно в нескольких модулях программного пакета.

По окончании моделирования, просмотр результатов происходит с помощью постпроцессора ViewCAST (рисунок 2.18). Данный модуль позволяет визуализировать исследуемые параметры: гидродинамические стадии заполнения пресс-формы, распределение полей скоростей расплава, время затвердевания и напряжения отливки.

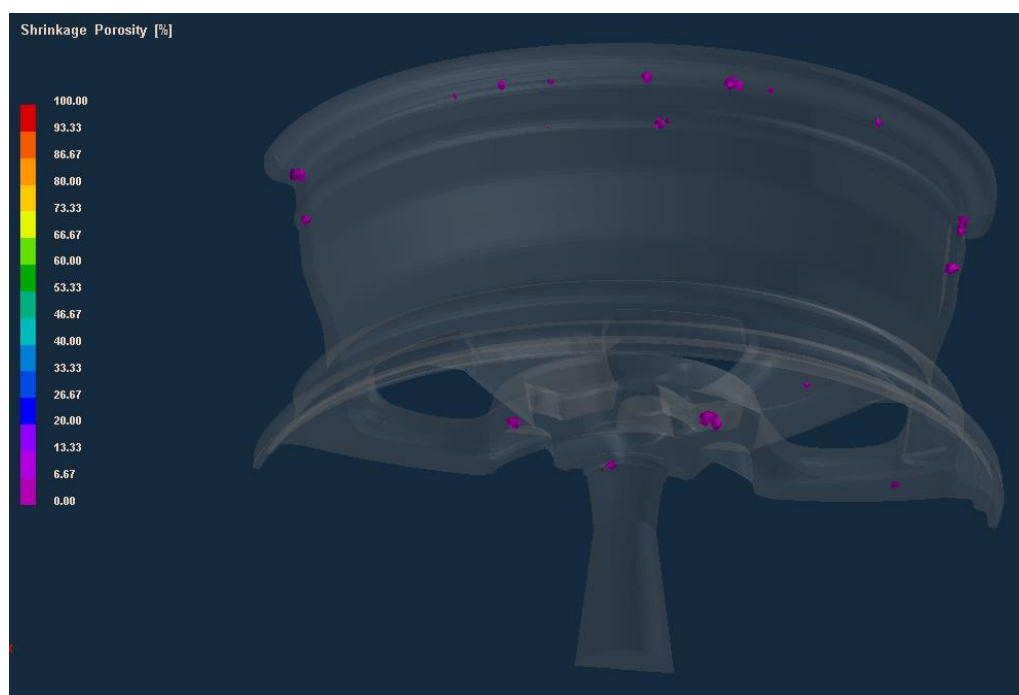


Рисунок 2.18 – Зоны образования пористости в колесе по результатам расчета ProCAST [108]

Таким образом, использование компьютерного моделирования при разработке новых литейных материалов, в частности покрытий для пресс-форм ЛНД, дает возможность предсказать появление дефектов продукции, зоны их локализации, сделать выводы о необходимости изменения геометрии отливки, конструкции формы, технологии ее подготовки (тип покрытия, толщина нанесенного слоя). Так же снижается нагрузка на действующее производство, за счет уменьшения числа опытно-промышленных испытаний.

## **2.6. Выводы**

На основе проведенного анализа сделаны следующие выводы:

- в существующей литейной технологии производства легкосплавных колес для окраски пресс-форм используются водорастворимые покрытия, наносимые методом пульверизации и требующие специальных условий хранения;
- в качестве наполнителей разрабатываемых покрытий использованы минеральные и оксидные материалы, добываемые в Красноярском крае и широко применяемые в роли теплоизоляции и огнеупоров;
- сочетание традиционных, гостированных методик с современными способами определения свойств материалов и компьютерными программами дает более глубокое представление о процессах, происходящих в системе «расплав – разделительное покрытие – пресс-форма», открывает широкие возможности корректировки составов покрытий под специфику той или иной номенклатуры изделий из алюминиевых сплавов.

### **3. РАЗРАБОТКА ИМПОРТОЗАМЕЩАЮЩИХ ПОКРЫТИЙ ПРЕСС-ФОРМ ДЛЯ ЛИТЬЯ ПОД НИЗКИМ ДАВЛЕНИЕМ**

Одной из основных задач литейного производства является всестороннее снижение затрат с одновременным повышением качества изделий за счет уменьшения припусков на механическую обработку, использования современных материалов, повышения производительности труда. В области литейных покрытий решение данной проблемы заключается в улучшении их общих, рабочих и технологических свойств.

Благодаря исследованиям отечественных и зарубежных ученых Сварика А.А., Вейника А.И., Болдина А.Н., Жуковского С.С., Давыдова Н.И., Маминой Л.И., Крушенко Г.Г., Кидалова Н.А., Кулакова Б.А., Илларионова И.Е., Батышева А.И., Батышева К.А., Белова В.Д., Белова Н.А. Деева В.Б., Леушина И.О., Кукуя Д.М., Михальцова А.М. и многих других созданы научные основы разработки и приготовления покрытий с заданными свойствами.

Несмотря на большое количество работ, посвященных покрытиям металлических форм, до настоящего времени отсутствуют четкие теоретические представления по ряду вопросов формирования разделительных слоев и их взаимодействия с кристаллизующейся отливкой в процессе литья под низким давлением.

Результаты исследований опубликованы в работах [121–125].

#### **3.1. Разработка теплопроводящего покрытия пресс-форм**

На основе анализа отечественных и зарубежных публикаций об особенностях литья алюминиевых сплавов под низким давлением, специфике производства легкосплавных колес, способах защиты металлических форм и используемых материалах, была сформулирована концепция импортозамещающего разделительного покрытия для пресс-форм ЛНД (рисунок 3.1).

В соответствии с этим был разработан ряд опытных составов с повышенным содержанием связующего (КП), наполнитель которых включает диоксид ти-

тана и сульфат бария в соотношении 3:1. Сравнение их свойств с зарубежными аналогами представлено в таблице 3.1.



Рисунок 3.1 – Концепция эффективного покрытия пресс-форм

Таблица 3.1 – Свойства зарубежных и разработанных теплопроводящих покрытий [121, 122]

Свойство	Покрытия						
	Альтернативное	Серийное	Разработанные составы				
			Н1	D1	КП60	КП70	КП80
Содержание связующего, %	-	-	44	47	50	53	56
Соотношение с водой	4:1	6:1	5:1				
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	1 075	1 070	1 075	1 075	1 080	1 085	1 085
Вязкость, с	10,2	10,0	10,1	10,2	10,3	10,4	10,5
Седиментационная устойчивость, % через, ч:							
0,5	100	55	77	80	83	82	78
1	99	15	59	67	71	64	51
3	99	8	22	25	31	20	12
7	75	8	12	20	10	4	7
24	48	8	12	20	7	4	7
Прочность на истирание, г	783	878	396	541	885	878	871
Толщина покрытия, мм	0,1						
Приведенная прочность, г/мм	7 830	8 780	3 960	5 410	8 850	8 780	8 710

Для данного тонкодисперсного наполнителя (размер частиц 0,2–2,5 мкм) минимальное содержание жидкого стекла, обеспечивающее получение однородных паст и суспензий при разбавлении водой, составляет 43–44 %.

Увеличение количества связующего по отношению к наполнителю ведет к повышению плотности и вязкости покрытий, что положительно сказывается на их седиментационной устойчивости и приведенной прочности. Однако данная тенденция сохраняется лишь до концентрации жидкого стекла равной 50 % – дальнейшее ее увеличение влечет за собой постепенное снижение уровня свойств РП и затрудняет их приготовление.

Среди предложенных составов оптимальным по сочетанию свойств является КП80, соотношение наполнителя и связующего в котором равно 1:1. При этом сравнение проб формозаполняемости (рисунок 3.2), отлитых в окрашенную спиральную форму, может говорить о более высокой теплопроводности и низкой шероховатости данного покрытия на подложке. Последнее подтверждено отдельным измерением характеристик полученных разделительных слоев (рисунок 3.3).

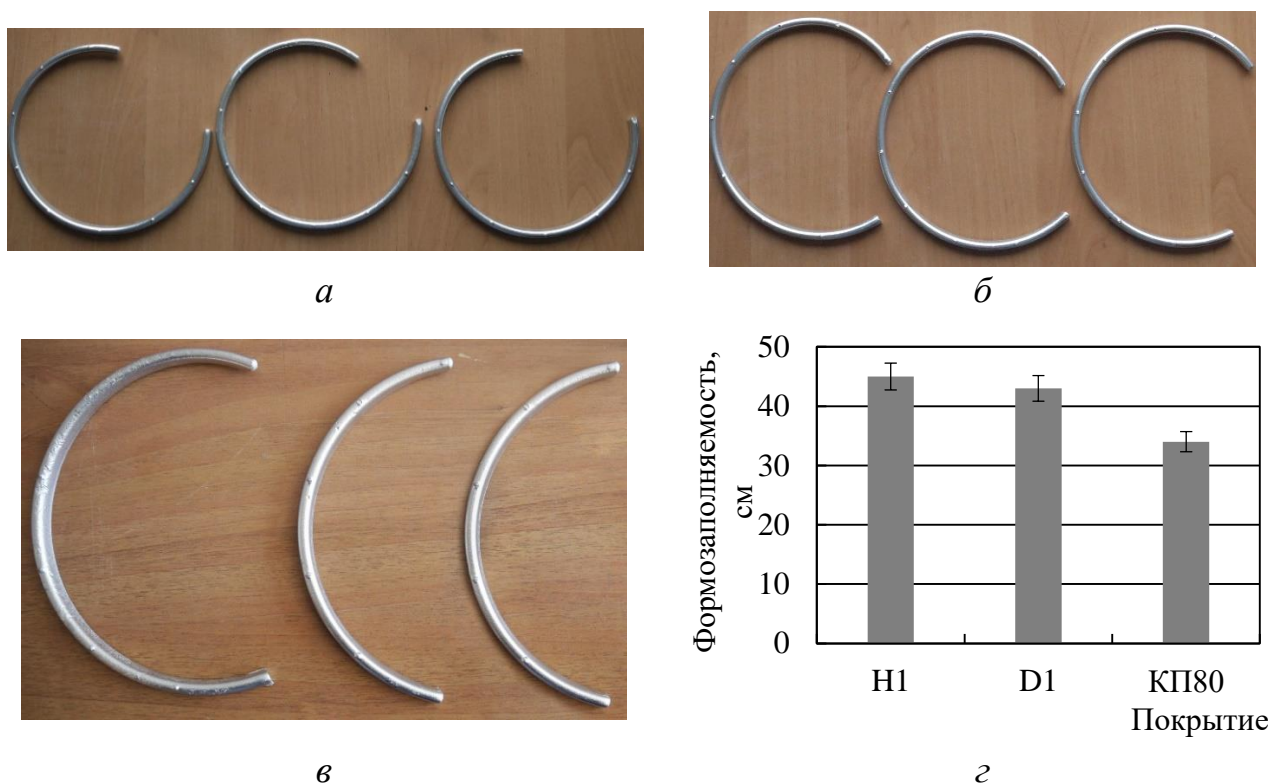


Рисунок 3.2 – Формозаполняемость в зависимости от нанесенного покрытия формы: *а* – альтернативное Н1; *б* – серийное D1; *в* – разработанное КП80;

*z* – значения формозаполняемости



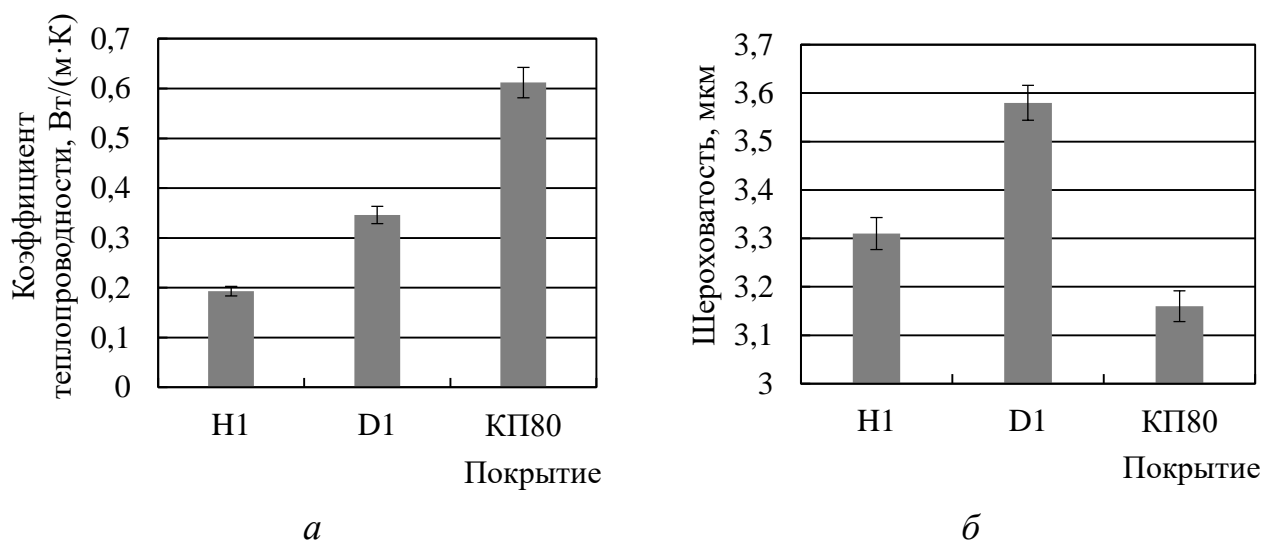


Рисунок 3.3 – Значения коэффициента теплопроводности (а) и шероховатости (б) покрытий

Результаты исследований показали, что формозаполняемость расплава по окрашенной поверхности прямо пропорциональна шероховатости слоя применяемого покрытия и обратно пропорциональна его теплопроводности.

На основании полученных данных было принято решение об отливке опытной партии колес диаметром 16 дюймов с использованием состава КП80. С 27 по 30 ноября 2014 года было отлито 1 077 колес, годными из которых по результатам рентген-контроля оказались 1 040. По сравнению с серийно используемым покрытием пресс-форм, выход годного был увеличен с 95,44 до 96,56 % [121, 122].

Испытания так же показали, что в сравнении с аналогами предложенное РП не имеет значительного преимущества по приведенной прочности, а за счет высокой теплопроводности потенциально может захлаживать тонкие сечения колес меньшего диаметра, ухудшать заполняемость, вызывать появление неслитин в области спица-обод.

Продолжение исследований в данном направлении привело к изменению соотношения исходных компонентов покрытия КП80, введению дополнительных минеральных составляющих – пылевидного кварца и талька [123]. Второй ряд разработанных составов (КПТ) обладает повышенными свойствами (таблица 3.2).

Практически применимые композиции серии КПТ получены при содержании жидкого стекла 45–65 %. В отличие от составов КП, рост уровня свойств по

мере увеличения количества связующего отмечается во всем рассматриваемом интервале. Это связано с изменением долей компонентов различной плотности и крупности в составе наполнителя, а значит и объеме суспензии.

Таблица 3.2 – Свойства разработанных составов серии КПТ [123]

Свойство	Покрyтия				
	КПТ90	КПТ100	КПТ110	КПТ120	КПТ130
Обозначение	КПТ90	КПТ100	КПТ110	КПТ120	КПТ130
Содержание связующего, %	45	50	55	60	65
Соотношение с водой	5:1				
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	1 070	1 075	1 080	1 085	1 090
Вязкость, с	10	10,2	10,4	10,7	11,4
Седиментационная устойчивость, % через, ч:					
0,5	71	77	84	87	88
1	53	59	72	64	60
3	9	11	12	11	8
7	9	10	12	8	8
24	6	7	11	8	7
Прочность на истирание, г	3 754	3 910	4 029	4 105	4 137
Толщина покрытия, мм	0,1				
Приведенная прочность, г/мм	37 540	39 100	40 290	41 050	41 370

Характерной особенностью является довольно резкое падение седиментационной устойчивости после часового отстаивания. Для композиций с содержанием связующего 45–55 % процессы расслоения обратимы – кратковременное интенсивное перемешивание приводит к восстановлению свойств и однородности суспензии. При большей концентрации жидкого стекла наблюдается формирование плотного клейкого осадка.

С учетом этого, для дальнейшей работы выбран состав КПТ110. Его сравнение с КП80 и зарубежными покрытиями представлено на рисунке 3.4.

Не смотря на довольно крупный размер частиц талька (см. рисунок 2.5), седиментационная устойчивость КПТ110 на 21% больше, чем у серийного покрытия. Это объясняется не только с относительно меньшей плотностью данных частиц, но и соотношением жидкого стекла и наполнителя равным 1,1:1.

Большая доля связующего совокупно с полидисперсным наполнителем (размер частиц от 0,2 до 25 мкм) так же позволяют получать защитные слои с показателем приведенной прочности, превосходящим применяемые зарубежные аналоги до 4,5 раз.

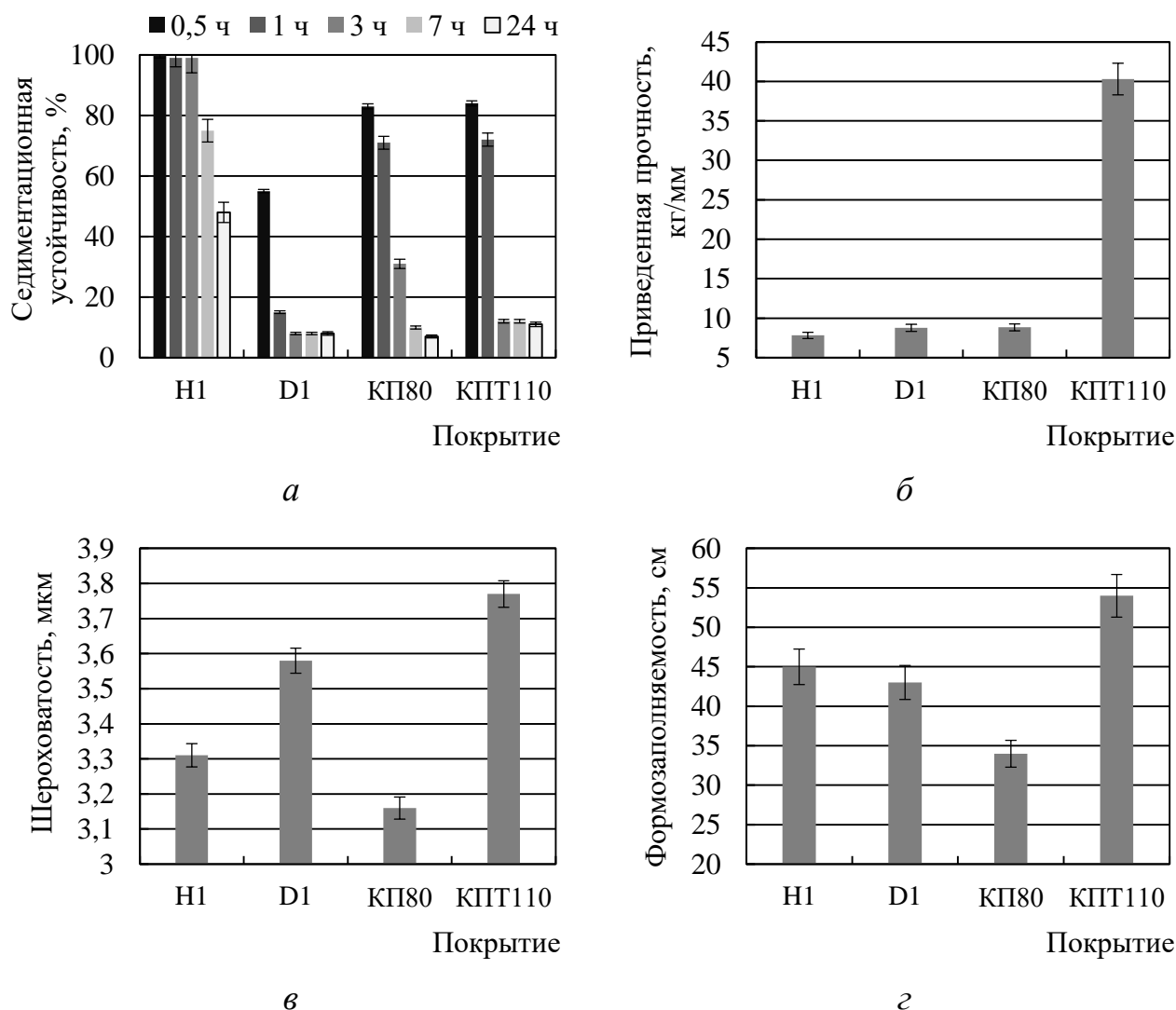


Рисунок 3.4 – Значения седиментационной устойчивости (а), приведенной прочности (б), шероховатости (в) покрытий и их влияния на формозаполняемость (г) [122]:

N1 – альтернативное; D1 – серийное; КП80, КПТ110 – разработанные

Выбранный состав сохраняет выделенную ранее взаимосвязь шероховатости слоя на подложке и формозаполняемости расплава: в сравнении с серийным покрытием увеличение профиля неровностей на 0,19 мкм дает прирост длины спирали до 11 см. В тоже время, измерение теплопроводности РП при температу-

рах, соответствующих моментам нанесения, сушки, прогреву пресс-формы и заливке расплава, показывает небольшую разницу между КПТ110 и КП80 (рисунок 3.5).

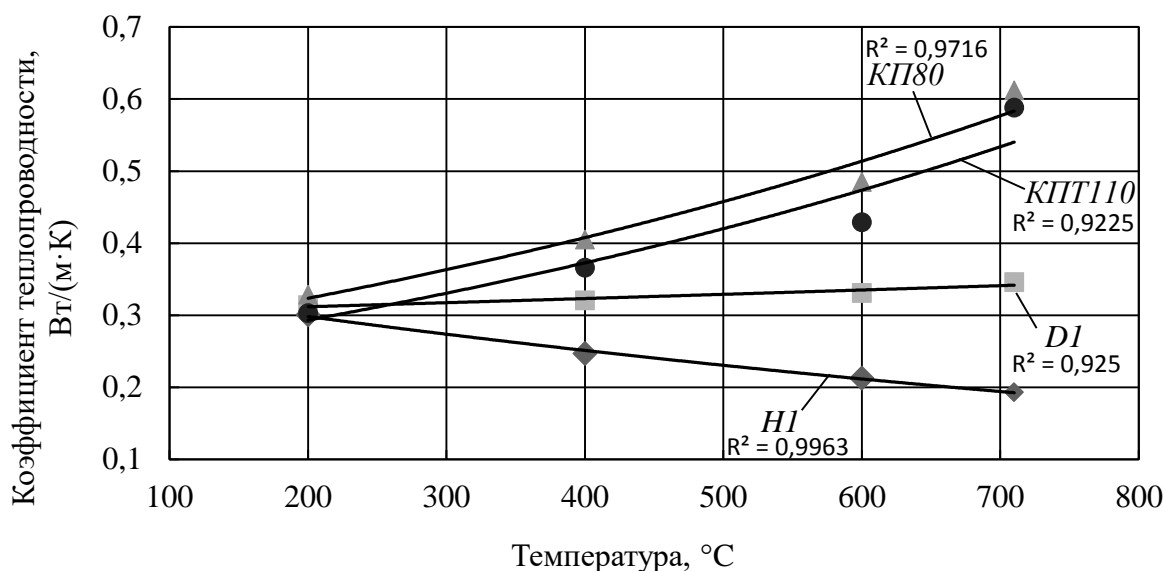


Рисунок 3.5 – Зависимость коэффициентов теплопроводности покрытий от температуры

В работах [126–129] сообщается, что при прочих равных условиях формозаполняемость алюминиевых сплавов по окрашенной поверхности главным образом зависит от ее шероховатости, нежели от теплофизических свойств покрытия. С другой стороны, полученные данные ставят вопрос о наличии дополнительных, неявных факторов в системе «расплав – разделительное покрытие – пресс-форма».

Было сделано предположение о значимости внутренней структуры слоя РП – влиянии несплошностей, равномерности распределения частиц наполнителя. С целью обоснования этого получены фотографии макро- и микроструктуры исследуемых покрытий после нанесения их на металлические пластины, имитирующие рабочую поверхность пресс-форм (рисунок 3.6, 3.7).

Состав КПТ110 при нанесении дает более плотную, однородную структуру слоя на подложке, что соответствует его высокой стойкости (приведенной прочности) и выгодно отличает от серийного и альтернативного покрытий.

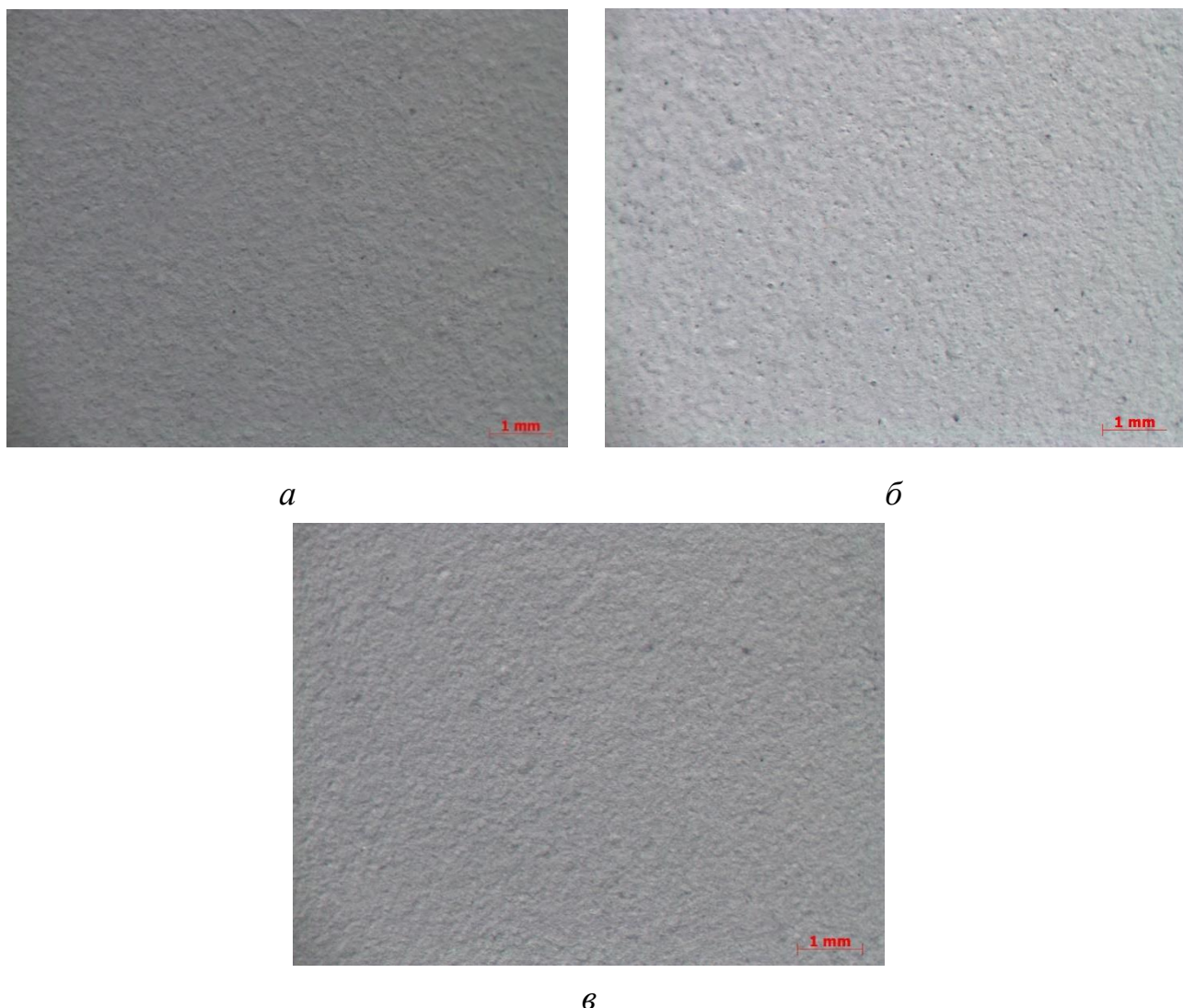


Рисунок 3.6 – Поверхность слоя нанесенного покрытия после высыхания:

*a* – альтернативное Н1; *б* – серийное D1; *в* – разработанное КПТ110

Грубые частицы различной твердости, входящие в разработанный наполнитель, обеспечивают формирование шероховатой поверхности (3,77 мкм), имеющей следующие особенности [124]:

- впадины профиля способствуют формированию воздушных зазоров, в которых прослойки воздуха выступают в роли тепловых микроизоляторов и ослабляют теплопередачу между кристаллизующимся расплавом и формой, что нивелирует влияние высокого коэффициента теплопроводности;

- острые выступы стягивают окисные пленки к краям потока металла, преодолевающего окрашенный участок формы, тем самым очищая его.

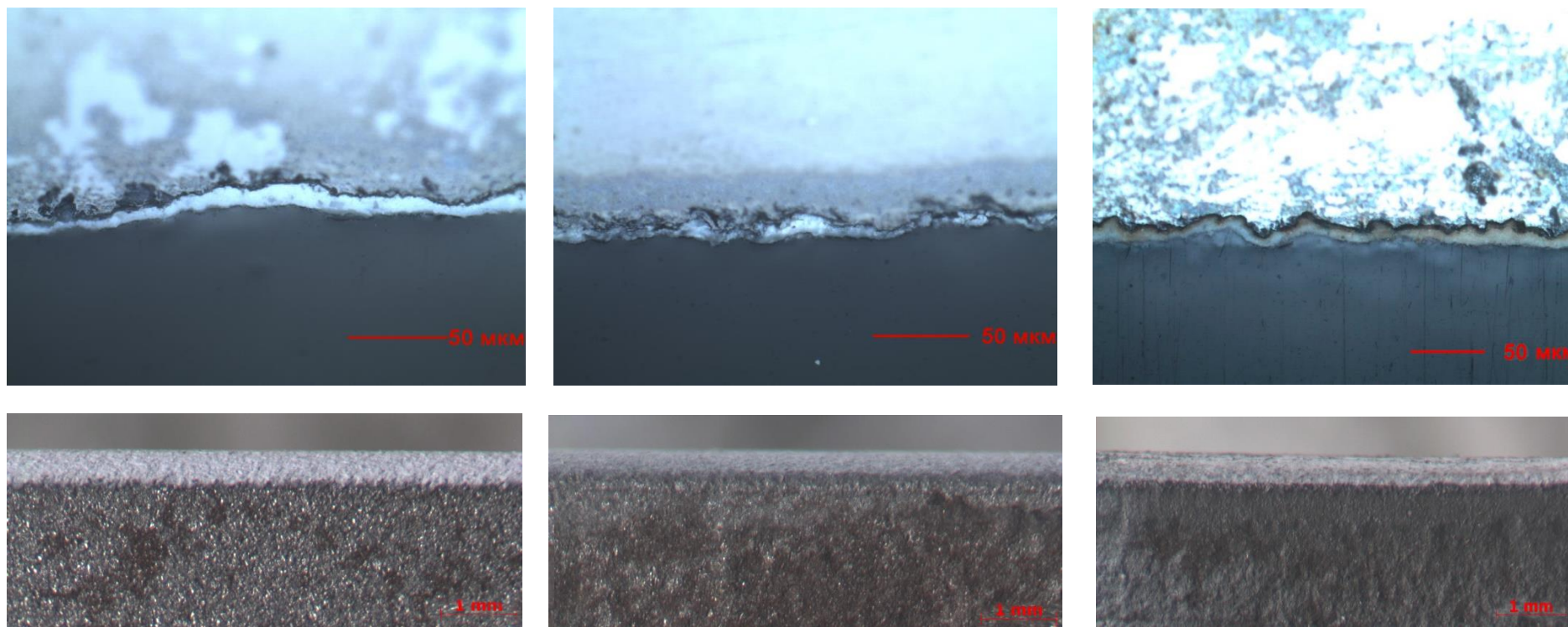
*a**б**в*

Рисунок 3.7 – Микро- и макроструктура слоя нанесенного покрытия после высыхания:

*a* – альтернативное Н1; *б* – серийное D1; *в* – разработанное КРТ110

Сравнение образцов, отлитых в окрашенные изложницы, показало снижение чистоты поверхности отливок при использовании предлагаемого РП менее чем на 0,5 мкм относительно серийного состава.

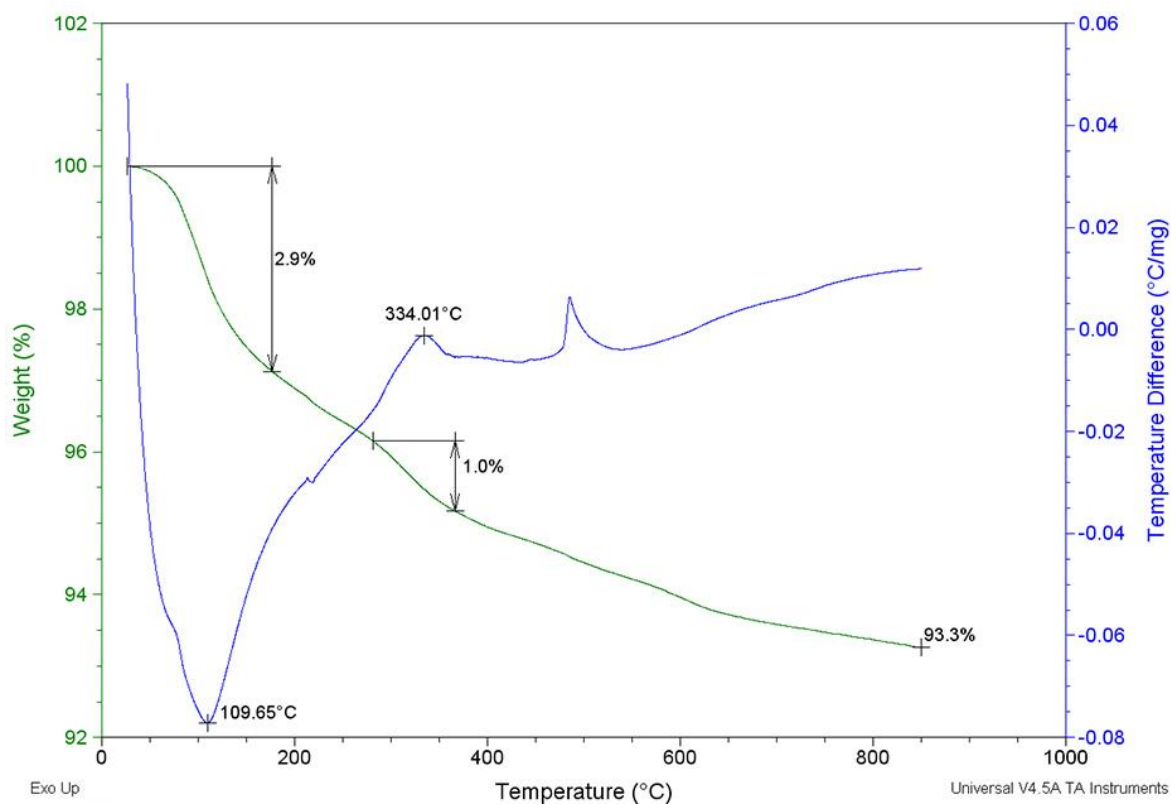
Таким образом, именно структура разделительного слоя определяет степень влияния его шероховатости и теплопроводности на формозаполняемость металла.

Так же при разработке эффективных покрытий пресс-форм следует учитывать, что создание благоприятных условий формирования отливки в процессе ЛНД зависит и от его склонности к выделению газов [130, 131].

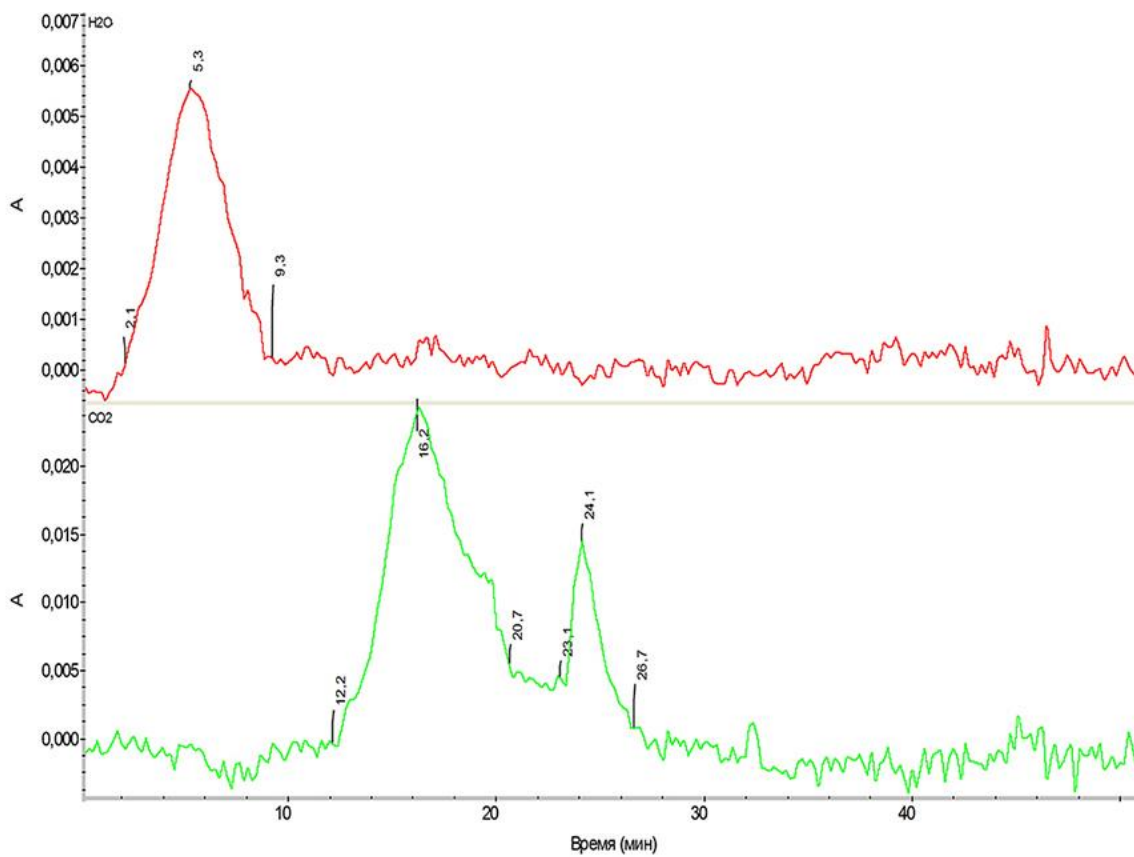
Результаты замеров газотворности исследуемых покрытий представлены на рисунках 3.8 и 3.9 в виде кривых дифференциального термического анализа (ДТА) и оптической плотности (ОП) выделяющихся при этом газов. Данная относительная величина, являясь мерой ослабления света прозрачными объектами, позволяет судить о количестве и составе газа, поступающего в кювету установки в процессе термического разложения образцов при температуре 0 до 950 °С.

В реальных условиях производства разделительные покрытия наносятся распылением на уже разогретую поверхность пресс-форм (около 180–200 °С), что приводит к быстрому испарению воды. Дальнейший нагрев формы до 400 °С способствует упрочнению нанесенного слоя. Выделение при этом углекислого газа и его объем связаны с количеством используемого связующего, присутствием в нем модифицирующих добавок, термической стойкостью компонентов наполнителя.

Так как заполнение рабочей полости осуществляется за короткое время при температуре порядка 710 °С, на газовый режим формы оказывает влияние лишь малая часть суммарного газовыделения покрытия. Подсчет пиков по кривой ОП установил, что предлагаемое покрытие обладает в 2 раза меньшей газотворностью, чем серийное. Это позволяет предполагать снижение количества газовых дефектов отливок при литье под низким давлением (см. рисунок 1.11).



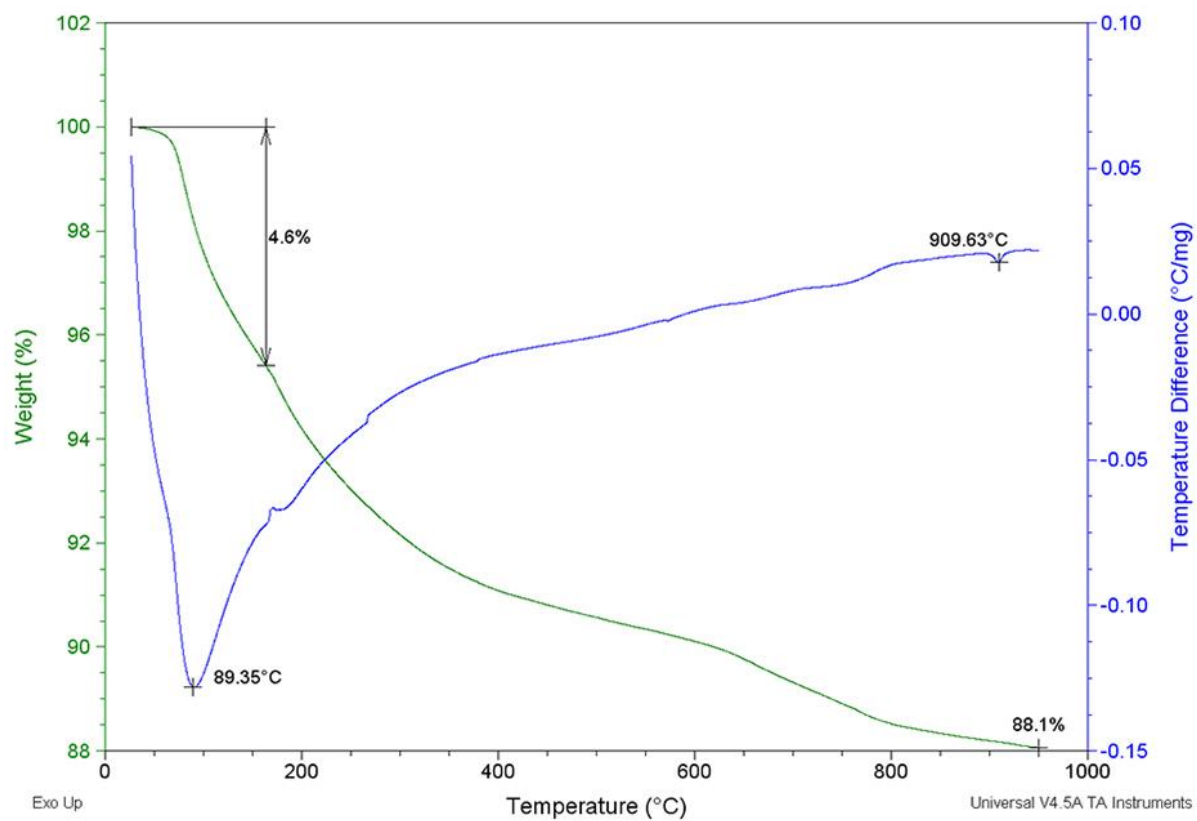
*a*



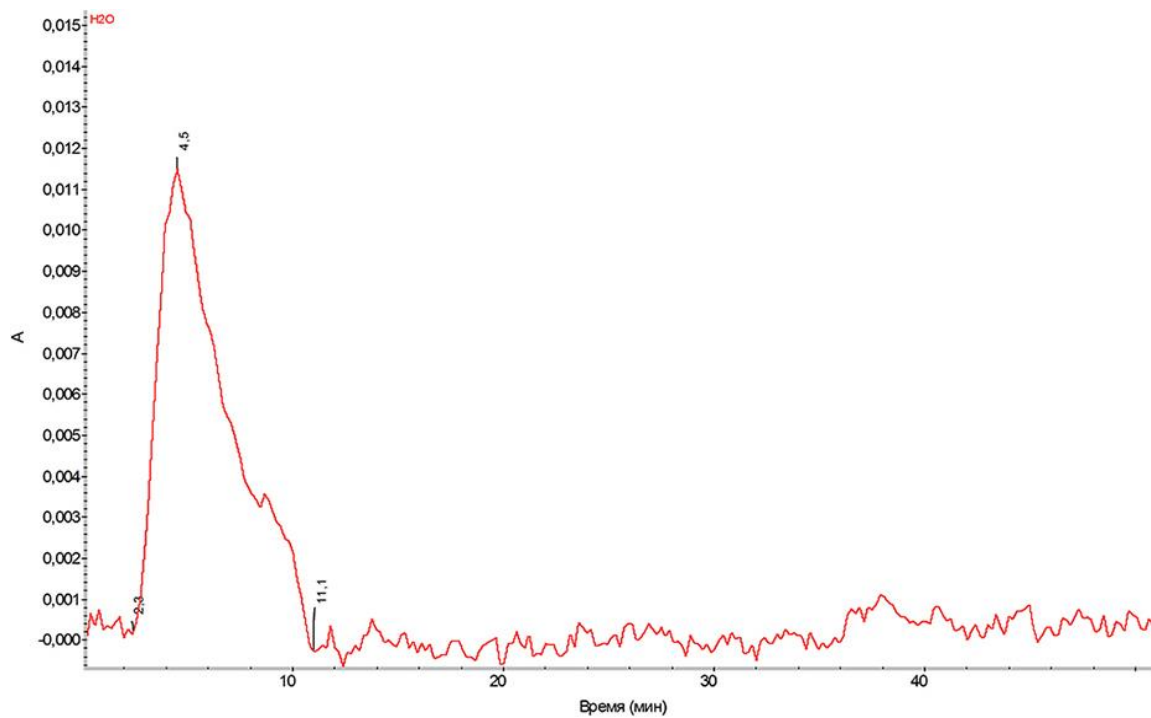
*б*

Рисунок 3.8 – Газотворность серийного теплопроводящего покрытия D1: *a* – ДТА; *б* – ОП





*a*



*б*

Рисунок 3.9 – Газотворность разработанного теплопроводящего покрытия КРТ110:

*a* – ДТА; *б* – ОП

Таким образом, результаты исследования показали, что разработанный состав КПТ110, на который получен патент № 2604163 «Разделительное покрытие для литейных пресс-форм» от 10.12.2016, превосходит серийно применяемый зарубежный аналог и может быть рекомендован для проведения опытно-промышленных испытаний.

### **3.2. Разработка теплоизолирующего покрытия пресс-форм**

С учетом полученных ранее результатов и выделенных зависимостей, разработан ряд составов теплоизолирующих покрытий (Ж160-163), наполнитель которых состоит из смеси порошков талька, корунда, мусковита и мела. Размер твердых частиц находится в пределах от 2,6 до 19 мкм, соотношение наполнителя и связующего равно 1:1,2. Композиции содержат различное количество  $Al_2O_3$ , являющегося наиболее плотным и теплопроводным из компонентов наполнителя (см. таблицу 2.2).

Сравнение экспериментальной серии с зарубежными аналогами представлено в таблице 3.3.

Отличительной особенностью РП данной серии является высокий показатель приведенной прочности, превосходящий зарубежные аналоги до 4,5 раз.

Последовательное уменьшение количества корунда в предложенных составах приводит к незначительному снижению плотности и вязкости суспензий, а также прочности на истирание нанесенного слоя, сглаживанию его профиля неровностей. Седиментационная устойчивость, повышенная до 20 % относительно получасовой отметки, позволяет дольше хранить готовые покрытия.

Содержание оксида алюминия, главным образом, сказывается на коэффициенте теплопроводности покрытий (рисунок 3.10). Изменение характера кривой, наблюдаемое при понижении концентрации с 8 до 6 %, связано с ослаблением роли корунда в формировании теплофизических характеристик РП.

Таблица 3.3 – Свойства зарубежных и разработанных теплоизолирующих покрытий

Свойство	Покрытия					
	Альтернативное	Серийное	Разработанные составы			
			H2	D2	Ж160	Ж161
Содержание Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , %	-	-	10	8	6	4
Содержание связующего, %	-	-	60			
Соотношение с водой	2:1	3:1	3:1			
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	1 110	1 090	1 115	1 115	1 110	1 110
Вязкость, с	11,7	10,8	11,4	11,3	11,2	11
Седиментационная устойчивость, % отметки через, ч:						
0,5	57	38	35	39	44	51
1	51	32	30	34	38	47
3	42	25	27	31	36	42
7	36	20	22	26	29	38
24	29	20	22	24	27	35
Прочность на истирание, г	2 604	2 940	12 952	12 937	12 920	12 908
Толщина покрытия, мм	0,1					
Приведенная прочность, г/мм	26 040	29 400	129 520	129 370	129 220	129 080
Шероховатость поверхности, мкм	8,15	7,58	9,73	9,71	9,68	9,65

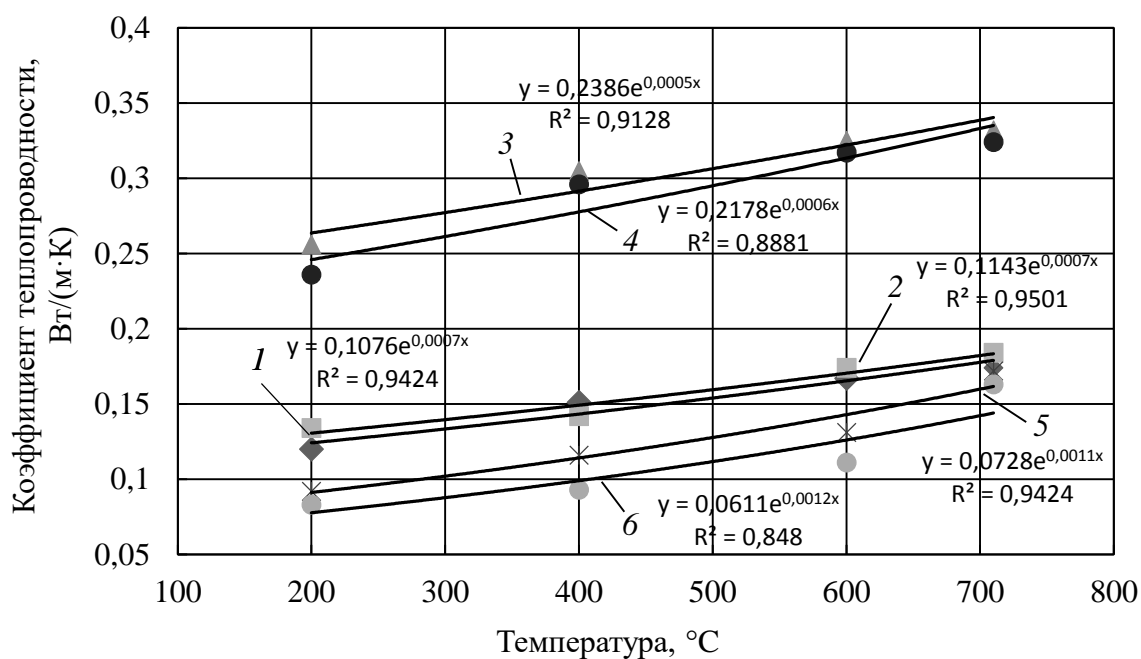


Рисунок 3.10 – Зависимость коэффициентов теплопроводности покрытий от температуры:

1 – альтернативное H2; 2 – серийное D2; 3 – Ж160; 4 – Ж161; 5 – Ж162; 6 – Ж163

Дальнейшие исследования проводились с составом, обладающим лучшей теплоизолирующей способностью среди предложенных (Ж163). Вкупе с достаточной шероховатостью поверхности нанесенного слоя, он способствует удлинению спиральной пробы формозаполняемости расплава (рисунок 3.11).

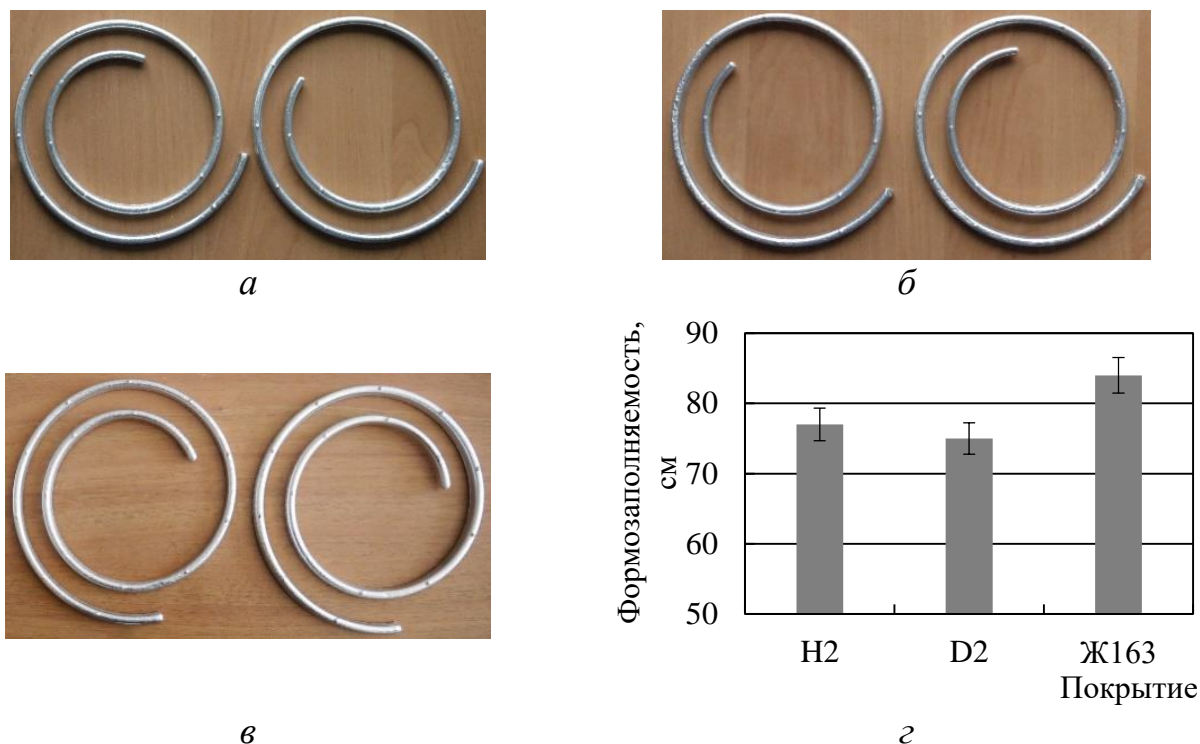


Рисунок 3.11 – Формозаполняемость силумина АК12 в зависимости от теплопроводящего покрытия формы: а – альтернативное H2; б – серийное D2; в – разработанное Ж163; г – значения формозаполняемости

Структура разделительного слоя Ж163 на металлической подложке в сравнении с аналогами представлена на рисунках 3.12, 3.13.

Как видно, после нанесения состав Ж163 имеет однородную структуру. Она формируется за счет крупных частиц наполнителя (15–20 мкм), промежутки между которыми заполнены более мелкой фракцией и жидкостекольным связующим. Каркасная структура, характерная для теплоизоляционных материалов, способствует равномерному распределению мелкой пористости по слою, без образования заметных несплошностей. Это положительно сказывается на стойкости покрытия к механическому воздействию и передаче теплоты.

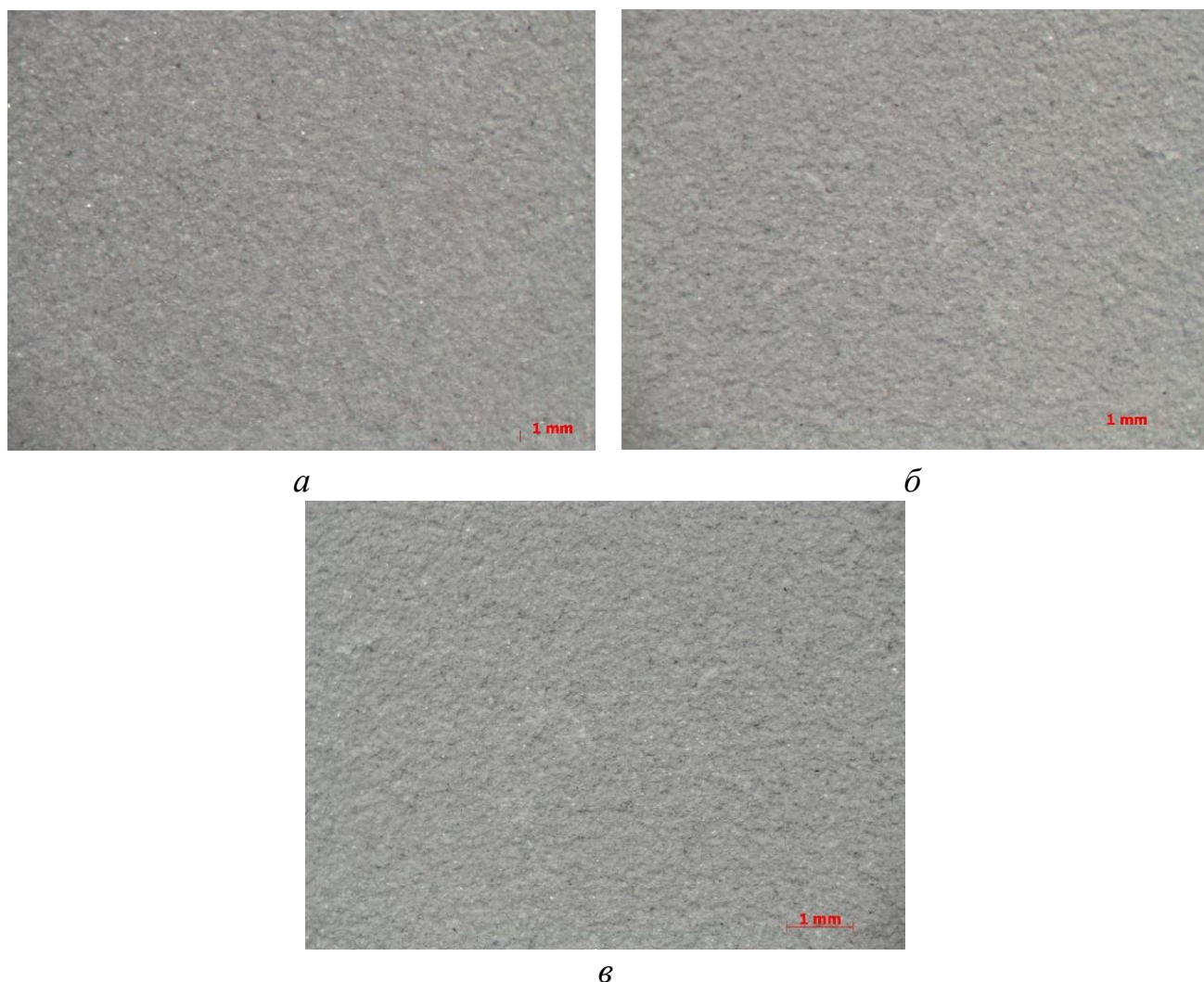


Рисунок 3.12 – Поверхность нанесенного слоя покрытий: *a* – Н2; *б* – D2; *в* – Ж163

На рисунках 3.14 и 3.15 представлены результаты анализа газотворности рассматриваемых образцов. Присутствие  $\text{CO}_2$  на графике оптической плотности в случае состава Ж163, объясняется присутствием мела в его наполнителе.

Известно, что диссоциация карбоната кальция достигает заметной величины при температуре выше  $600\text{ }^\circ\text{C}$ , а теоретически нормальной температурой процесса считают  $900\text{ }^\circ\text{C}$  [132]. Кривая ДТА показывает, что разложение мела в слое предложенного покрытия протекает в интервале  $657\text{--}700\text{ }^\circ\text{C}$  (рисунок 3.15, *a*).

Относительная оптическая плотность газов в интервале  $690\text{--}720\text{ }^\circ\text{C}$  для серийного покрытия составляет 0,04, а разработанного – 0,03. При равных условиях меньшая газотворность, дает основания предполагать снижение количества газовых дефектов в области обода и бортовой закраины колеса.

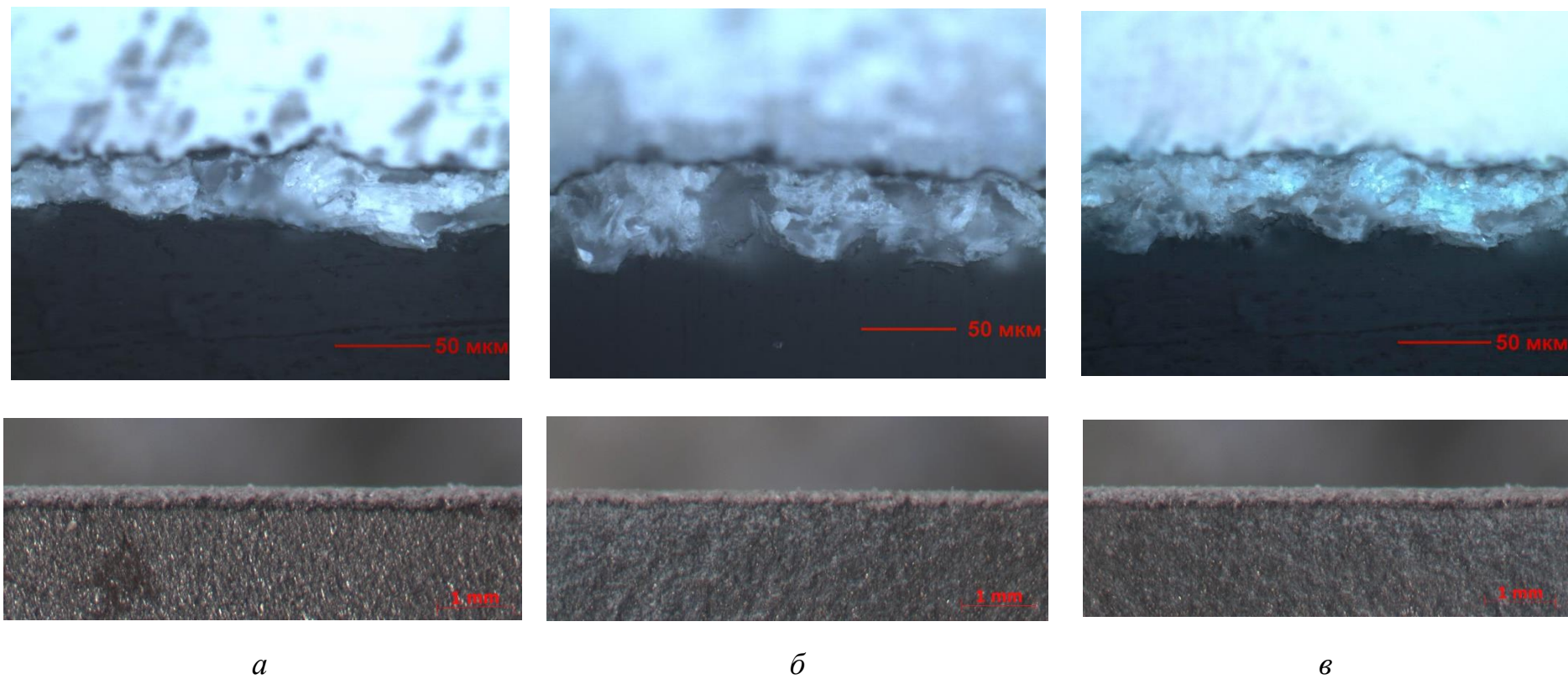
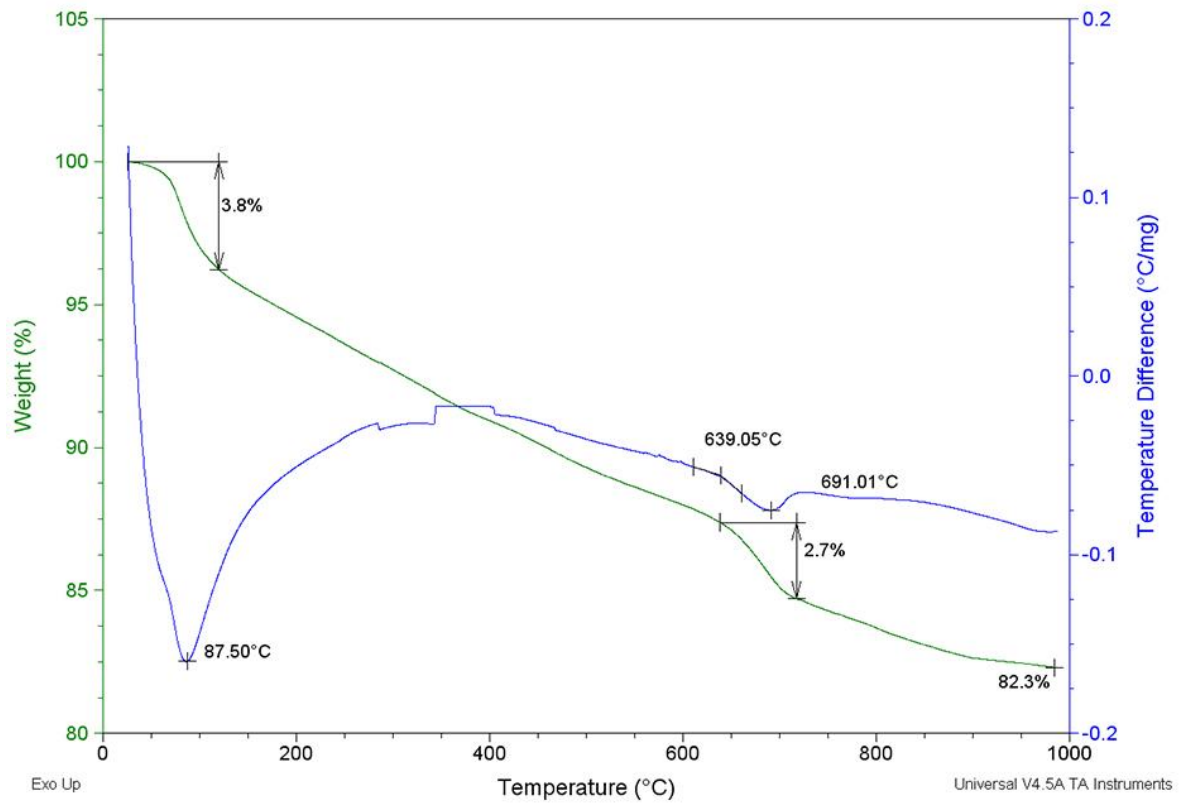
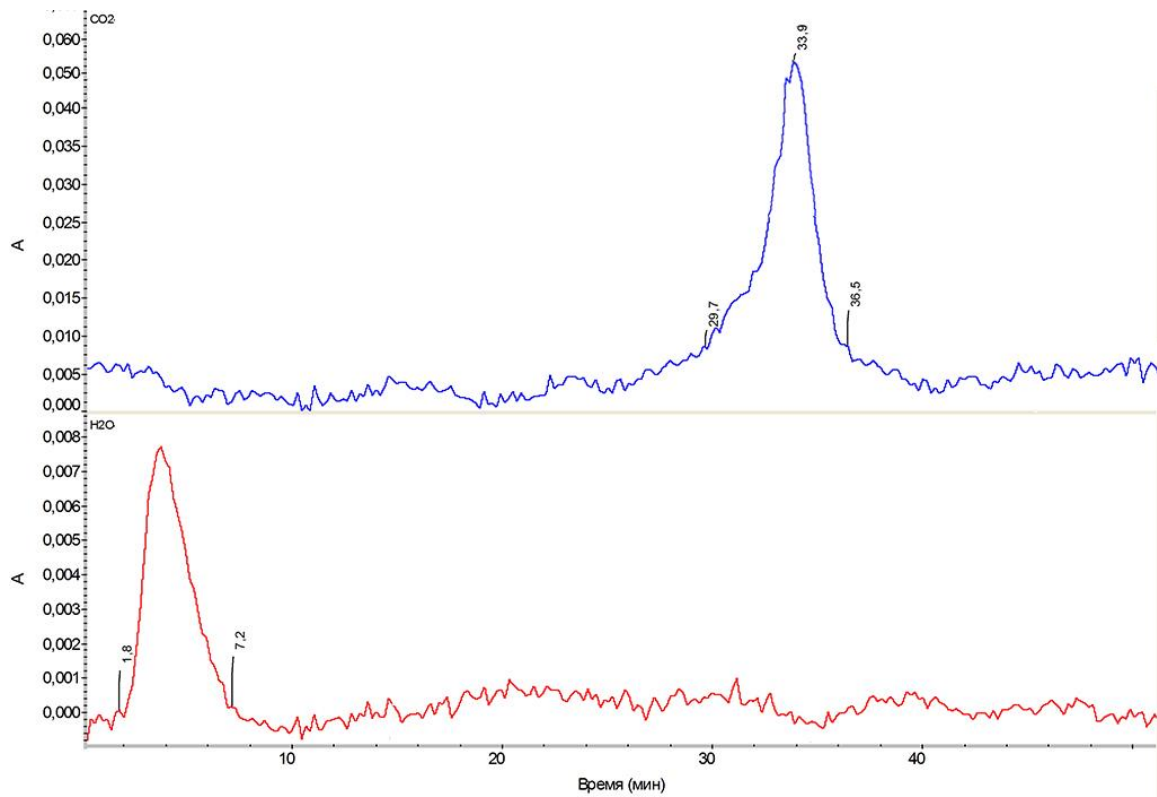


Рисунок 3.13 – Микро- и макроструктура слоя нанесенного покрытия после высыхания:

*a* – альтернативное Н2; *б* – серийное D2; *в* – разработанное Ж163

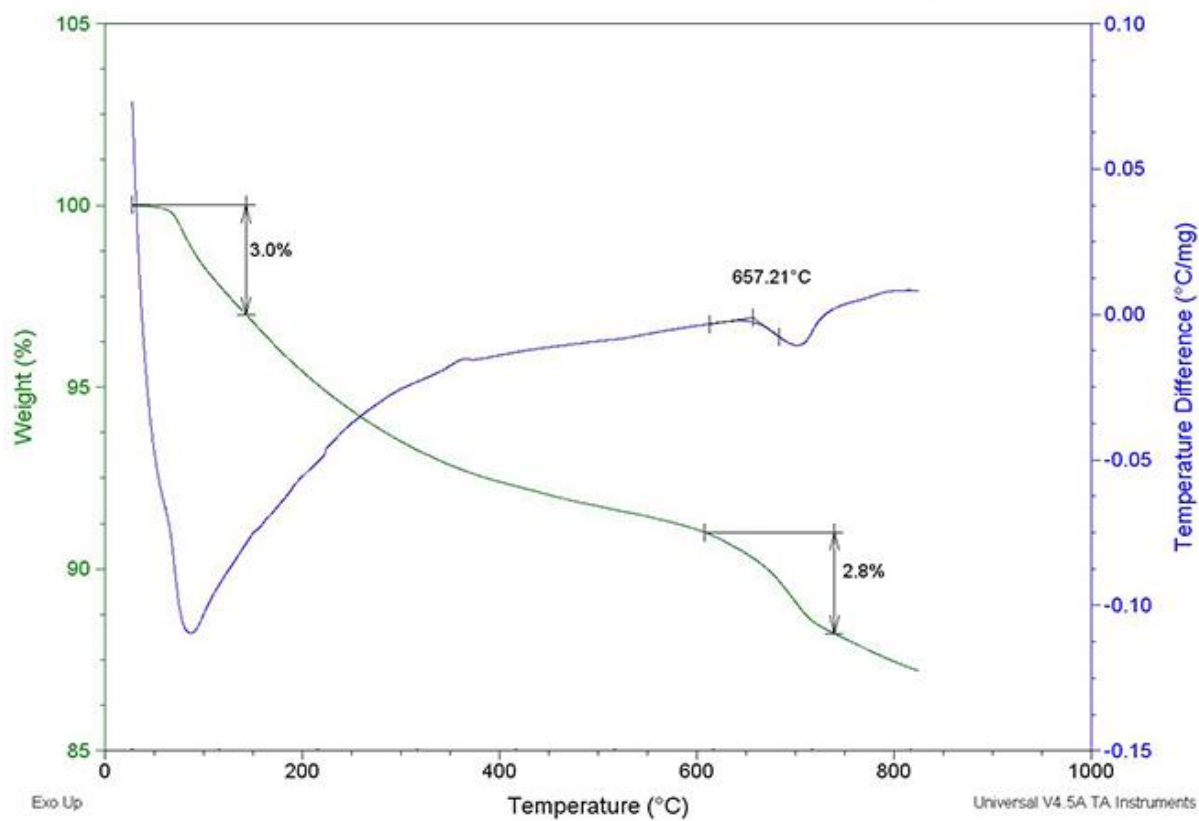


*a*

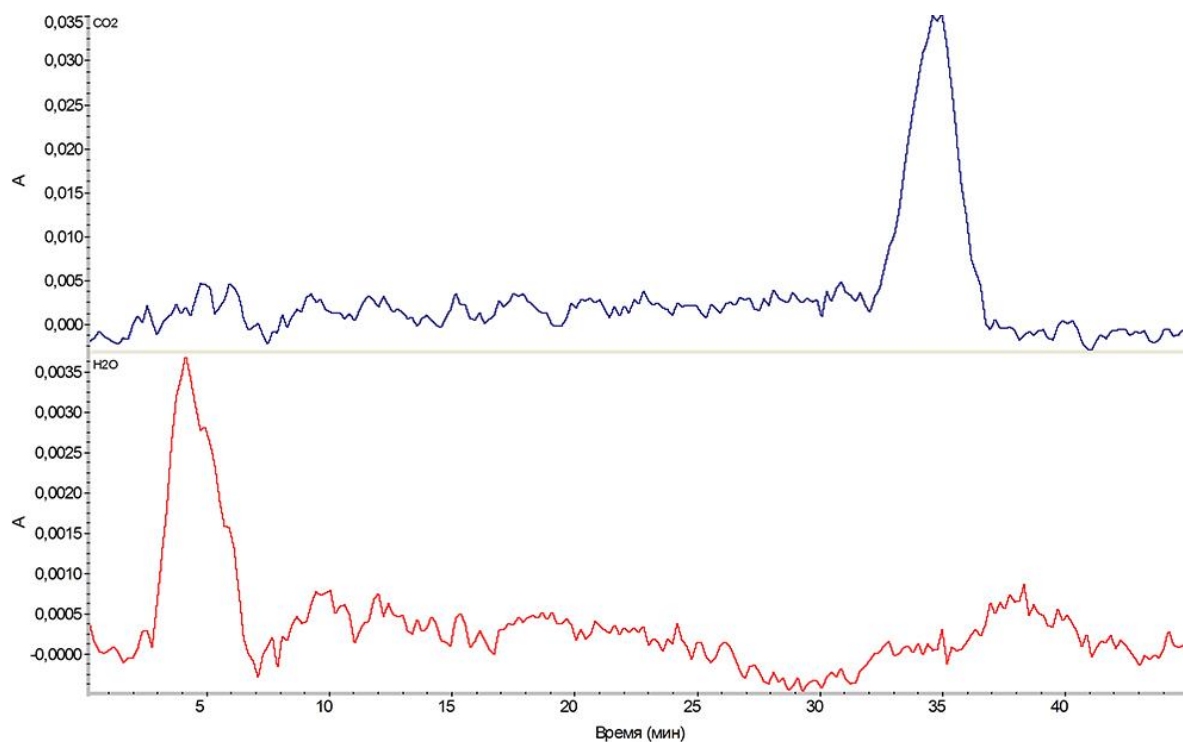


*б*

Рисунок 3.14 – Газотворность серийного теплоизолирующего покрытия D2: *a* – ДТА; *б* – ОП



*a*



*б*

Рисунок 3.15 – Газотворность разработанного теплоизолирующего покрытия Ж163:

*a* – ДТА; *б* – ОП



Высокая ОП выделяющихся газов, по сравнению с теплопроводящими покрытиями, обусловлена их химическим составом и большим количеством связующего. Такая газотворность и шероховатость создают условия, при которых поток металла как бы запирает тончайшие газовые прослойки во впадинах поверхности нанесенного слоя, что дополнительно снижает теплопроводность.

С другой стороны, нарушение режимов литья и неисправности системы вентиляции пресс-формы могут привести к расширению пузырьков газа, внедрению их в поверхность кристаллизующейся отливки или проникновению в ее подповерхностный слой. Отсюда следует, что повышение теплоизолирующих свойств РП за счет увеличения газотворности нежелательно.

Таким образом, предложен ряд теплоизолирующих составов, в которых при равном соотношении наполнителя и связующего (1:1,2), содержится различное количество корунда. Наименьшим коэффициентом теплопроводности при сохранении высокого уровня других свойств обладает композиция Ж163. Данное РП положительно влияет на заполняемость тонких сечений отливки, способно улучшить газовый режим пресс-форм.

### **3.3. Прогнозирование эффективности покрытий путем моделирования процесса литья в окрашенную пресс-форму**

Для оценки влияния серийно используемых (D1, D2) и разработанных (КПТ110, Ж163) покрытий на время кристаллизации, тепловые поля и пористость отливок, было проведено компьютерное моделирование литья колес с учетом нанесенного на пресс-форму разделительного слоя. Данный подход позволяет сократить затраты материальных, энергетических и трудовых ресурсов на реальные опытно-промышленные испытания [125].

В основу расчета положены:

- химический состав сплава АК12 и физические свойства материала пресс-форм, используемых ООО «КиК»;
- свойства силумина, сгенерированные по базам данных ProCAST®;

- геометрическая модель отливки с оснасткой и слоем разделительного покрытия (см. рисунок 2.17);
- режимы литья колес методом ЛНД (таблица 3.4);
- полученные значения коэффициентов температуропроводности  $a$  и теплопроводности  $\lambda$  покрытий (таблица 3.5).

Толщина покрытия при окраске пресс-формы на участке подготовки в среднем составляет 35–40 мкм, в геометрической модели было принято значение, равное 37 мкм. Соответственно, при одинаковой толщине слоя термические сопротивления различных покрытий будут зависеть только от их теплопроводности.

Таблица 3.4 – Базовые технологические параметры литья колес [3]

Параметр	Фаза литья		
	Заполнение литниковой системы	Заполнение пресс-формы	Допрессовка
Давление, кПа	20±1	40±5	75±5
Время, с	4±1	35±5	45±5
Температура расплава, °С	710±10		
Время кристаллизации, с	150±5		
Давление компенсации, кПа	0,24±0,04		

Таблица 3.5 – Теплофизические характеристики покрытий

Коэффициенты	Покрyтия			
	Теплопроводящие		Теплоизолирующие	
	D1	КПТ110	D2	Ж163
Окрашивание пресс-формы, 200 °С				
$a \cdot 10^{-6}, \text{ м}^2/\text{с}$	0,343	0,347	0,145	0,103
$\lambda, \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$	0,314	0,303	0,134	0,083
Нагрев пресс-формы, 400 °С				
$a \cdot 10^{-6}, \text{ м}^2/\text{с}$	0,350	0,402	0,154	0,115
$\lambda, \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$	0,321	0,366	0,142	0,093
Нагрев пресс-формы, 600 °С				
$a \cdot 10^{-6}, \text{ м}^2/\text{с}$	0,361	0,475	0,185	0,137
$\lambda, \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$	0,331	0,429	0,174	0,111
Заполнение пресс-формы расплавом, 710 °С				
$a \cdot 10^{-6}, \text{ м}^2/\text{с}$	0,377	0,621	0,198	0,210
$\lambda, \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$	0,341	0,588	0,184	0,163

На рисунках 3.16 и 3.17 представлено сравнение температурных полей колеса на различных стадиях его затвердевания в зависимости от используемого РП.

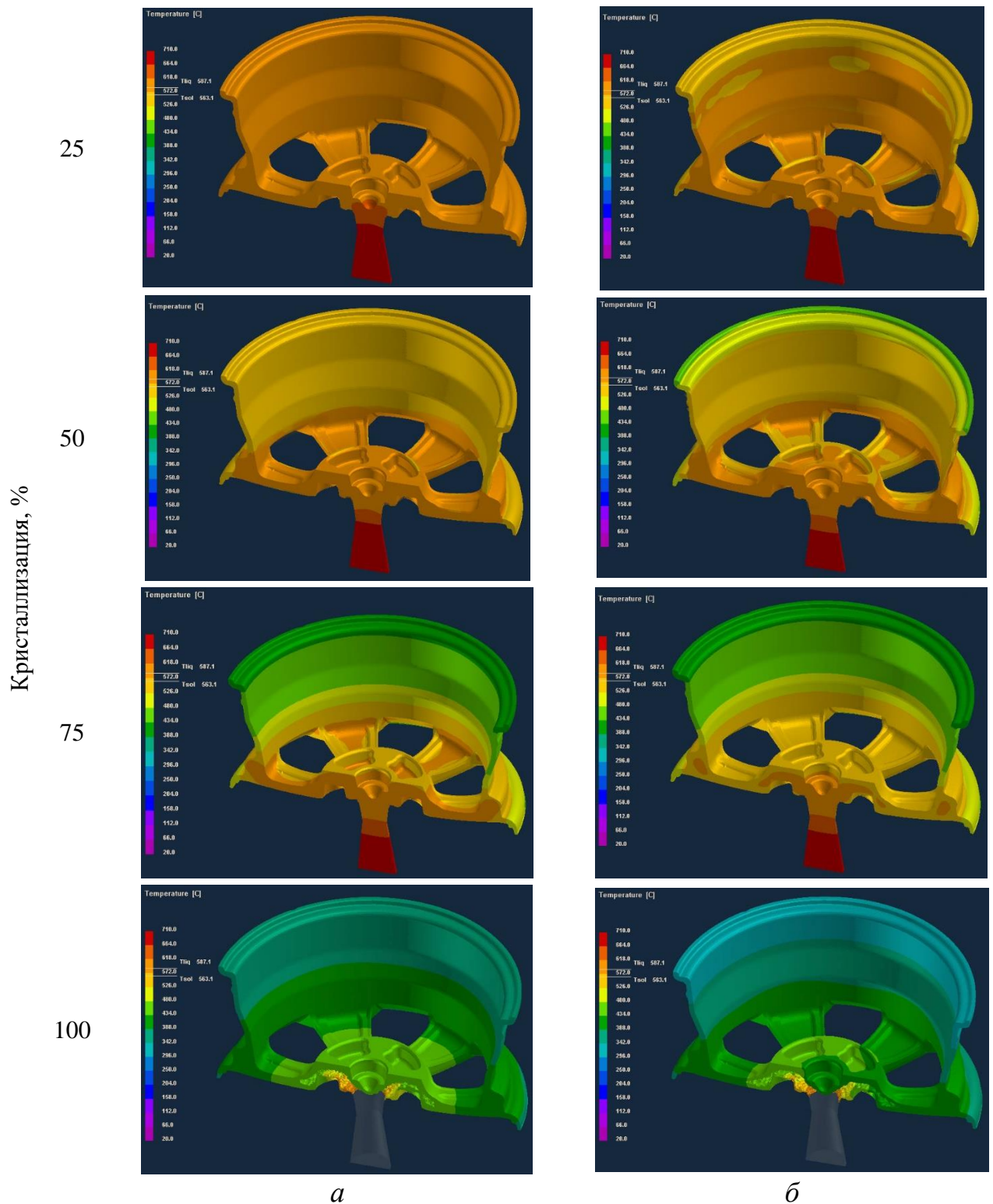


Рисунок 3.16 – Температурное поле затвердевающего колеса в зависимости от покрытия пресс-формы: *a* – серийное D1; *б* – разработанное КПТ110

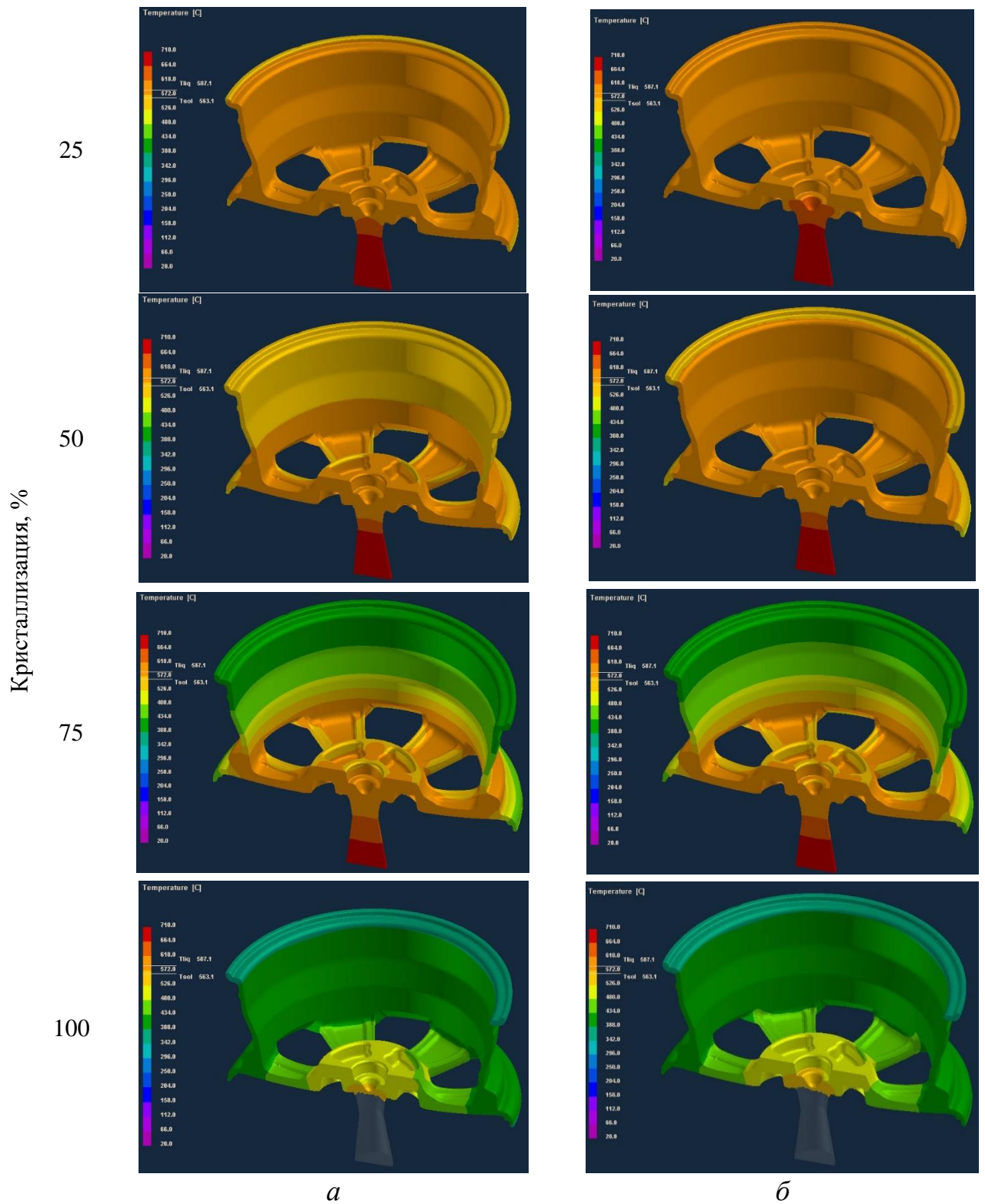


Рисунок 3.17 – Температурное поле затвердевающего колеса в зависимости от покрытия пресс-формы: *а* – серийное D2; *б* – разработанное Ж163

По результатам расчета, следствием регулирования интенсивности теплообмена в системе «расплав – разделительное покрытие – пресс-форма» является изменение времени кристаллизации колеса (рисунок 3.18): чем больше значения  $a$  и  $\lambda$  нанесенного слоя, тем быстрее формируется тело отливки.

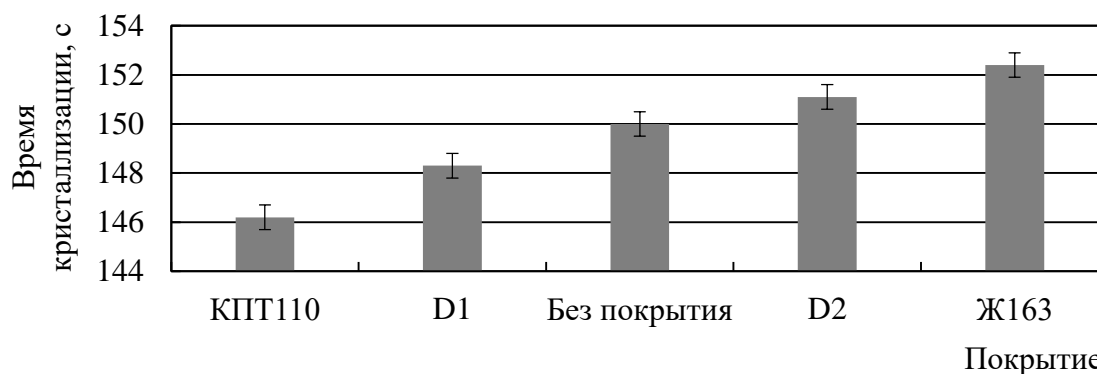


Рисунок 3.18 – Влияние разделительных покрытий на затвердевание колеса из сплава АК12

Как видно, эффект, оказываемый покрытиями, полностью отвечает их назначению и величине коэффициента  $\lambda$ . Теплопроводящий состав КППТ110 обеспечивает высокую интенсивность теплообмена между затвердевающей отливкой и формой. При полной окраске рабочей поверхности это сокращает время кристаллизации на 2,1 с.

Напротив, изолирующий состав Ж163 уменьшает отвод теплоты к форме. Снижение теплопроводности на 0,021 Вт/м·К относительно показателя серийного покрытия дает увеличение времени кристаллизации на 1,3 с.

Влияние исследуемых покрытий на образование пористости легкосплавного колеса показано на рисунке 3.19.

Предлагаемые РП не изменяют характерные зоны распределения пористости колеса, но несколько снижают ее количество. При моделировании литья с покрытием КППТ110 пористость, наблюдаемая в зоне хампа и спиц, не является критичной для готового изделия. Применение состава Ж163 в большей степени устраняет пористость по ободу и в области хампа, то есть обеспечивает лучшие условия заполнения и питания тонких сечений.

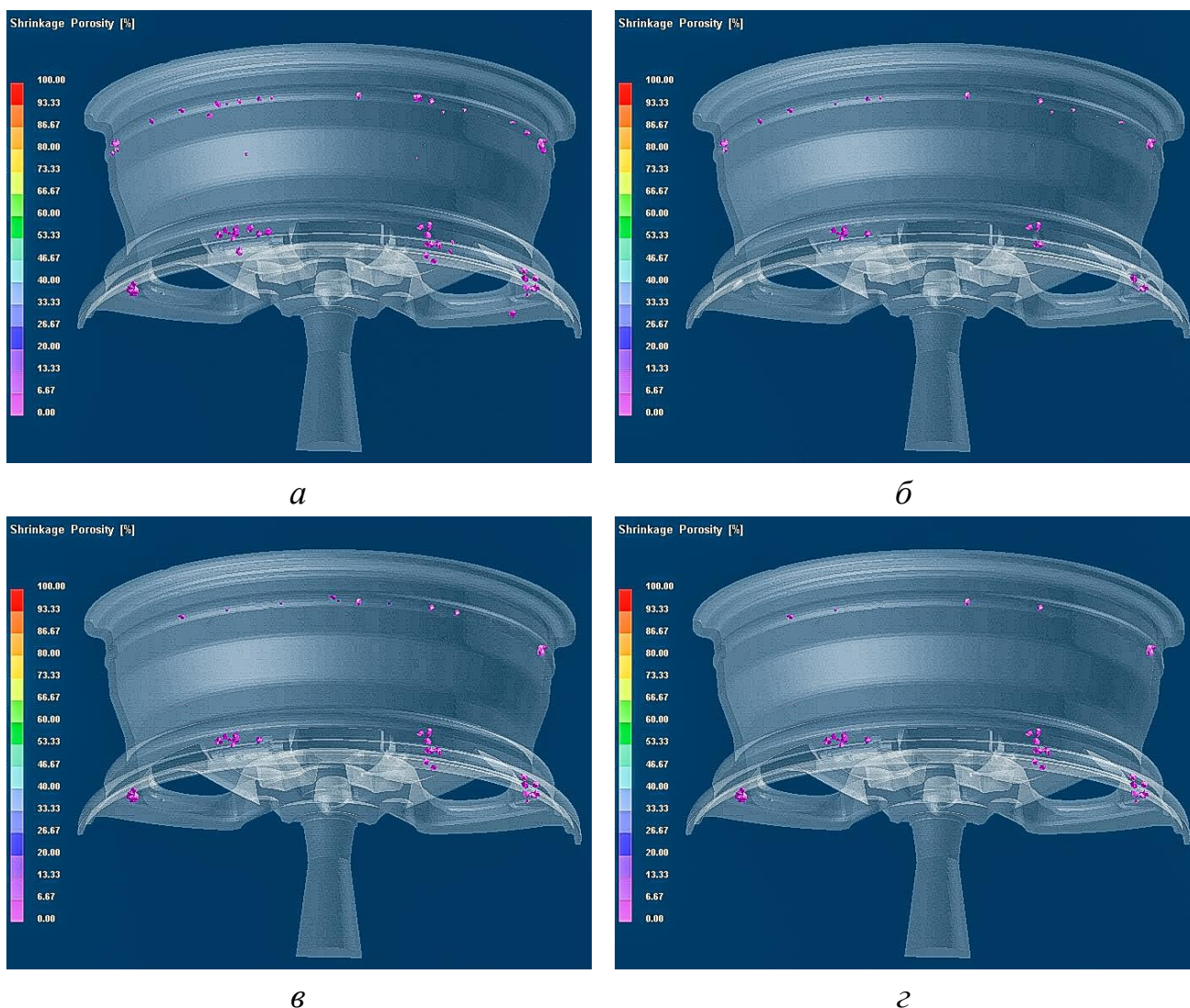


Рисунок 3.19 – Пористость легкосплавного колеса в зависимости от покрытия пресс-формы:

*a* – D1; *б* – КПТ110; *в* – D2; *г* – Ж163

Таким образом, проведенное компьютерное моделирование наглядно доказывает возможность использования разработанных покрытий при литье колес под низким давлением. Расчетные значения времени затвердевания находятся в пределах допустимого отклонения от базовых режимов, что позволяет в дальнейшем оптимально настроить режимы работы литейных машин и повысить производительность участка.

### 3.4. Выводы

По результатам проделанной работы сделаны следующие выводы:

– разработаны теплопроводящее (КПТ110) и теплоизолирующее (Ж163) покрытия, превосходящие зарубежные аналоги по уровню общих, рабочих и технологических свойств. Седиментационная устойчивость увеличена в среднем на 20 %, а приведенная прочность в 4,5 раза;

– показано, что для покрытий пресс-форм литья под низким давлением, приготовленных на основе полидисперсных минеральных материалов, характерно отношение наполнителя и связующего близкое к 1:1,1 – 1:1,2;

– установлена зависимость формозаполняемости расплава по окрашенной поверхности пресс-формы от шероховатости, теплопроводности и структуры тонкого разделительного слоя;

– путем компьютерного моделирования показано снижение риска возникновения дефектов легкосплавных колес, за счет регулирования теплообмена в системе «расплав – разделительное покрытие – пресс-форма». Теплопроводящее разработанное покрытие ускоряет кристаллизацию колеса на 2,1 с, а теплоизоляционное замедляет на 1,3 с;

– на состав КПТ110 получен патент № 2604163 «Разделительное покрытие для литейных пресс-форм» от 10.12.2016.

## 4. ПРОМЫШЛЕННАЯ АПРОБАЦИЯ РАЗРАБОТАННЫХ ПОКРЫТИЙ ПРЕСС-ФОРМ

Комплексные исследования, проведенные в лабораториях ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет», показали высокий уровень общих, рабочих и технологических свойств разработанных составов.


Промышленная апробация композиций КПТ110 и Ж163 осуществлялась с апреля 2015 по июнь 2016 гг. на участке подготовки пресс-форм и в литейном цеху ООО «КиК» (г. Красноярск).

Результаты испытаний опубликованы в работах [133–137].

### 4.1. Внедрение теплопроводящего разделительного покрытия



Освоение состава КПТ110 проходило при изготовлении трех моделей колес, конструктивные особенности которых представлены в таблице 4.1 в соответствии с международной маркировкой: ширина ( $W$ ), диаметр ( $D$ ), количество отверстий под посадочные болты ( $LZ$ ) и диаметр их расположения ( $PCD$ ), вылет диска ( $ET$ ), диаметр центрального отверстия для посадки на ступицу ( $DIA$ ).

Таблица 4.1 – Геометрические параметры колес для испытаний КПТ110 [119]

Модель	$W$ , дюйм	$D$ , дюйм	$LZ$ , шт	$PCD$ , мм	$ET$ , мм	$DIA$ , мм	Общий вид
1	2	3	4	5	6	7	8
Окинава	7,5	17	6	139,7	38	67,1	



Продолжение таблицы 4.1

1	2	3	4	5	6	7	8
RAV4	7	17	5	114,3	39	60,1	
Казантип	7,5	18	5	120	35	72,6	

Рабочие поверхности пресс-форм окрашивались предложенным покрытием по серийной методике с помощью пульверизатора (рисунок 4.1). Состав шихтовых материалов, технология приготовления расплава и режимы литья так же не подвергались изменениям. Отливки колес получали на одной и той же литейной машине, после чего они проходили отбраковку по рентген-контролю.

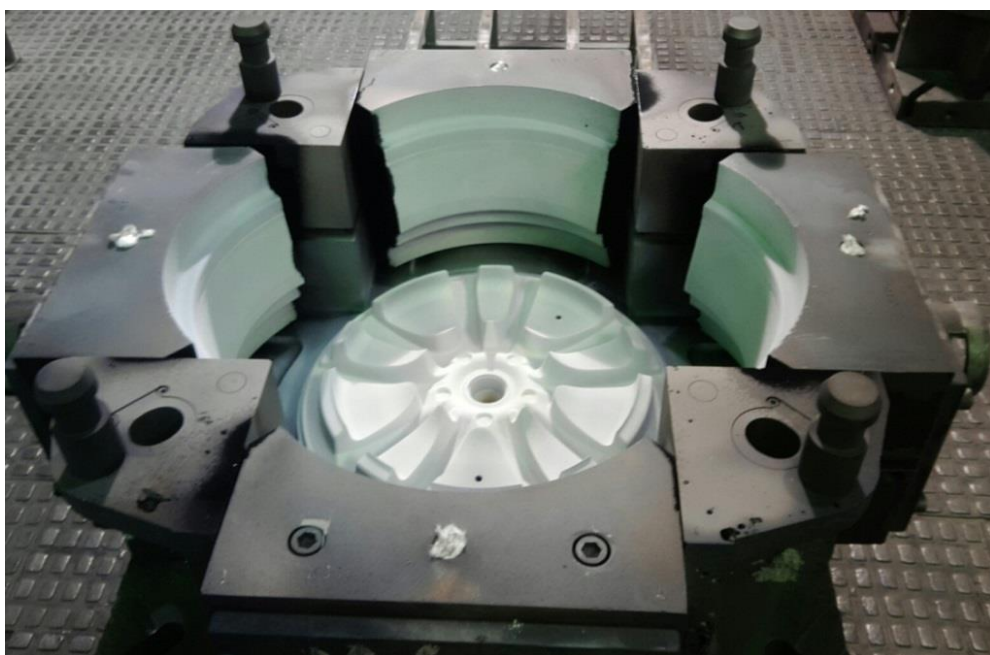


Рисунок 4.1 – Заводская пресс-форма с нанесенным покрытием КРТ110 [133]

За время освоения состава КПТ110 в совокупности было отлито более 2 240 опытных колес. Результаты автоматизированного контроля отливок с помощью компьютерной системы Yxlon AI 7000-XP приведены в таблицах 4.2–4.4.

Таблица 4.2 – Брак при литье модели Окинава, шт

Вид брака		Покрытие пресс-формы	
		Серийное D1	Разработанное КПТ110
Технологический	Запуск пресс-формы	5	5
	Запуск пресс-формы после простоя	3	0
	Зачистка и подкраска пресс-формы	6	4
	Чистка металлтракта	3	3
Область ступицы	Трещина	6	4
	Пузырь	2	1
Область обода	Недолив	3	2
	Захлоп	2	2
	Раковины, пористость бортовой закраины и хампа	9	7
	Раковины, пористость монтажного ручья	2	0
Итого		41	28

Таблица 4.3 – Брак при литье модели RAV4, шт

Вид брака		Покрытие пресс-формы	
		Серийное D1	Разработанное КПТ110
Технологический	Запуск пресс-формы	5	5
	Запуск пресс-формы после простоя	8	1
	Зачистка и подкраска пресс-формы	11	5
	Чистка металлтракта	9	4
Область спиц	Трещина	10	6
	Раковины, пористость	7	4
Область ступицы	Трещина	7	5
	Пузырь	5	3
	Раковины, пористость	1	1
Область обода	Недолив	3	2
	Захлоп	6	1
	Раковины, пористость бортовой закраины и хампа	8	5
Лицевая плоскость	Неслитина	2	0
Итого		82	42

Таблица 4.4 – Брак при литье модели Казантип, шт

Вид брака		Покрытие пресс-формы	
		Серийное D1	Разработанное КПТ110
Технологический	Запуск пресс-формы	5	5
	Запуск пресс-формы после простоя	15	0
	Зачистка и подкраска пресс-формы	6	3
	Чистка металлотракта	3	2
Область спиц	Трещина	3	1
	Раковины, пористость	5	3
Область ступицы	Трещина	9	1
Область обода	Недолив	6	1
	Захлоп	3	2
	Раковины, пористость бортовой закраины и хампа	8	3
Лицевая плоскость	Неслитина	2	1
Итого		65	22

Использование разработанного покрытия значительно снижает количество дефектов различной природы, главным образом термических, усадочных и газовых, сокращает простои пресс-форм. Это объясняется высоким уровнем свойств разделительного слоя, нанесенного на формообразующую поверхность (приведенная прочность, шероховатость, теплопроводность) [135].

Преимуществом перехода на предлагаемый состав является повышение выхода годных отливок (рисунок 4.2).

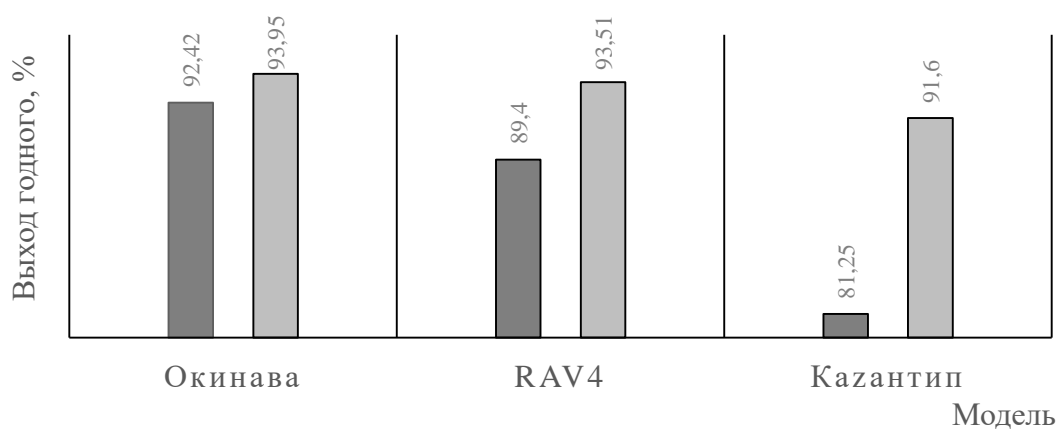


Рисунок 4.2 – Выход годных колес в зависимости от применяемого теплопроводящего покрытия: ■ - D1; □ - КПТ110

Анализ механических свойств опытных колес установил, что все годные отливки соответствуют требованиям ГОСТ Р 50511–93 и способны обеспечить безопасную эксплуатацию транспортного средства. При этом отмечается улучшение характеристик (временного сопротивления разрыву, условного предела текучести и относительного удлинения), по сравнению с литьем на серийном покрытии в среднем на 1,5–2 %, что особенно заметно при литье массивной модели Казантип (рисунок 4.3).

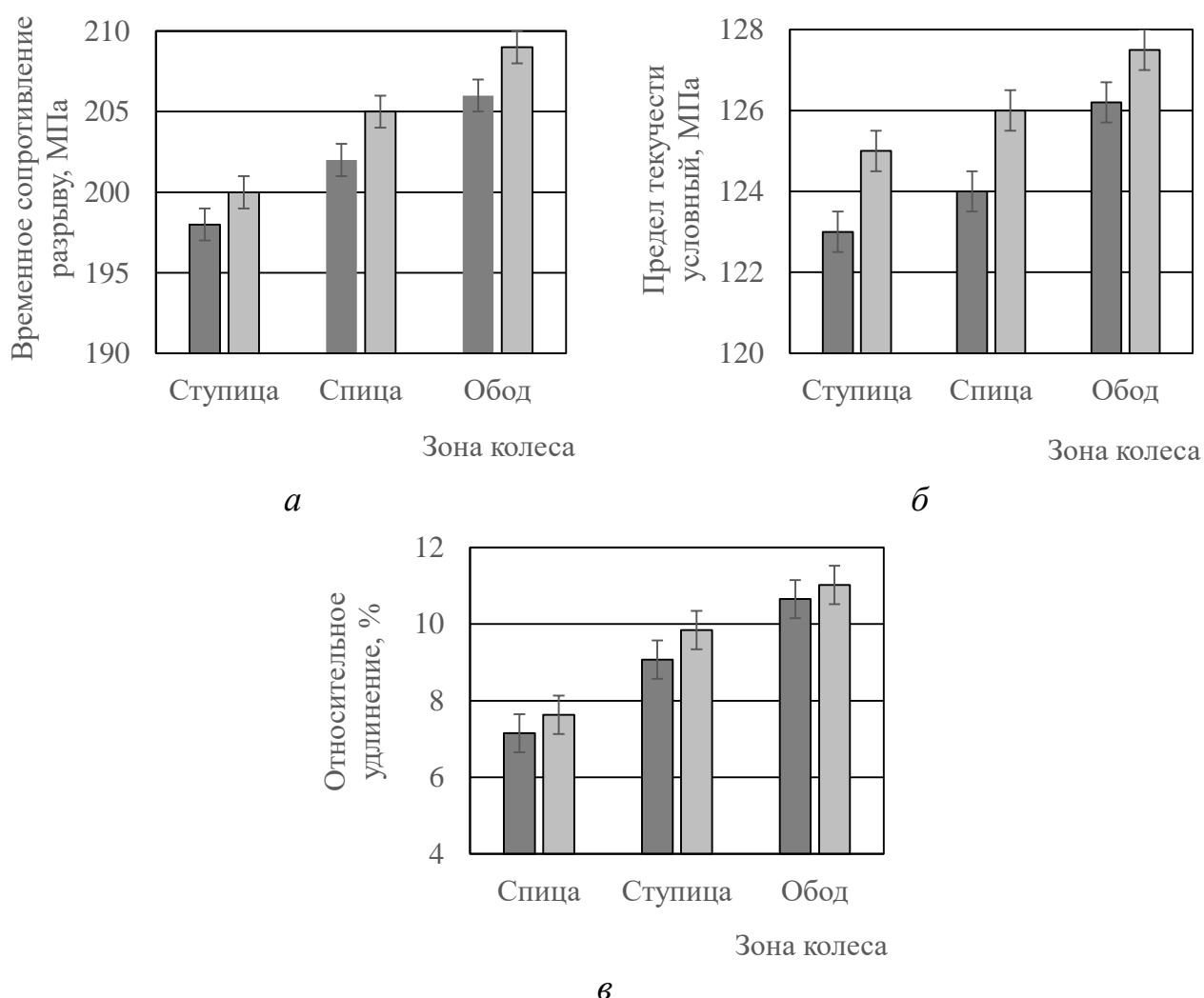


Рисунок 4.3 – Механические свойства колеса в зависимости от применяемого теплопроводящего покрытия: *а* – временное сопротивление разрыву; *б* – предел текучести условный; *в* – относительное удлинение. Покрытия пресс-форм: ■ - D1; □ - КРТ110

Металлографическое исследование темплетов, вырезанных из колес опытных партий, свидетельствует об уменьшении пористости и смещении пораженных

зон вглубь отливок (рисунок 4.4), что отчасти согласуется с результатами проведенного выше компьютерного моделирования. Увеличение подповерхностного слоя, свободного от пористости, благоприятно сказывается на качестве лицевой поверхности колес, для которых проводится дополнительная механическая обработка и проточка при окрашивании «под алмаз».

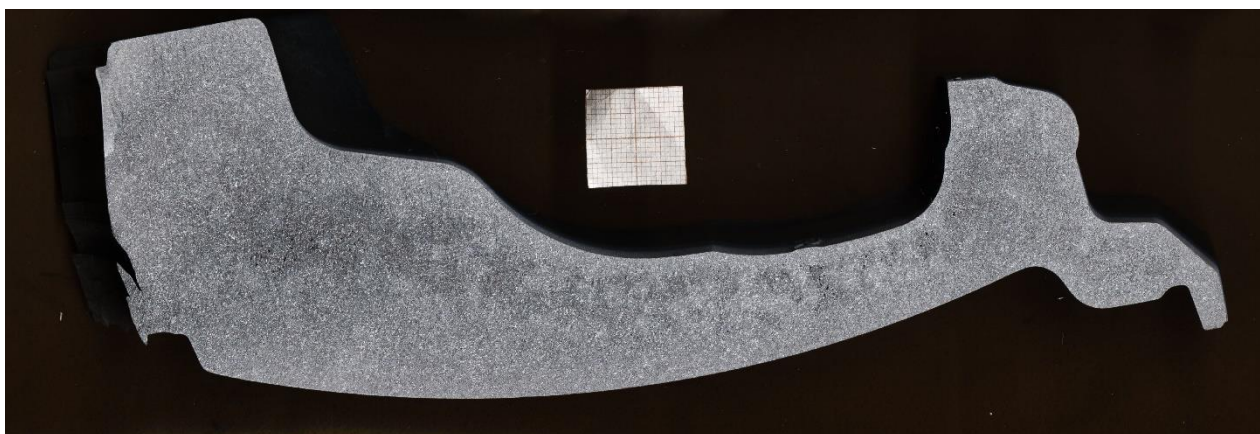
*a**б*

Рисунок 4.4 – Изменение макроструктуры колеса в зависимости от применяемого теплопроводящего покрытия: *a* – D1; *б* – КПТ110

В ходе испытаний так же отмечено, что разработанный состав способен заменить собой не только теплопроводящее покрытие, но и грунтовое [134].




По завершении периода апробации покрытия КПТ110 на ООО «КиК» получен акт внедрения в производство (приложения 2–5). Предварительные расчеты показывают, что данный состав обладает в 3 раза меньшей себестоимостью, чем

серийно используемый зарубежный аналог. Экономический эффект от импорто-замещения составит до 250 000 руб./год.

#### 4.2. Испытания теплоизолирующего разделительного покрытия

Опытно-промышленные испытания состава Ж163 были проведены при литье трех моделей легкосплавных колес (таблица 4.5). За исключением покрытия пресс-форм, технологическая цепочка производства не менялась.

Таблица 4.5 – Геометрические параметры колес для испытаний Ж163 [119]

Модель	W, дюйм	D, дюйм	LZ, шт	PCD, мм	ET, мм	DIA, мм	Общий вид
1	2	3	4	5	6	7	8
Brent	6	16	4	100	45	67,1	
Беринг	7	16	4	108	32	65,1	
Creed	6,5	16	5	114,3	50	67,1	

Во время испытаний состава Ж163 было отлито более 2 290 опытных колес, результаты рентген-контроля которых приведены в таблицах 4.6–4.8.

Таблица 4.6 – Брак при литье модели Brent, шт

Вид брака		Покрытие пресс-формы	
		Серийное D2	Разработанное Ж163
Технологический	Запуск пресс-формы	5	5
	Запуск пресс-формы после простоя	5	3
	Зачистка и подкраска пресс-формы	8	4
	Чистка металлтракта	7	4
Область ступицы	Трещина	9	6
	Пузырь	4	2
Область обода	Недолив	5	0
	Неслитина	3	0
	Захлоп	4	2
	Раковины, пористость бортовой закраины и хампа	9	6
Итого		59	32

Таблица 4.7 – Брак при литье модели Беринг, шт

Вид брака		Покрытие пресс-формы	
		Серийное D2	Разработанное Ж163
Технологический	Запуск пресс-формы	5	5
	Запуск пресс-формы после простоя	9	5
	Зачистка и подкраска пресс-формы	10	5
	Чистка металлтракта	8	6
Область ступицы	Трещина	10	7
	Пузырь	7	4
Область обода	Недолив	5	0
	Неслитина	8	0
	Захлоп	7	4
	Раковины, пористость бортовой закраины и хампа	13	8
Итого		82	44

Таблица 4.8 – Брак при литье модели Creed, шт

Вид брака		Покрытие пресс-формы	
		Серийное D2	Разработанное Ж163
Технологический	Запуск пресс-формы	5	5
	Запуск пресс-формы после простоя	9	5
	Зачистка и подкраска пресс-формы	10	4
	Чистка металлтракта	6	2
Область ступицы	Трещина	9	7
	Пузырь	10	3

Продолжение таблицы 4.8

Вид брака		Покрытие пресс-формы	
		Серийное D2	Разработанное Ж163
Область обода	Недолив	7	2
	Неслитина	12	0
	Захлоп	5	1
	Раковины, пористость бортовой закраины и хампа	17	6
Итого		90	35

Покрытие Ж163 позволяет снизить количество возникающих дефектов в области обода легкосплавного колеса, то есть в наиболее тонком сечении. Благодаря низкой теплопроводности разделительного слоя, практически полностью устранены недоливы и неслитины, вызванные обрывом питания. Значительно уменьшен брак по пористости [136, 137].

Не менее важным является снижение технологического брака по подкраске пресс-форм между циклами литья. Это связано с высокой приведенной прочностью покрытия и влечет повышение производительности цеха.

В целом, данные положительные тенденции отражены в изменении выхода годных отливок, представленном на рисунке 4.5.

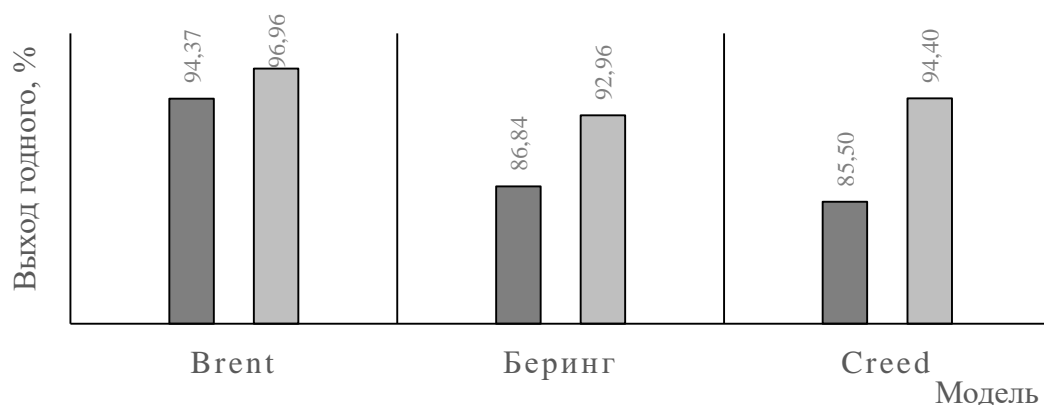


Рисунок 4.5 – Выход годных колес в зависимости от применяемого теплоизолирующего покрытия: ■ - D2; □ - Ж163

Механические свойства опытных колес, отлитых с разработанным РП, полностью соответствуют требованиям ГОСТ Р 50511–93. Наибольшее возрастание



их значений наблюдается в зоне обода и в среднем равно 3 %. На рисунке 4.6 показаны результаты испытаний модели Creed.

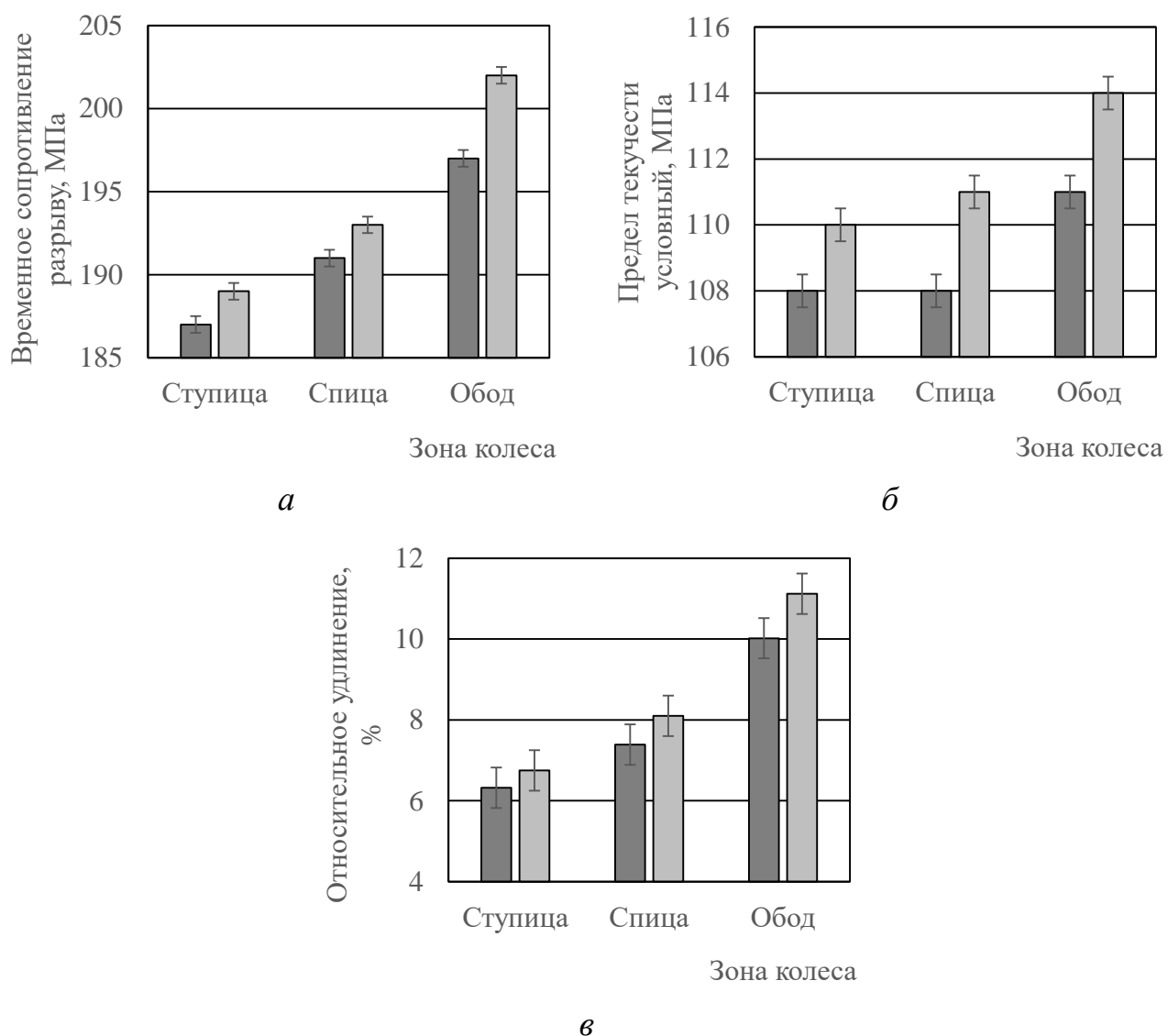
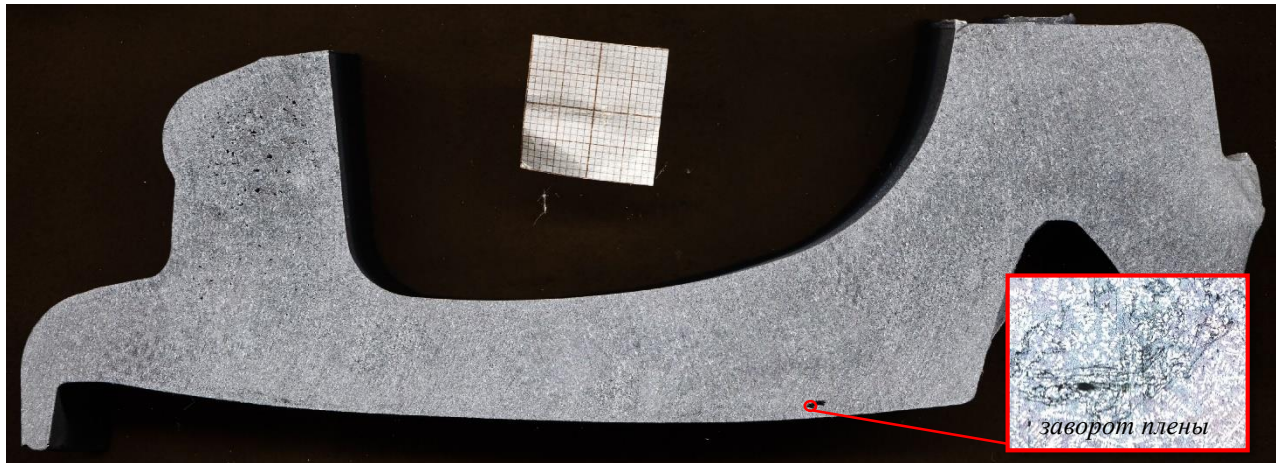


Рисунок 4.6 – Механические свойства колеса в зависимости от применяемого теплоизолирующего покрытия: *а* – временное сопротивление разрыву; *б* – предел текучести условный; *в* – относительное удлинение. Покрытия пресс-форм: ■ - D2; □ - Ж163

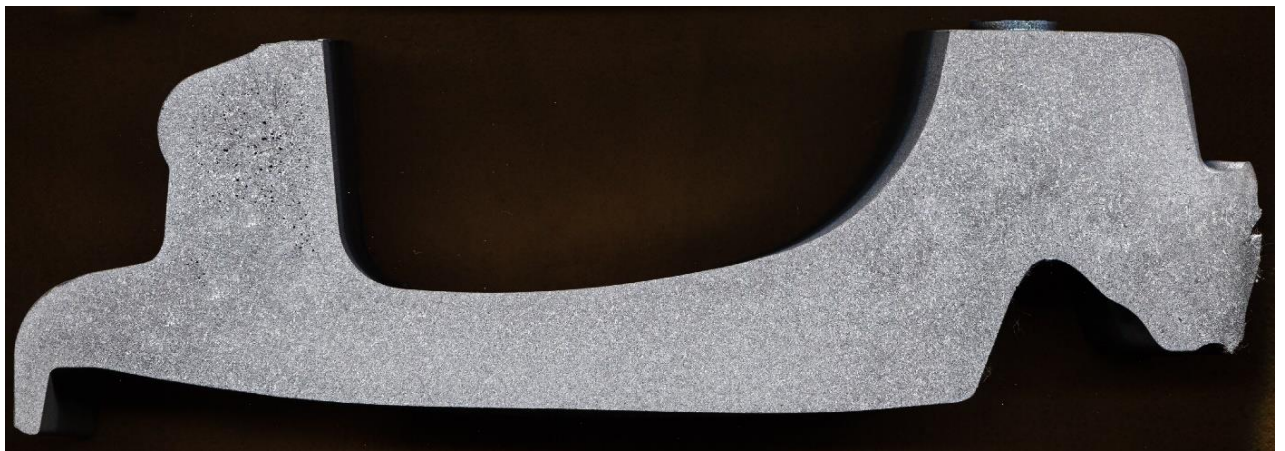
Макроструктура вырезанного темплета так же говорит об улучшении качества колес. Отмечено уменьшение пористости, связанное с более равномерной кристаллизацией отливок (рисунок 4.7). При литье с разработанным покрытием в отливке отсутствуют дефекты, вызванные заворотом окисной пленки, что свиде-

тельствует об оптимальных значениях шероховатости и теплопроводности разделительного слоя.

Таким образом, предлагаемый состав Ж163 способен заменить собой зарубежный аналог и повысить эффективность производства, за счет уменьшения количества брака и времени простоя литейных машин из-за подкраски пресс-форм.



*а*



*б*

Рисунок 4.7 – Изменение макроструктуры колеса в зависимости от применяемого теплоизолирующего покрытия: *а* – D2; *б* – Ж163

По предварительному расчету данное покрытие обладает в 4,5 раза меньшей себестоимостью, чем зарубежное. Экономический эффект от импортозамещения составит до 600 000 руб./год.

### 4.3. Выводы

По результатам проведенных испытаний установлено:

- предлагаемые разделительных покрытия с повышенным уровнем свойств пригодны для использования в производстве автомобильных колес из сплава АК12 методом литья под низким давлением;
- опробование теплопроводящего покрытия КПТ110 показало увеличение выхода годного для следующих моделей, %: Окинава – 1,53, RAV4 – 4,11, Казан-тип – 10,35. Получен акт внедрения покрытия на предприятии ООО «КиК»;
- при испытаниях теплопроводящего покрытия Ж163 увеличен выход годных отливок следующих моделей, %: Брент – 2,59, Беринг – 6,1%, Creed – 8,90;
- суммарный экономический эффект от внедрения разработанных покрытий выражается в снижении производственных затрат на 850 000 руб./год.

## ВЫВОДЫ

По результатам проделанной работы сделаны следующие выводы:

1. Определено, что для составов водорастворимых разделительных покрытий пресс-форм литья под низким давлением, приготовленных на основе минеральных и оксидных материалов с размером частиц от 0,2 до 25 мкм, оптимальное содержание связующего составляет 44–65 %. Лучшее сочетание показателей общих свойств покрытий проявляется при соотношении наполнителя и связующего близкого к 1:1,1–1:1,2.

2. Разработаны составы теплопроводящее (КПТ110) и теплоизолирующее (Ж163) разделительные покрытия, превосходящие серийно используемые составы по уровню общих, рабочих и технологических свойств. По сравнению с зарубежными аналогами седиментационная устойчивость увеличена в среднем на 20 %, а приведенная прочность – в 4,5 раза; на 25–50 % снижена газотворность; средний прирост формозаполняемости сплава АК12 по окрашенной спиральной пробе – 9 см. На теплопроводящий состав получен патент РФ № 2604163 «Разделительное покрытие для литейных пресс-форм».

3. Установлено, что внутренняя структура нанесенного разделительного слоя определяет степень влияния его шероховатости и теплопроводности на формозаполняемость расплава. Для плотных тонких слоев (до 40 мкм) формозаполняемость силумина по окрашенной поверхности прямо пропорциональна шероховатости и обратно пропорциональна теплопроводности применяемого покрытия.

4. По результатам компьютерного моделирования в пакете ProCAST<sup>®</sup>, разработанное теплопроводящее покрытие ускоряет кристаллизацию колеса на 2,1 с, а теплоизоляционное замедляет на 1,3 с.

5. Разработанные составы разделительных покрытий прошли апробацию при производстве автомобильных легкосплавных колес методом литья под низким давлением на ООО «КиК» (г. Красноярск). Теплопроводящее покрытие КПТ110, на которое получен акт внедрения, дало увеличение выхода годных отливок следующих моделей, %: Окинава – 1,53, RAV4 – 4,11, Kazантип – 10,35.

При испытаниях теплопроводящего покрытия Ж163 увеличен выход годного для следующих моделей колес, %: Брент – 2,59, Беринг – 6,1%, Creed – 8,90. Все годные отливки соответствуют требованиям ГОСТ Р 50511–93. Предполагаемый суммарный экономический эффект от внедрения разработанных покрытий составит до 850 000 руб./год.

6. Результаты исследований внедрены в учебный процесс ФГАОУ ВО «СФУ» и применяются при обучении бакалавров по направлению 22.03.02 «Металлургия», профиль 22.03.02.04 «Литейное производство черных и цветных металлов», магистров по направлению 22.04.02 «Металлургия», магистерская программа 22.04.02.07 «Теория и технология литейного производства цветных металлов и сплавов», аспирантов по направлению 22.06.01 «Технологии материалов», профиль 05.16.04 «Литейное производство».

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Косович, А. А. О зарубежной классификации дефектов легкосплавных колес / А. А. Косович, Т. Р. Гильманшина, Т. А. Богданова, Е. Г. Партыко // Литейное производство. – 2016. – № 7. – С. 23-26.
2. Богданова, Т. А. Современные технологии изготовления дисков автомобильных колес [Электронный ресурс] / Т. А. Богданова, Н. Н. Довженко, Т. Р. Гильманшина, В. Н. Баранов, А. В. Чеглаков, Г. А. Меркулова, С. И. Лыткина, С. А. Худоногов, А. А. Косович, Е. Г. Партыко // Современные проблемы науки и образования – 2014. – № 5. – Режим доступа: <http://www.science-education.ru/pdf/2014/5/567.pdf>
3. Структурообразование литейных алюминиевых сплавов при литье под низким давлением : монография / Т. А. Богданова, Н. Н. Довженко, Т. Р. Гильманшина, А.А. Косович [и др.]. – Красноярск : Сиб. федер. ун-т, 2015. – 164 с.
4. Литье под давлением / М. Б. Беккер, М.Л. Заславский, Ю.Ф. Игнатенко [и др.]. – 3-е изд., перераб. и доп. – Москва : Машиностроение, 1990. – 400 с.
5. Vinarcik, E. J. High integrity die casting processes / E. J. Vinarcik. – Hoboken : John Wiley & Sons Inc., 2002. – 256 p.
6. От литейщика для литейщика. Машины литья под низким давлением [Электронный ресурс] // Система РАЛ-Инфо. – Режим доступа: <http://www.ruscastings.ru/files/file325.pdf>
7. Титов, Н. Д. Технология литейного производства / Н. Д. Титов, Ю. А. Степанов. – Москва : Машиностроение, 1974. – 472 с.
8. Бедель, В. К. Литье под низким давлением / В. К. Бедель. – Москва : Машгиз, 1961. – 221 с.
9. Brown, J. R. Foseco Non-Ferrous Foundrymans Handbook / J. R. Brown. – Oxford : Butterworth Heinemann, 1999. – 296 p.
10. Цветное литье : справочник / Н. М. Галдин, Д. Ф. Чернега, Д. Ф. Иванчук [и др.] ; под общ. ред. Н. М. Галдина. – Москва : Машиностроение, 1989. – 528 с.

11. Белопухов, А. К. Технологические режимы литья под давлением / А. К. Белопухов. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Машиностроение, 1985. – 272 с.
12. Guide to Aluminium Casting Alloys by Aleris. – Grevenbroich : Aleris Recycling, 2011. – 102 p.
13. Kaufman, J. G. Aluminum Alloy Castings: Properties, Processes, and Applications / J. G. Kaufman, E. L. Rooy. – Ohio Materials Park : ASM International, 2004. – 321 p.
14. Путин, В. А. Тенденции развития конструкций легкосплавных колес легковых автомобилей / А. В. Путин, А. Г. Киряков // Материалы 65-ой междунар. науч.-техн. конф. Ассоциации автомобильных инженеров. – 2009. – Т. 5. – С. 107-116.
15. Леушин, И. О. Разработка и освоение методик автоматизированного проектирования технологии и оснастки для литья под давлением : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.16.04 / Леушин Игорь Олегович. – Нижний Новгород, 1992. – 24 с.
16. Турищев, В. В. Современные технологии в литье под низким давлением / В. В. Турищев, А. С. Леднев, С. В. Несветаев, М. А. Чернова // ИТБ Литьё Украины. – 2011. – № 12.
17. Zhang, B. Development of a 3-D thermal model of the low-pressure die-cast (LPDC) process of A356 aluminum alloy wheels / B. Zhang, D. M. Maijer, S. L. Cockcroft // Materials Science and Engineering. – 2007. – Vol. 464. – № 1–2. – Pp. 295–305.
18. Maijer, D. M. An investigation of predictive control for aluminum wheel casting via a virtual process model / D. M. Maijer, W. S. Owen, R. A. Vetter // Journal of Materials Processing Technology. – 2009. – Vol. 209. – № 4. – Pp. 1965–1979.
19. Zhang, Q. Research on Integrated Casting and Forging Process of Aluminum Automobile Wheel / Q. Zhang, M. Cao, D. Zhang, S. Zhang, J. Sun // Advances in Mechanical Engineering. – 2014. – Vol. 6.
20. Маційчук, В. В. Возможности повышения эффективности технологии литья под давлением / В. В. Маційчук, А. Н. Корниук // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета. – 2006. – № 33.
21. Жуков, А. А. Повышение эффективности литья под давлением (ЛПД) / А. А. Жуков, А. Д. Постнова, В. А. Борисов, Д. Т. Березин, Ю. В. Рябов, О. В. Немтырев // Литейщик России. – 2008. – № 1. – С. 25–30.

22. Юрков, И. И. Повышение стойкости пресс-форм и кокилей для литья цветных сплавов / И. И. Юрков, М. В. Аникин // *Литейное производство*. – 2014. – № 8. – С. 38–40.
23. Березин, Д. Т. Повышение эксплуатационной стойкости пресс-форм литья под давлением на основе анализа теплонапряженного состояния и моделирования процессов термоусталостного разрушения : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.16.04 / Березин Дмитрий Тимофеевич. – Рыбинск, 2001. – 16 с.
24. Гусев, А. С. Упрочнение пресс-форм методом лазерного воздействия / А. С. Гусев, С. Г. Калинов // *Успехи современного естествознания*. – 2011. – № 7. – С. 101–102.
25. Гавариев, Р. В. К вопросу о повышении эксплуатационных показателей пресс-форм для литья под давлением нанесением многофункциональных покрытий / Р. В. Гавариев, И. А. Савин, И. О. Леушин // *Теория и технология металлургического производства*. – 2014. – № 1. – С. 58–61.
26. Rosso, M. High pressure die casting: improvement of tools life by thermal sprayed coatings / M. Rosso, M. Actis Grande, E. Romano // *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*. – 2001. – Vol. 10. – Pp. 505–509.
27. Lousa, A. Multilayered chromium/chromium nitride coatings for use in pressure die-casting / A. Lousa, J. Romero, E. Martínez, J. Esteve, F. Montala, L. Carreras // *Surface and Coatings Technology*. – 2001. – Vol. 146–147. – Pp. 268–273.
28. Сезоненко, Ю. Д. Современные смазочные материалы для литья под давлением цветных металлов и сплавов / Ю. Д. Сезоненко, А. Ю. Сезоненко // *ИТБ Литьё Украины*. – 2007. – № 9.
29. Назначение и условия применения литейных смазок [Электронный ресурс] // *Технология литья под давлением*. – Режим доступа: <http://litye-pod-davleniem.ru/liteinye-smazki/naznachenie-usloviya-primeneniya-liteinykh-smazok>
30. Пивоварчик, А. А. Разделительные покрытия для литья алюминиевых сплавов под давлением / А. А. Пивоварчик, Я. С. Чайковский, А. М. Михальцов // *Литье и металлургия*. – 2013. – № 2. – С. 30–32.



31. Демьянушко, И. В. Литые алюминиевые колеса для легковых автомобилей: проектирование, изготовление, дизайн / И. В. Демьянушко, Ю. К. Есиновский, А. М. Вахромеев // Автомобильная промышленность. – 2002. – № 9. – С. 35-39.
32. Mallick, P. K. Materials, Design and Manufacturing for Lightweight Vehicles / P. K. Mallick. – Cambridge : Woodhead Publishing, 2010. – 384 p.
33. Rowley, M. T. International Atlas of Casting Defects / M. T. Rowley. – Des Plaines: AFS, 1974 – 337 p.
34. Chen, C.-L. Evaluation of aluminum die casting defects causing casting rejection during machining / C.-L. Chen. – Columbus : The Ohio State University, 1997. – 462 p.
35. Walkington, W. G. Die Casting Defects – Troubleshooting Guide / W. G. Walkington. – Arlington Heights : NADCA, 2013. – 62 p.
36. Patil, R. T. Causes of Casting Defects with Remedies / R. T. Patil, V. S. Metri, S. S. Tambore // International Journal of Engineering Research and Technology. – 2015. – Vol. 4. – № 11. – Pp. 639–644.
37. Fiorese, E. New Classification of Defects and Imperfections for Aluminum Alloy Castings / E. Fiorese, F. Bonollo, G. Timelli, L. Arnberg, E. Gariboldi // International Journal of Metalcasting. – 2015. – Vol. 9. – № 1. – Pp. 55–66.
38. Jain, S. Minimization of defect in aluminum alloy wheel casting using 7 QC tools / S. Jain, Y. S. Rajput // International Journal of Advanced Engineering Research and Technology. – 2015. – Vol. 3. – № 8. – Pp. 280–283.
39. Dixit, A. K. A review on problem of shrinkage in aluminum alloy low pressure die wheel casting and its control / A. K. Dixit, R. Awasthi // International Journal of Advance Research in Science and Engineering. – 2014. – Vol. 3. – № 8. – Pp. 237–243.
40. Zhang, B. Casting defects in low-pressure die-cast aluminum alloy wheels / B. Zhang, S. L. Cockcroft, D. M. Maijer, J. D. Zhu, A. B. Phillion // JOM. – 2005. – Vol. 57. – № 11. – Pp. 36–43.
41. Krishna, P. Evaluation of metal-mold interfacial heat transfer coefficient in a low-pressure permanent mold (LPPM) aluminum casting process / P. Krishna, K. T. Bilkey, R. D. Pehlke // Transactions of the American Foundry Society. – 2001. – Vol. 109. – Pp. 1–12.

42. Hines, J. A. Determination of interfacial heat-transfer boundary conditions in an aluminum low-pressure permanent mold test casting / J. A. Hines // *Metallurgical and Materials Transactions B.* – 2004. – Vol. 35. – № 2. – Pp. 299–311.
43. Hamasaiid, A. Effect of mold coating materials and thickness on heat transfer in permanent mold casting of aluminum alloys // A. Hamasaiid, M. S. Dargusch, C. J. Davidson, S. Tovar, T. Loulou, F. Rezai-Aria, G. Dour // *Metallurgical and Materials Transactions A.* – 2007. – Vol. 38. – № 6. – Pp. 1303–1316.
44. Чуркин, А. Б. Об изменении избыточного давления в камере установки для литья под низким давлением / А. Б. Чуркин, Б. С. Чуркин, Э. Б. Гофман, Ю. И. Категоренко // *Литейное производство.* – 2002. – № 6. – С. 33–34.
45. Михальцов, А. М. Газодинамические процессы при литье под давлением / А. М. Михальцов // *Литейное производство.* – 2004. – № 3. – С. 28–29.
46. Мельников, А. Н. Теплостойкие стали для пресс-форм литья под давлением / А. Н. Мельников // *Литейное производство.* – 2003. – № 10. – С. 26–28.
47. Казаринов, И. Б. Нетрадиционные конструкторско-технологические решения в литье под давлением / И. Б. Казаринов // *Литейное производство.* – 2003. – № 11. – С. 19–23.
48. Минаев, А. А. Мониторинг патентной документации по технологии литья под давлением / А. А. Минаев // *Литейщик России.* – 2008. – № 4. – С. 35–39.
49. Грачев, А. Н. Выбор вариантов применения техногенных отходов в литейно-металлургических технологиях / А. Н. Грачев, И. О. Леушин // *Металлургия машиностроения.* – 2013. – № 4. – С. 41–45.
50. Берг, П. П. Качество литейной формы / П. П. Берг. – Москва : Машиностроение, 1970. – 286 с.
51. Сварика, А. А. Покрытия литейных форм / А. А. Сварика. – Москва : Машиностроение, 1977. – 216 с.
52. Сварика, А. А. Формовочные материалы и смеси : справочник / А. А. Сварика. – Киев : Техника, 1983. – 144 с.

53. Формовочные материалы и технология литейной формы : справочник / С. С. Жуковский, Г. А. Анисович, Н. И. Давыдов [и др.] ; под общ. ред. С. С. Жуковского. – Москва : Машиностроение, 1993. – 432 с.
54. Литейные формовочные материалы. Формовочные, стержневые смеси и покрытия : справочник / А. Н. Болдин, Н. И. Давыдов, С. С. Жуковский [и др.]. – Москва : Машиностроение, 2006. – 507 с.
55. Ceramic Coatings – Applications in Engineering / Feng Shi. – Rijeka : InTech Europe, 2012. – 286 p.
56. Мамина, Л. И. Исследование влияния механической активации на свойства противопригарных и связующих материалов : дис. ... канд. техн. наук : 05.16.04 / Мамина Людмила Ивановна. – Москва, 1980. – 162 с.
57. Мамина, Л. И. Опыт и перспективы освоения нанотехнологий в литейном производстве / Л. И. Мамина, И. А. Дибров // Литейщик России. – 2009. – № 7. – С. 37–41.
58. Баранов, В. Н. Порошковые и гранулированные графитосодержащие нанокomпозиции для противопригарных покрытий / В. Н. Баранов, А. И. Безруких, Л. И. Мамина, В. И. Новожонов // Литейное производство. – 2008. – № 1. – С. 12–14.
59. Крушенко, Г. Г. Противопригарные покрытия литейных форм и стержней, содержащие нанопорошки тугоплавких химических соединений / Г. Г. Крушенко, В. В. Москвичев, А. Е. Буров // Тяжелое машиностроение. – 2007. – № 6. – С. 31–33.
60. Крушенко, Г. Г. Предотвращение образования пригара на стальных и чугунных отливках при окраске форм и стержней красками, содержащими нанопорошки тугоплавких химических соединений / Г. Г. Крушенко, М. Н. Фильков // Экология промышленного производства. – 2010. – № 4. – С. 43–46.
61. Крушенко, Г. Г. Литейные нанопокpытия / Г. Г. Крушенко // Нанотехника. – 2012. – № 2. – С. 93–97.
62. Nwaogu, U. C. Foundry Coating Technology: A Review / U. C. Nwaogu, N. S. Tiedje // Material Sciences and Application. – 2011. – № 2. – Pp. 1143–1160.

63. Кузнецов, Р. В. Новое алюмосиликатное покрытие для получения качественных кокильных заготовок / Р. В. Кузнецов, К. В. Мартынов // *Литейное производство*. – 2015. – № 8. – С. 27–29.
64. Илларионов, И. Е. Применение металлофосфатных связующих и смесей в литейном производстве / И. Е. Илларионов, Н. В. Петрова, А. В. Решетников, И. А. Стрельников, А. А. Моляков // *Литье и металлургия*. – 2013. – № 3S. – С. 54–57.
65. Пат. 2159164 Российская Федерация, МПК7 В 22 С 3/00. Состав для получения покрытия на литейных стержнях и формах / Н. Н. Егорова, В. А. Николаева, Г. А. Колодий, В. А. Чумаевский ; заявитель и патентообладатель АО «ФК», АО «ПТИ ЛИТПРОМ». – № 98110521/02 ; заявл. 04.06.1998; опубл. 20.11.2000.
66. Пряхин, М. Г. Эффективные покрытия для металлических форм / М. Г. Пряхин, А. Н. Поддубный, А. В. Дюков, И. К. Кульбовский // *Литейщик России*. – 2003. – № 8. – С. 28–30.
67. Илларионов, И. Е. Особенности применения жидкостекольных смесей / И. Е. Илларионов, Н. В. Петрова // *Вестник Чувашского государственного педагогического университета им. И.Я. Яковлева*. – 2010. – № 4. – С. 62–70.
68. Обрезков, В. В. Преимущества приготовления жидкого стекла из сухого концентрата / В. В. Обрезков, В. И. Гернер, А. П. Никифоров, А. Л. Гималетдинов, Д. Н. Соннов, С. А. Никифоров // *Литейное производство*. – 2009. – № 7. – С. 18–20.
69. Филиппович, Е. Н. Покрытия на основе метасиликата натрия / Е. Н. Филиппович, Л. Н. Нажарова, Г. Г. Мингазова // *Вестник Казанского технологического университета*. – 2011. – № 17. – С. 173–176.
70. Вейник, А. И. Испытания кокильных красок на теплопроводность / А. И. Вейник. – Москва : Машгиз, 1956. – 232 с.
71. Пат. 2254203 Российская Федерация, МПК7 В 22 С 3/00. Способ изготовления антипригарной краски / Т. Ф. Баранова, Н. Н. Саванина ; заявитель и патентообладатель ФГУП Обнинское научно-производственное предприятие «Технология». – № 2003132212/02 ; заявл. 03.11.2003 ; опубл. 20.06.2005.
72. Lin, J. Design methodology for optimized die coatings: The case for aluminum pressure die-casting / J. Lin, S. Carrera, A. O. Kunrath, D. Zhong, S. Myers, B. Mishra,

P. Ried, J. J. Moore // *Surface and Coatings Technology*. – 2006. – Vol. 201. – № 6. – Pp. 2930–2941.

73. Фиговский, О. Л. Жидкое стекло и водные растворы силикатов, как перспективная основа технологических процессов получения новых нанокomпозиционных материалов / О. Л. Фиговский, П. Г. Кудрявцев // *Инженерный вестник Дона*. – 2014. – Т. 29. – № 2. – С. 117.

74. Вейник, А. И. Термодинамика литейной формы / А. И. Вейник. – Москва : Машиностроение, 1968. – 332 с.

75. Мартюшев, Н. В. О возможности легирования поверхности отливок нанопорошками [Электронный ресурс] / Н. В. Мартюшев // *Современные проблемы науки и образования*. – 2013. – № 4. – Режим доступа: <http://www.science-education.ru/110-9760>

76. Жаркова, В. Ф. Поверхностное легирование отливок углеродом в литейной форме / В. Ф. Жаркова, Н. А. Кидалов, Ю. В. Гребнев, А. С. Родин, А. В. Симаков // *Известия Волгоградского Государственного Технического Университета*. – 2014. – Т. 9, № 9. – С. 133–134.

77. Жаркова, В. Ф. Совершенствование состава краски для поверхностного легирования износостойких отливок / В. Ф. Жаркова, Н. А. Кидалов, Ю. В. Гребнев, А. С. Родин, А. В. Симаков // *Известия Волгоградского Государственного Технического Университета*. – 2014. – Т. 10, № 23. – С. 125–127.

78. Юсуфов, А. Р. Получение защитных покрытий многофункционального назначения поверхностным легированием отливок в литейной форме / А. Р. Юсуфов, И. М. Абачараев // *Вестник Астраханского государственного технического университета. Морская техника и технология*. – 2010. – № 1. – С. 69–72.

79. Гавариев, Р. В. Влияние функциональных покрытий на эксплуатационную стойкость пресс-форм литья под давлением для цинковых сплавов / Р. В. Гавариев, И. А. Савин, И. О. Леушин // *Цветные металлы*. – 2016. – № 1. – С. 66–70.

80. Кирюхина, Т. Н. Нанотехнология формовочных красок / Т. Н. Кирюхина, Н. Н. Кузьмин. – Москва : Металлургиздат, 2010. – 144 с.

81. Aramphongphun, C. Microfluidics and rheology of carbon black suspensions for In-Mold Coating applications: some insights into the slip flow phenomena / C. Aramphongphun, J. M. Castro // *Journal of Computer-Aided Materials Design*. – 2007. – Vol. 14. – № 1. – Pp. 31–36.
82. Белобров, Е. А. О способах окрашивания противопригарными красками стержней и форм / Е. А. Белобров, О. Л. Карпенкова // *Литейное производство*. – 2013. – № 2. – С. 25–28.
83. Brown, J. R. *Foseco Ferrous Foundrymans Handbook* / J. R. Brown. – Oxford : Butterworth Heinemann, 2000. – 360 p.
84. Joyce, M. Adapting More Progressive Refractory Coating Measurement Controls / M. Joyce, M. Rebros, S. Ramrattan // *International Journal of Metalcasting*. – 2008. – Vol. 2. – № 4. – Pp. 29–39.
85. Пивоварчик, А. А. Влияние способов нанесения разделительных покрытий на толщину смазочно-разделительного слоя при ЛПД Al-сплавов / А. А. Пивоварчик, А. М. Михальцов // *Литейное производство*. – 2014. – № 5. – С. 24–25.
86. Davis, J. R. *ASM Specialty Handbook: Tool Materials* / J. R. Davis. – Ohio Materials Park : ASM International, 1995. – 501 p.
87. Chiesa, F. Developing coatings for Mg: a permanent mold coating traditionally used with aluminum has been optimized for use with magnesium / F. Chiesa, B. Duchesne, G. Bournival, G. Morin // *Modern Casting*. – 2007. – Vol. 97. – № 2. – Pp. 47–50.
88. Han, Q.-Y. Mechanism of die soldering during aluminum die casting / Q.-Y. Han // *China foundry*. – 2015. – № 2. – Pp. 136–143.
89. Пивоварчик, А. А. Разделительное покрытие с высокими эксплуатационными характеристиками для пресс-форм литья под давлением алюминиевых сплавов : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.16.04 / Пивоварчик Александр Антонович. – Минск, 2010. – 24 с.
90. Серебро, В. С. Температурный режим облицованной металлической формы при циклической эксплуатации / В. С. Серебро, А. И. Бренер, Л. Я. Нетес, А. Ф. Шевченко, Н. П. Дмитришин // *Тепловые процессы в отливках и формах: труды XV совещания по теории литейных процессов*. – Москва, 1972. – С. 127-132.

91. Горюнов, И. И. Пресс-формы для литья по давлению : справочное пособие / И. И. Горюнов. – Ленинград : Машиностроение, 1973. – 256 с.
92. Гуляев, Б. Б. Теория литейных процессов : учебное пособие для вузов / Б. Б. Гуляев. – Ленинград : Машиностроение, 1976. – 216 с.
93. Третьяк, С. П. Разработка и практическое опробование метода расчета температурного режима пресс-форм литья под давлением с целью обеспечения заданного качества поверхности отливок : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.16.04 / Третьяк Сергей Павлович. – Москва, 1994. – 15 с.
94. Автоматизированная система расчета технологических параметров при литье под регулируемым давлением : монография / Ю. И. Категоренко [и др.]. – Екатеринбург : Рос. гос. проф.-пед. ун-т, 2013. – 104 с.
95. Prstic, A. Zircon-based coating for the applications in lost foam casting process / A. Prstic, Z. Acimovic-Pavlovic, L. Andric, J. Stojanovic, A. Terzic // Chemical Industry & Chemical Engineering Quarterly. – 2012. – Vol. 18. – № 4. – Pp. 587–593.
96. Borouni, M. Effect of a nano-ceramic mold coating on the fluidity length of thin-wall castings in Al4-1 alloy gravity sand casting / M. Borouni, B. Niroumand, M. H. Fathi // Materials and Technology. – 2014. – Vol. 48. – № 4. – Pp. 473–477.
97. Pat. US 20040244936 A1. Die coatings for gravity and low pressure die casting. – US 10/749,511 ; fil. 02.01.2004 ; pub. 09.12.2004.
98. Pat. US 4867225. Coated expandable cores for die casting dies. – US 319,543 ; fil. 06.03.1989 ; pub. 19.09.1989.
99. Pat. CN 102145372 B. Coating for metal mold casting of aluminum alloy thin-walled piece and preparation method and coating method thereof. – CN 201110062781 ; fil. 15.03.2011 ; pub. 27.06.2012.
100. Pat. CN 102806306 B. Coating for metal mold casting of magnesium alloy thin-wall parts. – CN 201210305830 ; fil. 24.09.2012 ; pub. 25.02.2015.
101. Пат. 2521540 Российская Федерация, МПК7 В 22 С 3/00. Термостойкий керамический композит / П. А. Дробышевский ; заявитель и патентообладатель ООО «Синтез-Плюс». – № 2012144706/02 ; заявл. 19.10.2012 ; опубл. 27.06.2014.

102. Penko, T. Process control of mold coatings assures safety and efficiency / T. Penko // *Modern Casting*. – 1994. – Vol. 84. – № 4. – Pp. 40–41.
103. Одарченко, И. Б. Управление качеством литейных стержней и внутренних поверхностей отливок / И. Б. Одарченко, И. Н. Прусенко // *Литье и металлургия*. – 2015. – № 1. – С. 12–16.
104. Campbell, J. *Complete Casting Handbook* / J. Campbell. – Oxford : Butterworth-Heinemann, 2011. – 1224 p.
105. Bae, S.-H. Wear Behavior of Die Steel in Molten Aluminum Alloy / S.-H. Bae, B.-H. Kang, K.-Y. Kim, D.-H. Kim, G. Choi, B.-H. Choi // *Journal of Korea Foundry Society*. – 2008. – Vol. 28. – № 3. – Pp. 119–123.
106. Денисов, П. Ю. Взаимодействие сплавов алюминия с материалами пресс-форм и повышение их стойкости функциональными покрытиями : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.02.01 / Денисов Павел Юрьевич. – Тюмень, 2005. – 16 с.
107. Жижченко, С. С. Исследование влияния жидкого алюминия на стойкость стального и чугунного инструмента / С. С. Жижченко, И. А. Шпарева, М. А. Турчанин, П. Г. Агравал // *Литье и металлургия*. – 2013. – № 4. – С. 51–58.
108. Косович, А. А. Компьютерное моделирование процессов формирования легкосплавных дисков по технологии литья под низким давлением [Электронный ресурс] / А. А. Косович, Е. Г. Партыко, Т. А. Богданова, А. В. Ермолаев, С. В. Мельников, П. Е. Титаренко // *Молодежь и наука: сб. мат-лов X Юбилейной Всероссийской науч.-тех. конф.* – 2014. – Режим доступа: [http://conf.sfu-kras.ru/sites/mn2014/pdf/d03/s08/s08\\_004.pdf](http://conf.sfu-kras.ru/sites/mn2014/pdf/d03/s08/s08_004.pdf)
109. Барбицкий, П. Ю. Возможность разработки высокотехнологичных покрытий пресс-форм для литья под низким давлением / П. Ю. Барбицкий, А. А. Косович, Т. А. Богданова, Т. Р. Гильманшина, Н. Н. Довженко // *Цветные металлы и минералы: сб. тезисов докладов шестого международного конгресса*. – Красноярск, 2014. – С. 366.
110. Алтухов, А. С. Разработка импортозамещающих разделительных покрытий для литья легкосплавных колесных дисков под низким давлением [Электронный ресурс] / А. С. Алтухов, А. А. Косович, Е. Г. Партыко, П. Ю. Барбицкий // Про-



- спект Свободный-2015: материалы междунар. науч. конф., посвященной 70-летию Великой Победы – 2015. – Режим доступа: <http://conf.sfu-kras.ru/sites/mn2015>
111. Косович, А. А. Разработка импортозамещающих разделительных покрытий пресс-форм для литья под низким давлением на основе оксидных материалов / А. А. Косович, Т. Р. Гильманшина, Т. А. Богданова, А. В. Чеглаков, П. Ю. Барбицкий, Е. Г. Партыко // Цветные металлы и минералы: сб. тезисов докладов седьмого международного конгресса. – Красноярск, 2015. – С. 388.
112. Die Dressings and Coatings [Электронный ресурс] // Foseco. – Режим доступа: <http://www.foseco.com/en/end-markets/foundry/products-services/non-ferrous-foundry/non-ferrous-foundry-detail/productsinfo>
113. Bonderite [Электронный ресурс] // Henkel Adhesives International. – Режим доступа: <http://www.henkel-adhesives.com/brands-5497.htm?nodeid=8797571514510>
114. Природные ресурсы и окружающая среда России / А. Д. Думнов, Н. Г. Рыбальский, Е. Д. Самолесов [и др.] ; под. ред. Б. А. Яцкевича, В. А. Пака, Н. Г. Рыбальского. – Москва : РЭФИА, 2001. – 572 с.
115. Еремин, Н. И. Неметаллические полезные ископаемые / Н. И. Еремин. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – Москва : МГУ, 2007. – 460 с.
116. Физические величины : Справочник / А. П. Бабичев, Н. А. Бабушкина, А. М. Братковский [и др.] ; под. ред. И. С. Григорьева, Е. З. Мейлихова. – Москва : Энергоатомиздат, 1991. – 1232 с.
117. Энциклопедия лазерных приборов FRITZSCH [Электронный ресурс] // Fritsch GmbH. – Режим доступа: <http://www.fritsch-sizing.ru/ehnciklopedija>
118. NETZSCH Анализ и Тестирование [Электронный ресурс] // NETZSCH-Gerätebau GmbH. – Режим доступа: <https://www.netzsch-thermal-analysis.com/ru>
119. Бренд К&К - синоним надежности [Электронный ресурс] // Официальный сайт ООО «КиК». – Режим доступа: <http://kolesa-kik.ru>
120. Guofa, M. Numerical simulation of low pressure die-casting aluminum wheel / M. Guofa, L. Xiangyu, W. Kuangfei, F. Hengzhi // China Foundry. – 2009. – Vol. 6. – № 1. – Pp. 48–52.

121. Косович, А. А. Сравнение свойств разделительных покрытий для пресс-форм литья под низким давлением / А. А. Косович, Т. Р. Гильманшина, Т. А. Богданова, Е. Г. Партыко // Технические науки - от теории к практике: сб. ст. по матер. LV междунар. науч.-практ. конф. № 2 (50). – Новосибирск, 2016. – С. 55-59.
122. Kosovich, A. A. Development experience of effective die mold coatings for low-pressure casting: prospects of using Krasnoyarsk region resources / A. A. Kosovich, T. R. Gilmanshina, T. A. Bogdanova, S. V. Belyaev, E. G. Partyko // Proceedings of the Eighth International conference on Eurasian scientific development. – Vienna, 2016. – Pp. 148-150.
123. Пат. 2604163 Российская Федерация, МПК В 22 С 3/00. Разделительное покрытие для литейных пресс-форм / А. А. Косович, Т. Р. Гильманшина, Е. Г. Партыко Т. А. Богданова, П. Ю. Барбицкий, С. И. Лыткина, А. Ю. Богданов, С. В. Мельников ; заявитель и патентообладатель ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет». – № 2015120544/02; заявл. 29.05.2015; опубл. 10.12.2016 Бюл. № 34.
124. Косович, А. А. Влияние разделительных покрытий на жидкотекучесть силумина АК12 / А. А. Косович, Т. Р. Гильманшина, Т. А. Богданова, П. Ю. Барбицкий, Е. Г. Партыко // Научно-технический прогресс: актуальные и перспективные направления будущего : сб. матер. II междунар. науч.-практ. конф. – Кемерово, 2016. – Т. 2. – С. 202-204.
125. Гильманшина, Т. Р. Моделирование литья автомобильных колес в пресс-формы с нанесенным разделительным покрытием / Т. Р. Гильманшина, А. А. Косович, Е. Г. Партыко, Т. А. Богданова // Состояние и перспективы развития литейных технологий и оборудования в цифровую эпоху: сб. тр. всероссийской науч.-практ. конф. – Москва, 2016. – С. 72-76.
126. Батышев, А. И. Влияние давления и интенсивности контактного теплообмена на макроструктуру отливок / А. И. Батышев, В. И. Безпалько, А. С. Любавин, Т. Я. Щрамко // Литейное производство. – 1989. – № 8. – С. 19.
127. Sabatino, M. D. Fluidity of aluminum foundry alloys / M. D. Sabatino. – Trondheim : NTNU, 2005. – 161 p.

128. Djurdjevic, M. B. Melt quality control at aluminum casting plants / M. B. Djurdjevic, Z. Odanovic, J. Pavlovic-Krstic // *Metalurgija*. – 2010. – Vol. 16. – № 1. – Pp. 63–76.
129. Divandari, M. Effect of strips size and coating thickness on fluidity of A356 aluminium alloy in lost foam casting process / M. Divandari, V. Jamali, S. Shabestari // *International Journal of Cast Metals Research*. – 2010. – Vol. 23. – № 1. – Pp. 23–29.
130. Беспалько, В. И. Изготовление герметичных отливок из силуминов / В. И. Беспалько, А. И. Батышев, К. А. Батышев, А. А. Смолькин // *Литейное производство*. – 2012. – № 1. – С. 29-30.
131. Брежнев, Л. В. Влияние вентиляции пресс-форм на качество поверхности отливок из алюминиевого сплава / Л. В. Брежнев, А. И. Батышев, К. А. Батышев, В. И. Беспалько // *МГОУ-XXI-Новые технологии*. – 2012. – № 5. – С. 11-13.
132. Табунщиков, Н. П. Производство извести / Н. П. Табунщиков. – Москва : Химия, 1974. – 240 с.
133. Косович, А. А. Импортзамещающие разделительные покрытия для пресс-форм литья под низким давлением / А. А. Косович, Т. Р. Гильманшина, Т. А. Богданова, А. В. Чеглаков, П. Ю. Барбицкий, С. И. Лыткина, Е. Г. Партыко // *Журнал Сибирского Федерального Университета. Серия Техника и технологии*. – 2016. – Т. 9. – № 5. – С. 686-692.
134. Косович, А. А. Разработка эффективных покрытий пресс-форм для литья алюминиевых сплавов под низким давлением / А. А. Косович, Т. Р. Гильманшина, Т. А. Богданова, П. Ю. Барбицкий, А. В. Чеглаков, Е. Г. Партыко // *Цветные металлы и минералы: сб. тезисов докладов восьмого международного конгресса*. – Красноярск, 2016. – С. 230.
135. Косович, А. А. Предотвращение усадочных, термических и газовых дефектов легкосплавных колес / А. А. Косович, Т. Р. Гильманшина, С. В. Беляев, Т. А. Богданова, Е. Г. Партыко, П. Ю. Барбицкий // *Современные технологии в машиностроении и литейном производстве : сб. матер. II междунар. науч.-практ. конф.* – Чебоксары, 2016. – С. 120-125.

136. Косович, А. А. Теплоизолирующие покрытия для литья легкосплавных колес под низким давлением / А. А. Косович, Т. Р. Гильманшина, Т. А. Богданова, Е. Г. Партыко, Д. Ю. Крицкий // Литейное производство. – 2017. – № 1. – С. 14–17.
137. Косович, А. А. Предотвращение дефектов легкосплавных колес / А. А. Косович, Т. Р. Гильманшина, С. В. Беляев, Т. А. Богданова, Е. Г. Партыко, П. Ю. Барбицкий // Литейщик России. – 2017. – № 2. – С. 34-36.

## ПРИЛОЖЕНИЕ 1

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) RU<sup>(11)</sup> 2 604 163<sup>(13)</sup> C1(51) МПК  
B22C 3/00 (2006.01)ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2015120544/02, 29.05.2015

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
29.05.2015

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 29.05.2015

(45) Опубликовано: 10.12.2016 Бюл. № 34

(56) Список документов, цитированных в отчете о  
поиске: RU 2002544C1, 15.11.1993. RU  
2521540C2, 27.06.2014. SU 211754A, 19.02.1968.  
JP 2010131665A, 17.06.2010. US 4867225A,  
19.09.1989.

Адрес для переписки:

660025, г. Красноярск, пр-т Красноярский  
рабочий, 95, СФУ, 3-я площадка, отдел правовой  
охраны и защиты интеллектуальной  
собственности Пономаревой Л.В.

(72) Автор(ы):

Косович Александр Александрович (RU),  
Гильманшина Татьяна Ренатовна (RU),  
Партыко Евгений Геннадьевич (RU),  
Богданова Татьяна Александровна (RU),  
Барбицкий Павел Юрьевич (RU),  
Лыткина Светлана Игоревна (RU),  
Богданов Александр Юрьевич (RU),  
Мельников Сергей Васильевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего  
образования "Сибирский федеральный  
университет" (RU)

## (54) РАЗДЕЛИТЕЛЬНОЕ ПОКРЫТИЕ ДЛЯ ЛИТЕЙНЫХ ПРЕСС-ФОРМ

(57) Реферат:

Изобретение относится к литейному  
производству и может быть использовано для  
окрашивания пресс-форм, предназначенных для  
литья алюминиевых сплавов под низким  
давлением. Разделительное покрытие содержит  
наполнитель в виде смеси порошков двуокиси  
титана с размером частиц до 1 мкм, талька с  
размером частиц до 25 мкм, пылевидного кварцас размером частиц до 10 мкм и сульфата бария с  
размером частиц до 6 мкм, жидкое стекло и воду  
при следующем соотношении компонентов, мас.  
%: двуокись титана 3-6, тальк 1-4, пылевидный  
кварц 0,5-2, сульфат бария 0,5-3, жидкое стекло  
6-11, вода - остальное. Покрытие позволяет  
повысить качество поверхности точных  
тонкостенных отливок. 1 табл.

RU 2 604 163 C 1

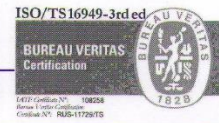
RU 2 604 163 C 1

## ПРИЛОЖЕНИЕ 2



“К и К”

ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ



660020, Россия, г. Красноярск, ул.Березина, 3  
 ИНН: 2465051731; КПП 246550001; ОКАТО: 04401374000; ОКОНХ: 14341, 12511; ОКПО: 050325019  
 Р/с: 40702810731280122096 в Восточно-Сибирском банке СБ РФ г. Красноярск.  
 Корр. счет: 30101810800000000627; БИК: 0404807627 ОГРН: 1022402465898  
 Тел. (391) 206 79 01, факс. (391) 206 79 02 E-mail: prod@kandk.ru http:// www.kolesa-kik.ru

## Акт

испытаний теплопроводящего разделительного  
 покрытия КПП110 для пресс-форм

« 03 » июня 20 15 г

Комиссия в составе

Технический директор производства ПВР  
 Директор по управлению персоналом

А.А. Персиянов  
 Е.Г. Семенюк

считает, что теплопроводящее разделительное покрытие КПП110, предложенное ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», приготовленное из диоксида титана, талька и жидкого стекла и испытанное в период с 04.04.2015 по 30.05.2015 гг., обладает требуемыми свойствами и готово к промышленному освоению для литья дисков автомобильных колес внутреннего рынка под низким давлением.

Комиссия предлагает начать промышленное освоение разделительного покрытия КПП110 с 30.06.2015 г.



/ А.А. Персиянов /

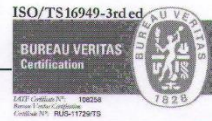
/ Е.Г. Семенюк /

## ПРИЛОЖЕНИЕ 3



**“К и К”**

**ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ**



660020, Россия, г. Красноярск, ул.Березина, 3  
 ИНН: 2465051731; КПП 246550001; ОКАТО: 04401374000; ОКОНХ: 14341, 12511; ОКПО: 050325019  
 Р/с: 40702810731280122096 в Восточно-Сибирском банке СБ РФ г. Красноярск.  
 Корр. счет: 30101810800000000627; БИК: 0404807627 ОГРН: 1022402465898  
 Тел. (391) 206 79 01, факс. (391) 206 79 02 E-mail: prod@kandk.ru http:// www.kolesa-kik.ru

У Т В Е Р Ж Д А Ю :

Генеральный директор ООО «КиК»

В.В. Мельников



» *декабрь* 2015г

Акт

приемки теплопроводящего разделительного  
 покрытия КРТ110 для пресс-форм

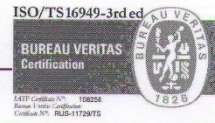
Приемочная комиссия в составе

Технический директор производства ПВР  
 Директор по управлению персоналом

А.А. Персиянов  
 Е.Г. Семенюк

определила, что, проводимое в период с 30.06.2015 по настоящее время опытно-промышленное освоение теплопроводящего разделительного покрытия КРТ110, предложенного ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет» и приготовленного из диоксида титана, талька и жидкого стекла, позволило:

- определить свойства покрытия (вязкость (по ВЗ-4) 10 с; седиментационная устойчивость (по ГОСТ 10722-78, через 3 ч после изготовления покрытия) – 72 % и приведенная прочность (по ГОСТ 10722-78) – 40290 г/мм покрытия);
- повысить жидкотекучесть сплава, измеренную по спиральной пробе (ГОСТ 16438-70), сплава АК12 с 43 до 54 см;
- снизить процент пористости в макроструктуре колес, отлитых с предлагаемым покрытием, в поверхностной зоне до 0,1 %;
- увеличить выход годного литья моделей колес (%: КС635 – 1,53; КС673 – 4,11; КС684 – 10,35) по сравнению с покрытием DYCOTE D39ESS.

**“К и К”****ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ**

660020, Россия, г. Красноярск, ул.Березина, 3  
ИНН: 2465051731; КПП 246550001; ОКАТО: 04401374000; ОКОНХ: 14341, 12511; ОКПО: 050325019  
Р/с: 40702810731280122096 в Восточно-Сибирском банке СБ РФ г. Красноярск.  
Корр. счет: 30101810800000000627; БИК: 0404807627 ОГРН: 1022402465898  
Тел. (391) 206 79 01, факс. (391) 206 79 02 E-mail: prod@kandk.ru http:// www.kolesa-kik.ru

Комиссия предлагает:

- рекомендовать данное покрытие для серийного использования в условиях цеха ООО «КиК» при литье колес внутреннего рынка;
- рекомендовать данное покрытие для опытно-промышленных испытаний в условиях цеха ООО «КиК» при литье колес автозаводов.

/ А.А. Персянов /

/ Е.Г. Семенюк /

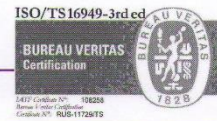


## ПРИЛОЖЕНИЕ 4



“К и К”

ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ



660020, Россия, г. Красноярск, ул.Березина, 3  
 ИНН: 2465051731; КПП 246550001; ОКАТО: 04401374000; ОКОНХ: 14341, 12511; ОКПО: 050325019  
 Р/с: 40702810731280122096 в Восточно-Сибирском банке СБ РФ г. Красноярск.  
 Корр. счет: 30101810800000000627; БИК: 0404807627 ОГРН: 1022402465898  
 Тел. (391) 206 79 01, факс. (391) 206 79 02 E-mail: prod@kandk.ru http:// www.kolesa-kik.ru



УТВЕРЖДАЮ:

Генеральный директор ООО «КиК»

В.В. Мельников

09 » февраля 2016г

Акт

промышленного освоения теплопроводящего разделительного  
 покрытия КПП110 для пресс-форм

Приемочная комиссия в составе

Технический директор производства ПВР  А.А. Персиянов

Директор по управлению персоналом  Е.Г. Семенюк

определила, что:

- опытное освоение теплопроводящего разделительного покрытия КПП110, предложенного ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет» и приготовленного из диоксида титана, талька и жидкого стекла, проводилось в период с 30.06.2015 по настоящее время при литье колес внутреннего рынка;
- в ходе опытных испытаний покрытия КПП110 проводился анализ свойств покрытия (вязкость, седиментационная устойчивость, приведенная прочность), жидкотекучести сплава АК12, внутренней структуры колес и выхода годного.

комиссия считает:

- результаты опытного освоения разделительного покрытия КПП110, приготовленного из диоксида титана, талька и жидкого стекла, удовлетворительными;

**“К и К”****ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ**

660020, Россия, г. Красноярск, ул.Березина, 3  
ИНН: 2465051731; КПП 246550001; ОКАТО: 04401374000; ОКОНХ: 14341, 12511; ОКПО: 050325019  
Р/с: 40702810731280122096 в Восточно-Сибирском банке СБ РФ г. Красноярск.  
Корр. счет: 30101810800000000627; БИК: 0404807627 ОГРН: 1022402465898  
Тел. (391) 206 79 01, факс. (391) 206 79 02 E-mail: prod@kandk.ru http:// www.kolesa-kik.ru

- возможным рекомендовать данное покрытие для серийного использования в условиях цеха ООО «КиК» при литье колес внутреннего рынка;
- возможным рекомендовать данное покрытие для опытно-промышленных испытаний в условиях цеха ООО «КиК» при литье колес автозаводов.

/ А.А. Персиянов /

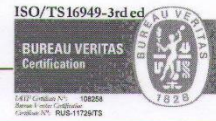
/ Е.Г. Семенюк /

## ПРИЛОЖЕНИЕ 5



“К и К”

ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ



660020, Россия, г. Красноярск, ул.Березина, 3  
 ИНН: 2465051731; КПП 246550001; ОКАТО: 04401374000; ОКОНХ: 14341, 12511; ОКПО: 050325019  
 Р/с: 40702810731280122096 в Восточно-Сибирском банке СБ РФ г. Красноярск.  
 Корр. счет: 3010181080000000627; БИК: 0404807627 ОГРН: 1022402465898  
 Тел. (391) 206 79 01, факс. (391) 206 79 02 E-mail: prod@kandk.ru http:// www.kolesa-kik.ru



УТВЕРЖДАЮ:

Генеральный директор ООО «КиК»

В.В. Мельников

02 » марта 2016г

Справка

о промышленном внедрении теплопроводящего разделительного  
 покрытия КПП110 для пресс-форм

В настоящее время в условиях литейного цеха ООО «КиК» применяются грунтовая краска DYCOTE DR87 и приводящая краска DYCOTE D39ESS фирмы «Foseco» (Англия).

ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет» в лице аспирантов А.А. Косовича и Е.Г. Партыко, доцента Т.Р. Гильманшиной предложили заменить серийно используемые покрытия DYCOTE DR87 и DYCOTE D39ESS одним теплопроводящим разделительным покрытием КПП110, изготовленным на основе диоксида титана и талька. В качестве связующего в покрытии использовано жидкое стекло.

Промышленное внедрение данного покрытия в условиях литейного цеха ООО «КиК» проводилось в течение апреля–мая 2015 года.

Покрытие КПП110 представляет собой концентрат белого цвета, который перед использованием разводится водой до заданной плотности.

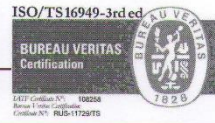
Покрытие обладает следующими свойствами:

- вязкость (по ВЗ-4) 10 с;
- седиментационная устойчивость (по ГОСТ 10722-78, через 3 ч после изготовления покрытия) – 72 %;
- приведенная прочность (по ГОСТ 10722-78) – 40290 г/мм покрытия.



**“К и К”**

**ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ**



660020, Россия, г. Красноярск, ул.Березина, 3  
 ИНН: 2465051731; КПП 246550001; ОКАТО: 04401374000; ОКОНХ: 14341, 12511; ОКПО: 050325019  
 Р/с: 40702810731280122096 в Восточно-Сибирском банке СБ РФ г. Красноярск.  
 Корр. счет: 30101810800000000627; БИК: 0404807627 ОГРН: 1022402465898  
 Тел. (391) 206 79 01, факс. (391) 206 79 02 E-mail: prod@kandk.ru http:// www.kolesa-kik.ru

Технология нанесения теплопроводящего разделительного покрытия не отличается от технологии нанесения импортных покрытий, применяемых до настоящего времени.

Толщина покрытия на пресс-форме составляет 35–40 мкм, что соответствует толщине импортных покрытий.

Внедрение разработанного покрытия позволило увеличить выход годного по литью для следующих моделей колес, %: КС635 – 1,53; КС673 – 4,11; КС684 – 10,35 по сравнению с серийно используемыми покрытиями.

Стоимость разработанного покрытия в три раза меньше стоимости импортного аналога.

Технический директор производства ПВР

А.А. Персиянов

Мастер участка подготовки пресс-форм

П.Ю. Барбицкий

## ПРИЛОЖЕНИЕ 6

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ  
Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»



660041, Россия, Красноярск, проспект Свободный, 79  
телефон (391) 244-82-13, факс (391) 244-86-25  
http://www.sfu-kras.ru e-mail: office@sfu-kras.ru

№ \_\_\_\_\_  
на № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

УТВЕРЖДАЮ  
Ректор ФГАОУ ВО  
«Сибирский федеральный университет»

« \_\_\_\_\_ »  
Е.А. Ваганов  
2016 г.



### АКТ ВНЕДРЕНИЯ В УЧЕБНЫЙ ПРОЦЕСС

Настоящим актом подтверждается, что разделительное покрытие для литейных пресс-форм согласно заявке на патент №2015120544/02(031821) от 29.05.2015 г., МПК В22С3/00, разработанное коллективом ученых в составе Косович А.А., Гильманшина Т.Р., Партыко Е.Г., Богданова Т.А., Барбицкий П.Ю., Лыткина С.И., Богданов А.Ю., Мельников С.В. внедрено в учебный процесс и применяется при обучении бакалавров по направлению 22.03.02 «Металлургия», профиль 22.03.02.04 «Литейное производство черных и цветных металлов», магистров по направлению 22.04.02 «Металлургия», магистерская программа 22.04.02.07 «Теория и технология литейного производства цветных металлов и сплавов», аспирантов по направлению 22.06.01 «Технологии материалов», профиль 05.16.04 «Литейное производство» и используется при проведении лекционных и лабораторных занятий по дисциплинам «Моделирование и оптимизация литейных технологий», «Управление качеством литейной продукции», «Формовочные материалы и смеси», что позволяет повысить эффективность обучения и проведения научно-исследовательских курсовых и диссертационных работ.

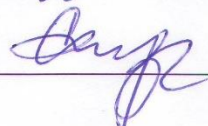
Директор института цветных металлов  
и материаловедения

 /В.Н. Баранов/

Зав. сектором учебно-организационного  
отдела института цветных металлов и  
материаловедения

 /О.Н. Ковтун/

Заведующий кафедрой  
«Литейное производство»

 /С.В. Беляев/

Исполнитель: Гильманшина Т.Р.  
Тел.: + 7 913 589 50 63  
e-mail: gtr1977@mail.ru