

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Политехнический институт
институт
Материаловедение и технология обработки материалов
Кафедра

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой
_____ Темных В.И.
подпись инициалы, фамилия

« _____ » _____ 2018 г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Исследование и совершенствование технологии изготовления сплава АК7
для автомобилестроения

22.04.01 Материаловедение и технологии материалов
код и наименование направление

22.04.01.02 Литье новых металлических материалов
код и наименование направление магистерской программы

Научный руководитель	_____ <u>доцент к.т.н.</u>	<u>Черепанов А.И.</u>
	подпись, дата должность, ученая степень	инициалы, фамилия
Выпускник	_____	<u>Ларионов В.А.</u>
	подпись, дата	инициалы, фамилия
Рецензент	_____	<u>Мусохранов Ю.М.</u>
	подпись, дата должность, ученая степень	инициалы, фамилия

Красноярск 2018 год

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Политехнический институт

институт

Материаловедение и технология обработки материалов

Кафедра

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

_____ Темных В.И.

подпись

инициалы, фамилия

ЗАДАНИЕ
НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ
в форме магистерской диссертации

Магистру Ларионову Вадиму Анатольевичу

Группа МТ 16-01М Направление (специальность) 22.04.01.

Материаловедение и технологии материалов

Тема выпускной квалификационной работы: «Исследование и совершенствование технологии приготовления сплава АК7 для автомобилестроения»

Утверждена приказом по университету № 16290/с от 22.11.16

Руководитель ВКР Черепанов А.И., доцент к.т.н

Исходные данные для ВКР информационный обзор, исследования на кафедре

Перечень разделов ВКР:

1. Литературный обзор.

2. Исходные материалы, экспериментальное оборудование и методы исследования.

3. Результаты опытов и их обсуждение.

Перечень графического материала.

Руководитель ВКР

подпись, дата

доцент, к.т.н. Черепанов А.И.

должность, ученая степень, инициалы, фамилия

Задание принял к исполнению

подпись, дата

Ларионов В.А.

инициалы, фамилия

Исследование и совершенствование технологии приготовления сплава АК7 для автомобилестроения

Содержание:

Автореферат (10 стр.)

Введение

Глава 1. Литературный обзор (до 25 стр.)

Глава 2. Исходные материалы и методика проведения эксперимента
(до 15 стр.)

Глава 3. Результаты опытов и их обсуждение (20–25 стр.)

Заключение

Список используемой литературы (7 стр.)

СОДЕРЖАНИЕ

Содержание.....	4
Реферат	7
Введение	8
1.Современные способы литья легкосплавных колес.....	9
1.1. Литье под низким давлением.....	9
1.2. Виды брака при литье колес.....	11
1.3. Алюминиевые сплавы для литья дисковых колес.....	14
1.4. Процессы рафинирования. Технологические параметры обработки аргоном.....	17
1.5. Процессы модифицирования, легирования сплавов. Особенности модифицирования силуминов.....	25
1.6 Управление качеством литых автомобильных колес путем изменения содержания водорода.....	28
1.6.1 Методы контроля расплава на содержание водорода.....	28
1.6.2 Процесс RPT.....	29
1.7 Выводы и постановка задач исследования.....	35
2. Методика эксперимента.....	36
2.1 Применяемое оборудование и технологии для получения и исследования сплава АК7.....	36
2.2 Оценка чистоты расплава.....	38
2.3. Термическая обработка дисков автомобильных колес.....	40
2.4. Научное оборудование и методика проведения исследований структур и свойств отливок.....	41
3. Исследование влияния методов обработки расплава на свойства сплава АК7.....	43
3.1. Исследование качества шихтовых материалов.....	43
3.1.1. Исследование чушкового сплава	43

3.1.2. Исследование лигатуры, применяемой для модифицирования...	48
3.2. Влияние обработки расплава препаратом Hydral 40 на индекс плотности.....	52
3.3. Исследование влияния термической обработки на структуру и механические свойства сплава АК7.....	57
3.4. Исследование влияния дегазации инертным газом и продувки микс-газом (Ar+H) на индекс плотности.....	63
4. Основные результаты и выводы.....	68
5. Список используемой литературы	70

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа «Исследование и совершенствование технологии приготовления сплава АК7 для автомобилестроения».

Цель магистерской диссертации: Исследование и совершенствование технологических операций приготовления сплава АК7 с целью снижения потерь от брака для получения конкурентной продукции.

Для достижения цели были сформулированы следующие задачи:

- выполнить анализ существующей литейной технологии, включая процесс рафинирования, модифицирования;
- предложить и экспериментально обосновать методы контроля загрязненности алюминиевого сплава АК7 водородом и оксидными пленками;
- выполнить экспериментальные исследования образцов, полученных при различной обработке расплава АК7, обеспечивающего стабильность физико-механических и эксплуатационных свойств автомобильных колес.

В заключении приводятся выводы по результатам работы над магистерской диссертацией.

Объем расчетно-пояснительной записки составляет 73 страницы. В них иллюстраций 65, таблиц 7, источников используемой литературы 43.

Ключевые слова: алюминиевый сплав, индекс плотности, кристаллизация отливки, модифицирование, рафинирование, диски автомобильных колес.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время транспортное машиностроение является одним из основных потребителей алюминия и его сплавов, так как использование этого металла и его сплавов существенно повышает эффективность транспортного средства. В алюминиевых сплавах возможно достичь сочетание значительных показателей эксплуатационных, механических свойств (предела прочности, пластичности, твердости, коррозионной стойкости и т.д.), высокой точности размеров с низкой плотностью.

В частности большое внимание уделяется производству литых колёс. Это связано с большими объёмами и стабильностью заказов. Возможность получения разного дизайна, высокой точности размеров, статических и динамических характеристик дает преимущество литых алюминиевых дисков перед стальными. Необходимо отметить, алюминиевые диски легче на 10 % – 20 %. Из-за высокой теплопроводности металла диски из алюминиевых сплавов имеют лучшее охлаждение тормозных механизмов. Прочная оксидная пленка Al_2O_3 , которая образуется на поверхности алюминия, способствует защите сплава от коррозионных процессов и как следствие от его разрушения.

В то же время крупные автопроизводители предъявляют повышенные требования к прочностным характеристикам легкосплавных дисков.

Проведенный анализ современных способов изготовления дисков автомобильных колес показал, что наиболее перспективным являются литье под низким давлением. Одними из достоинств этого способа является высокий коэффициент использования алюминиевых сплавов, что позволяет снизить себестоимость производства.

Одним из распространенных сплавов, который используется для получения легкосплавных дисков, является термоупрочняемый алюминиевый сплав, в частности из сплава АК7. Однако применение этого сплава для литья колес сопровождается некоторыми технологическими трудностями.

1. Современные способы литья легкосплавных колес

1.1. Литье под низким давлением

В настоящее время существует два основных способа изготовления литых дисков автомобильных колес. Первым способом изготавливают цельные литые диски, вторым – диски, состоящие из двух частей, сплавленных между собой. Одним из распространенных способов изготовления цельных литых дисков является литье под низким давлением[1]. Это один из наиболее производительных и экономичных процессов литейного производства. Применение способа ЛНД позволяет изготавливать качественные цельные литые диски с высокой производительностью и низкой трудоёмкостью[2–3].

На рисунке 1.1 приведены примеры различных конструкций цельных литых дисков, полученных этим способом.



Рисунок 1.1 – Различные формы узоров и конструкции автомобильных дисков [1]

Как видно из рис.11. автомобильные диски отличаются сложностью узора, формой, конструкцией, размерами. Вес дисков разный от 4 до 20 кг, что сильно влияет на технологию их получения и качество изготовления. Литые диски, полученные ЛНД, имеют низкий уровень остаточных напряжений и незначительное коробление.

Метод литья под низким давлением заключается в следующем: на зеркало металла создается давление менее 0,1 МПа, рабочая полость металлической пресс-формы заполняется жидким металлом. Под действием

избыточного давления происходит формирование отливки и ее кристаллизация. Для подъема жидкого металла и заполнения им пресс-формы избыточное давление. (рис.1.2).

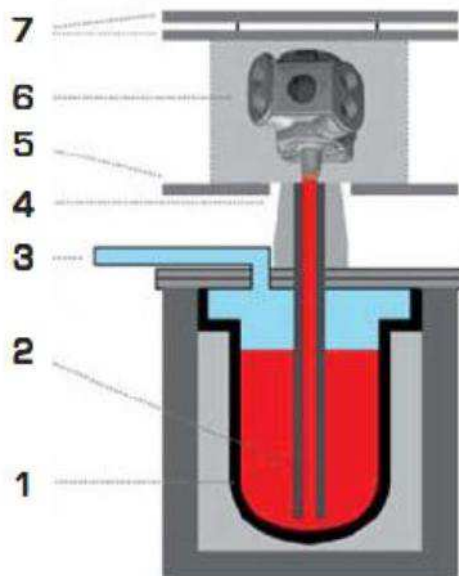


Рисунок 1.2 – Принципиальная схема ЛНД в кокиль [4]:1–печь с электронагревом; 2 – металлопровод; 3 –газообразная среда под давлением; 4 –проставка;5 –литейный стол; 6 –кокиль; 7 –подвижная прижимная плита

Литье под низким давлением имеет ряд преимуществ:

- регулировка скорости заполнения формы расплавом;
- регулировка времени заполнения отдельных участков формы отливок сложной конфигурации;
- управление процессом теплообмена междурасплавом и формой;
- возможность достижения рациональной последовательности затвердевания отдельных частей отливки [5];
- возможность получения готового изделия с минимальной шероховатостью и высокой точностью размеров;
- возможность получения высокой плотности отливок.

Однако необходимо отметить, что способ литья под низким давлением имеет ряд недостатков:

- невысокая стойкость части металлопровода, из-за постоянного нахождения в расплаве;
- сложность регулирования скорости потока расплава в форме из-за быстроты операций и динамических процессов;
- возможность изменения свойств жидкого металла вследствие длительной выдержке его в печи.

1.2. Виды брака при литье колес

Производство литых алюминиевых дисков направлено на сокращение брака и поддержание высокого потребительского спроса. В настоящее время существует стандарты качества, определяющие 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. Литые алюминиевые диски должны соответствовать требованиям, предъявляемые к внешнему виду, размерам, физико-механическим, эксплуатационным свойствам др. Однако отклонения в составе шихты, технологии приготовления жидкого металла, режимах литья приводят к возникновению различных дефектов. Ниже приведены несколько примеров дефектов, которые встречаются на производстве.

1. Отслоение металла происходит вследствие отсутствия огнеупорного покрытия и турбулентного заполнения пресс-формы (рис.1.3). Для устранения этого дефекта необходимо произвести покраску формообразующих, чистку металлоподающей трубы, корректировку параметров заполнения пресс-формы.

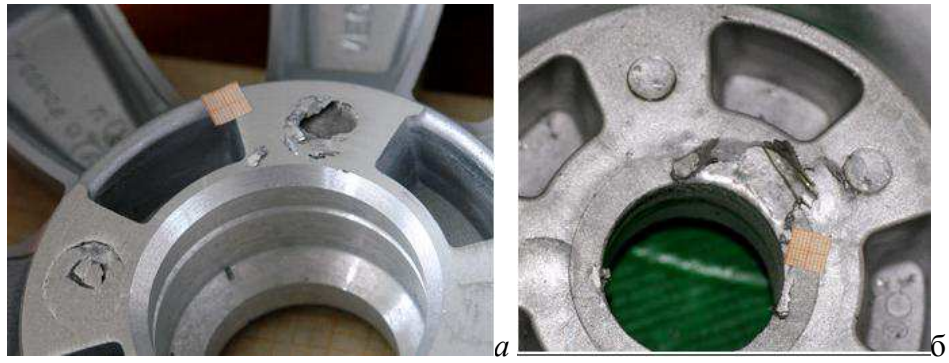


Рисунок 1.3 – Дефект – отслоение металла, б

2. Поверхностные трещины образуются в результате возникновения напряжений между твердым и твердожидким состоянием металла при кристаллизации расплава, а также при усадке металла (рис.1.4). Для устранения этого дефекта необходима правильная корректировка параметров литья, проверить наличие огнеупорного покрытия на матрице, при необходимости покрасить пресс-форму.

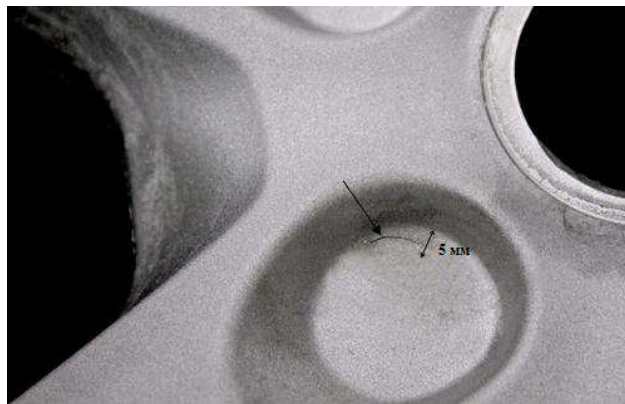


Рисунок 1.4 – Поверхностные трещины

3. Вырывы в ступичной части возникают из-за налипания металла на литниковую втулку (рис. 1.5). Дефект устраняется очисткой литниковой втулки и повторной покраски.



Рисунок 1.5 – Вырывы в ступичной части

4. Вырывы в зоне смыкания пуансон – матрица появляются в результате налипания металла в зоне смыкания пуансон – матрица, на замках вследствие износа пресс-формы в зонах смыкания (рис.1.6). Меры устранения или предупреждения: произвести чистку налипшего металла; выполнить подкраску зоны чистки налипшего металла.



Рисунок 1.6 – Вырывы в зоне смыкания пуансон–матрица

5. Пористость – газовые включения различных размеров на поверхности или под поверхностью отливки. Газовые включения, которые находятся под поверхностью отливки, выявляются только после механической обработки и окраски алюминиевого диска, что сильно увеличивает издержки предприятия (рис. 1.7). Меры предупреждения: использование покрытий с оптимальным соотношением наполнителя со связующим, подборка достаточной степени их разбавления, правильный выбор метода нанесения покрытия[6,7].



аппп

Рисунок 1.7 – Пористость на лицевой поверхности алюминиевого диска автомобильного колеса

1.3. Алюминиевые сплавы для литья дисковых колес

В настоящее время в автомобильной промышленности все чаще используют сплавы алюминия с кремнием, магнием, марганцем и др. Эти сплавы имеют малый вес, высокие показатели прочности, теплопроводности, коррозионную стойкость [8] по сравнению со сталью.

Наиболее распространенные сплавы, применяемые для изготовления литых дисков автомобильных колес, – это силумины систем Al-Si и Al-Si-Mg (АК12, АК9 и АК7), либо их европейские аналоги AlSi11, AlSi10Mg и AlSi7Mg соответственно. В нашей стране большое применение получили сплавы АК12, АК7.

Эти сплавы имеют оптимальное сочетание литейных свойств:

- высокую жидкотекучесть;
- хорошее заполнение формы;
- высокую герметичность;
- отсутствие горячих трещин;
- возможность изготовления фасонных отливок сложной формы.

Структура данных сплавов состоит из эвтектики (Al)+(Si) и первичных кристаллов (Al), что способствует малому интервалу

кристаллизации, высоким показателям литейных свойств и герметичности силуминов.

Сплав АК12. Это сплав, который относится к двухкомпонентной системе Al-Si. Кремний является легирующим элементом в сплаве, основная структурная составляющая – это алюминиево-кремниевая эвтектика. Ввиду того что интервал концентрации кремния в сплаве составляет 10 – 13 %, структура АК12 состоит из первичных дендритов (алюминий) и первичных кристаллов кремния в виде компактных полиэдров. Как известно, при повышении концентрации кремния, доля эвтектики $\alpha(\text{Al})+\text{Si}$ увеличивается, что способствует повышению литейных свойств, прочности и снижению пластичности сплава[9].

Сплав используют в авиастроении, вагоностроении, автомобилестроении, строительстве сельскохозяйственных машин. Данный сплав применяется для изготовления деталей, имеющих невысокую прочность, хорошую коррозионную стойкость, работающих в интервале температур от -70 до $+50$ °С (картеры, детали колес, корпуса и детали приборов).

Сплав АК7. Данная работа посвящена исследованию сплава АК7. Содержание кремния составляет 6,5–7,5 %. Вследствие узкого интервала кристаллизации из-за наличия нижнего предела концентрации кремния литейные свойства сплава достаточно хорошие, однако ниже чем у сплава АК12. Известно, что при увеличении содержания кремния температура ликвидуса понижается, уменьшается интервал кристаллизации, что благоприятно влияет на литейные свойства.

Этот сплав имеет ряд технологических преимуществ. АК7 имеет высокие литейные свойства: хорошая жидкотекучесть, низкая склонность к образованию горячих трещин. Легирование магнием и последующая термическая обработка способствует увеличению механических свойств, особенно прочностных. Все эти факторы позволяют применять данный сплав

для изготовления конструкций более ответственного назначения, таким образом расширяется спектр его применения.

Литая структура сплава АК7 в не модифицированном состоянии состоит в основном из α -твердого раствора и игольчатой эвтектики (α +Si). При добавлении поверхностно-активных металлов Na, Sr, Sb происходит измельчение и ветвление эвтектических колоний [10, 11]. Используя опыт зарубежных автозаводов, рекомендуется вводить стронций в количестве 0,01–0,05% по массе для полного модифицирования эвтектики.

Однако увеличение прочности и пластичности сплава, к которому применялась термообработка по режиму T5, происходит при содержании в сплаве стронция – 0,01 % [10]. К тому же при исследовании изломов образцов, содержащих стронция более 0,09%, наблюдается характерный блеск. Это говорит о том, что в сплаве появляются новые фазы, обнаруживаемые микрорентгеноспектральным зондированием. Эти фазы содержат повышенные количества Sr, либо Sr+Si и являются соединениями SrAl_4 и SrAl_2Si_2 . Кристаллизация модифицированных силуминов происходит по объемно-последовательному механизму [11]. Этот механизм заключается в том, что часть расплава кристаллизуется последовательно от стенки формы, а другая основная часть сплава кристаллизуется с переохлаждением. В результате такого процесса кристаллизации происходит подавление центров кристаллизации эвтектических колоний. При нейтрализации центров кристаллизации стронцием эвтектические колонии растут в форме сферолитов. Эти колонии иногда достигают до 10 мм в диаметре, при этом образуя изолированные поры, которые появляются при их смыкании. Эти поры не пропитываются остатками жидкого расплава. Процесс «массового питания» прекращается раньше, а «интеркристаллитное питание» не в состоянии их залечить.

При применении термической обработки наблюдается значительное упрочнение сплава AlSi7. Вследствие того, что при нагреве под закалку образуются пересыщенные твердые растворы магния и кремния в

алюминии. При последующем охлаждении и старении эти твердые растворы распадаются с выделением мелкодисперсных частиц фаз Mg_2Si [12]. Использование гомогенизационного отжига позволяет выровнять химический состав при неравновесной кристаллизации. Известно, что в процессе гомогенизационного отжига деформируемых сплавов происходит трансформация и сфероидизация кремний и железо содержащих фаз [13].

В условиях кратковременной выдержки при температуре под закалку $540^{\circ}C$ происходит механизм сфероидизации эвтектического кремния, о чем свидетельствуют проведенные испытания образцов алюминиевого сплава [14]. При нагреве под закалку происходит формирование состояния сплава с более низкой поверхностной энергией. В результате чего наблюдается потеря острогранности эвтектического кремния. Происходит растворение и закругление граней и выступов пластин или грубых волокон. Однако, протяженность пластин эвтектического кремния остается неизменной. Результаты испытаний на одноосное растяжение показывают увеличение прочностных свойств. Поэтому для достижения необходимой дисперсности эвтектического кремния необходима высокая скорость охлаждения расплава [14].

1.4. Процессы рафинирования. Технологические параметры обработки аргоном

Вследствие высокой химической активности алюминия и легирующих элементов получение чистых отливок в литейном производстве практически невозможно. В отливках всегда присутствуют неметаллические включения (оксиды, карбиды, нитриды, сульфиды, газ, шлаковые и флюсовые включения и т.д.) [15].

Расплавы – это сложные неоднородные системы, в которых присутствуют металлические примеси, нерастворимые включения и растворенный газ. Такие расплавы необходимо очистить перед

использованием для изготовления отливок[15]. Для этого используют рафинирование.

Рафинирование алюминия и его сплавов – это технологический процесс, который применяется на литейных предприятиях с целью очищения от неметаллических включений и вредных примесей [16, 17].

Этот процесс обязателен, так как в шихте присутствуют низкосортные материалы, ввиду того что первичные очень дорогие.

В настоящее время существуют множество методов рафинирования:

- рафинирование хлористыми солями;
- продувка нейтральным газом;
- продувка хлором и фильтрация.

Рафинирование алюминия и его сплавов включает дегазацию и очистку жидких металлов от неметаллических включений. Выбор способа очистки или их комбинаций зависит от:

- специфичности взаимодействия отдельных сплавов с газами и оксидами;
- разнообразие требований к степени чистоты металла;
- различия в эффективности методов.

Воздействие на жидкий металл при рафинировании бывает двух видов: неадсорбционный и адсорбционный.

Неадсорбционный способ воздействия включает отстаивание, вакуумирование, обработка ультразвуком, обработка постоянным током и др. При таком методе рафинирования удаление оксидных включений, водорода происходит вследствие воздействия на всю массу расплава.

Адсорбционные методы рафинирования – это фильтрование, обработка флюсами, нейтральными или активными газами или летучими галогенидами. Соприкосновение расплава с рафинирующими средствами позволяют удалять оксидные включения, газы из жидкого металла [18].

Ввиду того что существуют различия в характеристиках рафинирующих средах способы рафинирования делятся на пять основных групп [19].

Отстаивание – это процесс, заключающийся в всплывании или осаждения включений при выдержке жидкого металла без перемешивания, ввиду разницы плотностей металла и неметаллических включений [18, 20].

Скорость осаждения неметаллических включений на дно миксера зависит от газосодержания жидкого металла. Чем больше газосодержание, скорость осаждения меньше [20].

Отстаивание применяют совместно с обработкой жидкого металла флюсами или продувкой газами. Если неметаллические включения имеют достаточно большой размер и удалены друг от друга, то можно применять одно отстаивание. Однако этот процесс малоэффективен, вследствие того что скорость прохождения его низкая, расход топлива повышенный, и оседание грубых включений замедляется адсорбированным на их поверхности водородом.

Недостатки этого способа:

- возможность последующего загрязнения расплава при переливе;
- длительное отстаивание (свыше 60 мин);
- укрупнение структуры;
- рост интерметаллических соединений;
- уменьшение производительности плавильно-литейных агрегатов.

Вакуумная обработка расплава – это процесс дегазации при вакуумировании, который заключается в снижении общего давления над расплавом, в результате чего происходит выделение растворенного водорода. Водород выделяется не только через зеркало расплава, но и в объеме жидкого металла в виде пузырьков [18].

При понижении внешнего давления над жидким металлом происходит диффузия растворенного газа в сторону свободной поверхности, возникновение и рост газовых пузырей.

Эффект дегазации зависит от:

- времени прохождения вакуумирования;
- удельной величины свободной поверхности;
- глубины ванны металла;
- плотности оксидной пленки на поверхности жидкого металла;
- температуры расплава.

Дегазация способствует частичной очистке от твердых включений. Из алюминиевых сплавов таким образом можно удалить цинк, магний. Причем чем выше газосодержание расплава [18, 20, 21], тем выше эффект очистки. Для снижения содержания натрия в алюминиевых сплавах применяют динамическое вакуумирование[20]

Ультразвуковая обработка – это обработка жидкого металла ультразвуком, в результате чего происходит разрыв сплошности жидкой фазы с образованием пустот, в которые диффундирует водород. Ультразвук способствует ускорению процесса дегазации, объединяя микропустоты и образуя пузырьки. Пузырьки поднимаются к поверхности жидкого металла, и происходит выход водорода [18, 22, 23].

Рафинирование флюсами – это процесс очистки от неметаллических включений путем извлечения из жидкого металла за счет адсорбции, растворением или химическим взаимодействием с расплавленными солями. Флюсы смачивают неметаллические включения, при этом происходит увеличение их размеров. Включения осаждаются или всплывают с большей скоростью. В результате диссоциации составляющих флюса, которые способствуют флотирующему действию, часть включений удаляется пузырьками пара.

Для рафинирования алюминиевых сплавов применяют флюсы – смесь галоидных солей щелочных и щелочно-земельных металлов [23–27].

Рафинирование расплавов хлористыми солями – это способ очистки жидкого металла, основанный на термической диссоциации и способности вступать в обменные реакции этих солей с компонентами сплава.

Для рафинирования алюминиевых сплавов применяют хлористый цинк, хлористый марганец, гексахлорэтан, хлористый бор, четыреххлористый титан и ряд других хлоридов. Перед рафинированием соли сушат или переплавляют, так как они гигроскопичны. Количество вводимых хлоридов выбирают в зависимости от степени загрязненности жидкого металла и составляет 0,05–0,5 % от массы расплава. При введении достаточно большого количества может произойти загрязнение жидкого металла примесями [19, 28–31]. Этот способ рафинирования простой в реализации и недорогой. Однако недостатком является, невозможность применения этого способа для больших емкостей.

Таблетированные препараты применяют для рафинирования алюминиевых сплавов. Эти препараты обеспечивают глубокое объемное рафинирование и измельчение структуры алюминиевых сплавов.

Фильтрация – это способ очистки расплава от включений путем пропускания его через фильтры. Фильтры изготавливают из стеклосетки, из пенокерамики, насыпные и керамические трубчатые [32].

Продувка расплава инертными газами. Так как рафинирование – это очистка расплава от газов, неметаллических включений и примесей [33], одним из способов является продувка расплава инертными газами, которая осуществляется при реализации двух процессов [20]:

- удаление водорода путём диффузии его в пузырьки инертного газа;
- удаление неметаллических включений за счёт адсорбирующего действия на них пузырьков продуваемого газа.

В основе метода продувки жидкого расплава лежат процессы физического взаимодействия на поверхности раздела пузырек нейтрального газа – жидкий сплав.

Известно, газ распространяется в объеме другого газа, как в вакууме по закону Дальтона. За счет разницы парциальных давлений газ, растворенный в металле, будет диффундировать в пузырек газа-очистителя. По мере выравнивания парциальных давлений скорость процесса будет постепенно

затухать. Пузырек по мере всплывания на поверхность ванны будет насыщаться газом из раствора. Вместе с пузырьками газа будут извлекаться из металла неметаллические включения. Это происходит за счет высокого поверхностного натяжения на границе раздела газ-металл.

На поверхности ванны газ-очиститель и газ, перешедший в него из расплава, удаляются в атмосферу. По мере вовлечения в процесс продувки новых порций газа будет происходить освобождение жидкого сплава от растворенных газов и неметаллических включений[34].

Присутствие в атмосфере газов: водорода, кислорода, азота и др., влаги окружающей среды (H_2O), в шихтовых материалах оксидов (Al_2O_3) все эти элементы загрязняют алюминиевый расплав.

Аргон является одним из наиболее распространенным инертным газом в производстве алюминиевых литых дисков. Этот газ недефицитен, нетоксичен и невзрывоопасен, сравнительно дешев и может быть получен в любых количествах. Аргон тяжелее воздуха и может накапливаться в слабопрветриваемых помещениях у пола, в подвалах, снижая при этом содержание кислорода. Поэтому необходимо проводить вентиляцию помещения[19, 35].

Оксидная пленка Al_2O_3 образуется на поверхности расплава из-за быстрой окисляемости алюминия на воздухе. Так как наличие магнитного поля способствует воздействию на расплав, оксидная пленка разрывается при его действии и замешивается вглубь, тем самым загрязняя расплав.

Алюминий взаимодействует с влагой атмосферы (H_2O) при высокой температуре. Температура расплава диссоциирует влагу на H_2 и O , тем самым взаимодействуя с алюминием. Взвесь Al_2O_3 образуется из-за соединения кислорода с алюминием. Водород находится в расплаве в атомарном состоянии, а при кристаллизации находится в отливках в виде пор. Также взвеси и пленки Al_2O_3 являются очень гигроскопичными, интенсивно поглощая водород в расплаве. Наблюдаем, что с увеличением температуры

увеличивается активность взаимодействия жидкого металла с окружающей средой.

Так как стружка имеет малые размеры, то удельная поверхность, состоящая из оксидных плен, будет большой. Такая удельная поверхность способствует интенсивному загрязнению расплава Al_2O_3 . Применение стружки в качестве шихты, из-за высокой стоимости первичных материалов является причиной загрязненности жидкого металла[36].

Присутствие этих неметаллических включений негативно сказывается на готовое изделие. Происходит снижение прочностных и эксплуатационных характеристик. Значительное количество этих включений (взвеси и пленки) снижают жидкотекучесть, а это приводит к неконтролируемости литейных процессов. Для удаления всех нежелательных примесей используют на производстве множество методов, в частности применение продувки жидкого металла инертными газами (Ar).

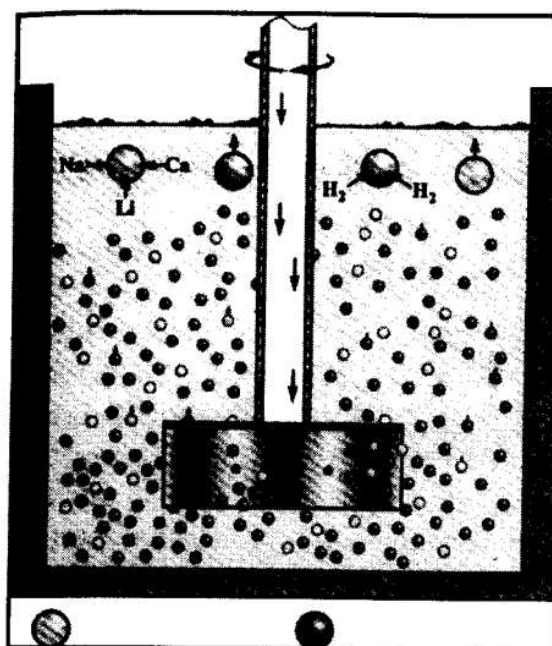


Рисунок 1.8 – Схема газовой флотации

Специальный графитовый ротор доставляет аргон в жидкий металл (рис.1.8). Фракция газа при этом должна соответствовать размерам неметаллических включений, которые присутствуют в расплаве. Иначе

применение аргона бессмысленно. Изначально ротор измельчает фракцию газа до определенных размеров, что позволяет его конструкция. Под давлением происходит «зацепление» мелкими частицами аргона взвеси Al_2O_3 , при этом молекулярный водород и другие неметаллические включения, выталкиваются на поверхность жидкого металла. На поверхности расплава происходит активное взаимодействие всех оксидов с флюсом. Алюминий восстанавливается из оксидов под действием флюса. За счет «осушивания» шлака не происходит особых потерь объема жидкого алюминия. Такая процедура повышает качество приготовленного жидкого металла, а значит повышает качество отливок. Необходимо при этом, чтобы продуваемый газ был без наличия дополнительных примесей и высокой влажности. Так как расход аргона зависит от парциального давления пузырьков газа в жидком металле, плотности взвесей и плен, то его значение должно быть примерно в одних пределах.

Индекс плотности является косвенной характеристикой, позволяющей оценить наличие газонасыщенности расплава (рис. 1.9).



Рисунок 1.9 – Сечение проб на индекс плотности. а – проба затвердевшая в вакууме (низкое давление); б – проба затвердевшая при атмосферном давлении

Если показатель индекса плотности высокий, то расплав характеризуется высоким газосодержанием, и наоборот. Гидростатический метод позволяет определить индекс плотности образцов (рис. 1.10).

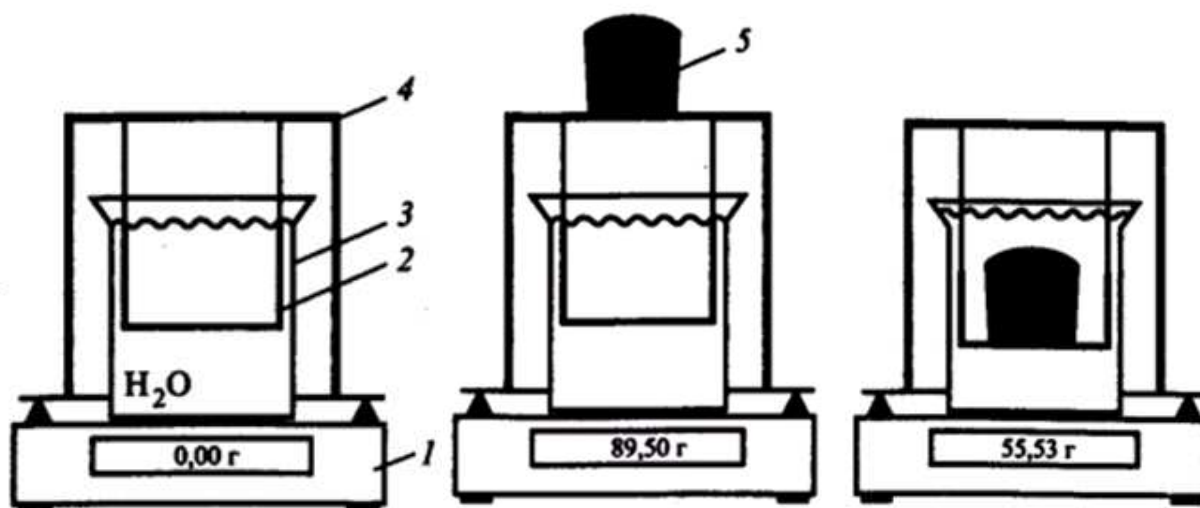


Рисунок 1.10 – Определение плотности гидростатическим методом.

1.5. Процессы модифицирования, легирования сплавов.

Особенности модифицирования силуминов.

Для повышения механических и эксплуатационных свойств алюминий сплавляют с различными химическими элементами. Легирование – это процесс ввода добавляемого металла в основной (жидкий) металл, и дальнейшее их сплавление. Одним из основных легирующим элементом в силуминах является кремний. Сплав алюминий с кремнием обеспечивает хорошие литейные свойства (высокая жидкотекучесть, низкая усадка, малая склонность к горячим трещинам и т.д.). Магний, медь, цинк, марганец, бериллий и др. – легирующие элементы, которые также добавляют в алюминий, образуя системы типа Al-Si-Mg, Al-Si-Cu и т.п. Упрочнение сплавов происходит в результате выделения при этом упрочняющих фаз, и в результате упрочнения основного твердого раствора.

Для повышения прочностных характеристик алюминиевого сплава легируют в малых количествах магнием (Mg). При кристаллизации происходит растворение магния в твердом растворе. После термической обработки (закалка+старение) наблюдается выделение его в виде упрочняющей фазы Mg_2Si . Для упрочнения сплава добавляют медь (Cu), который образует упрочняющие фазы Al_2CuMg , $CuAl_2$. Цинк (Zn) вводится для упрочнения твердого раствора алюминия. Для устранения вредного влияния железа в сплаве, добавляют марганец (Mn) и бериллий (Be). В результате происходит изменение формы железистых фаз, из иглообразных в иероглифовидные фазы. Известно, бериллий токсичный металл, поэтому его практически не используют.

Легирующие элементы изменяют химический состав сплава, и изменяется его маркировка. Для повышения прочностных свойств одного легирования сплава недостаточно, так как невозможно контролировать структурные составляющие. Для этой цели дополнительно применяют модифицирование.

Легирование и модифицирование сплава это две самостоятельные технологические операции, применяемые в литейном производстве. При легировании необходимо растворить в жидком алюминии вводимые элементы, а при модифицировании элементы необходимо связать в тугоплавкие соединения. Наряду с лигатурами для легирования применяют лигатуры для модифицирования сплава, тем самым получая эффект измельчения зерна [15].

Как известно, модифицирование сплавов – это изменение структурных составляющих с целью повышения прочностных свойств. Сплавы модифицируют с помощью лигатур. Лигатуры – это промежуточный сплав, содержащий в большом количестве легирующий металл. Вследствие малой скорости растворения тугоплавких компонентов в чистом виде в жидком алюминиевом расплаве, повышения степени усвоения легкоокисляющихся легирующих элементов – все это доказывает применение лигатур. У

лигатуры одним из важных свойств считается более низкая температура плавления. Поэтому алюминиевые сплавы не нагревают до высокой температуры, что способствует уменьшению угара основного и легирующего металла.

Модифицирование алюминиевых сплавов, в частности силуминов, способствует не только модифицирование эвтектики Al-Si и первичных кристаллов кремния, но и первично кристаллизующиеся зерна твердого раствора α (Al)[37].

Раньше применяли модифицирование силуминов натрием, так при введении 0,01 % Na в силумин происходит измельчение кристаллов эвтектического кремния, что способствовало повышению механических свойств сплавов. В последние годы модифицируют добавками Sr, который так же как и Na, влияет на кристаллизацию расплава, но при этом вводить его в расплав более удобно.

Сплавы системы Al-Si, Al-Si-Mg модифицируют лигатурами $AlTi_5B_1$ и AlSr10. Тройную лигатуру системы Al-Ti-B вводят в алюминиевый расплав с целью измельчения макрозерна сплава. Тугоплавкие частицы Al_3Ti и TiB_2 , которые присутствуют в лигатуре, соответствуют параметрам кристаллической решетки алюминия (модифицируемого сплава). Эти частицы не растворяются в жидком металле. Частицы Al_3Ti и TiB_2 располагаются по всему объему расплава, так как они не растворяются, а происходит растворение основного металла. Поэтому эти частицы можно считать дополнительными центрами кристаллизации, которые обеспечивают одновременное зарождение кристаллов.

Прутковая лигатура AlSr10 получила наибольшее применение при производстве дисков автомобильных колес. Вводят ее в расплав для изменения структуры эвтектики. При этом полностью растворяется основной (Al), а легирующий металл (Sr) взаимодействует, с присутствующим в сплаве Si. Таким образом, происходит изменение формы эвтектики из грубой иглообразной формы в сферическую. Как известно, по данным

[39]длительность сохранения модифицирующего эффекта стронция, составляет от 2 до 6 часов. Отмечено, сохранение модифицирующего эффекта при повторном переплаве [40].

Такое комплексное модифицирование позволяет изменить структуру сплава, а значит способствует повышению прочностных и эксплуатационных характеристик алюминиевых сплавов(AlSi7 и AlSi11).

1.6 Управление качеством литых автомобильных колес путем изменения содержания водорода.

1.6.1 Методы контроля расплава на содержание водорода

Ввиду того что литые автомобильные диски колес – это отливки ответственного назначения, то они должны соответствовать всем требованиям, предъявляемые к отливкам такого назначения. Качество чистки металла имеет немаловажное значение для получения фасонных отливок, отвечающим стандартам производства. Содержание водорода, неметаллических включений напрямую влияет на получение качественных отливок.

Существует несколько способов оценки уровня водорода: *RPT*, поиск первого пузырька при кристаллизации пробы, измерение удельного веса кристаллизованной пробы, использование окрашивающих пенетрантов и т.д. Методы включают испытания прямого измерения, извлекаемые пробы, метод первого пузырька и подплавление, рециркуляционный газ.

Рециркуляционный газ. Метод, при котором содержание водорода определяется измерением теплопроводности смеси двух газов (водорода и азота). Азот рециркулируется через расплав алюминиевого сплава, захватывается водород до тех пор, пока его концентрация не придет в равновесие с расплавом. Измерение более точное, однако по сравнению с *RPT* дорогостоящее.

Метод первого пузырька. При использовании этого метода небольшую пробу расплава помещают в вакуумную камеру, при этом понижают давление до тех пор, пока первый газовый пузырек не выйдет на поверхность пробы. Температура и давление отмечают в этой точке и рассчитывается содержание водорода. Однако этот метод имеет ряд недостатков: высокая стоимость, сложность, перекося результатов из-за инокуляции газовых пузырьков вследствие загрязнения включениями, неточные показания из-за низкой концентрации газа.

Подплавление и вакуумное плавление. Лабораторная методика обеспечивает точный анализ водорода. В том и другом случае водород извлекается под вакуумом пробы, которая охлаждается быстро. При таком охлаждении водород вовлекается в твердую фазу без образования поверхностной пористости. При использовании метода подплавления проба нагревается примерно на 50 °С ниже температуры плавления, при вакуумном плавлении проба расплавляется. Для измерения водорода из твердой пробы требуется несколько часов, а для расплавленной пробы 10-15 мин. Необходимо ограничивать загрязнение водородом поверхности пробы при ее приготовлении.

1.6.2 Процесс RPT

RPT – это метод, позволяющий определить и измерить количество водорода, который присутствует в сплаве. Метод вакуумного анализа водородной пористости – это быстрый, недорогой и эффективный метод. В настоящее время наиболее часто используется в литейных производствах. В результате того, что испытательное оборудование недорогое, надежное и практичное, то некоторые литейные производства изготавливают свою собственную RPT аппаратуру. Аппаратура выдерживает самые критичные условия среды литейного производства. Результаты определения водородной пористости удовлетворительно коррелируют с фактическим качеством литья. Этот тест очень полезен для алюминиевого производства, а точность RPT определяется целостностью конкретных рабочих процедур.

Проба расплавленного металла охлаждается под вакуумом (обычно в интервале 1–100 ммНг). Применение вакуума способствует образованию пор и газовых пузырей. При кристаллизации жидкого металла наблюдается повышенное содержание пор, так как изначально расплав насыщен газом. При визуальном осмотре пробы, можно оценить содержание водорода в расплавленном металле. Если наблюдается вздутая или выпуклая поверхность, то металл имеет высокое содержание газа. При опавшей поверхности или усадке – низкое содержание газа. Для выявления внутренней грубой пористости пробы разрезаются и шлифуются.

Если при использовании метода RPT выявлено, что содержание водорода $\leq 0,15 \text{ см}^3/100 \text{ г}$, то сплав в целом свободен от газа. В результате высокой растворимости водорода в алюминии, могут образовываться дефекты литья, которые способствуют понижению предела прочности и относительного удлинения. Присутствие водорода в сплаве приводит к образованию пузырей, пор, которые снижают коррозионную стойкость, механические свойства литого металла.

При непрерывной диссоциации водяного пара, присутствующего в атмосфере, на литейной оснастке, в шихтовых и огнеупорных материалах, везде «встречается» водород. При плавлении, переливе, заливке и других операциях обработки, происходит поглощение водорода жидким металлом., что приводит к понижению полезных свойств отливки. При склонности алюминия содержать водород в растворе, происходят попытки избавиться от него после перелива и затвердевания расплавленного металла. Тем самым, остаются пустоты или поры, которые способствуют снижению свойств окончательной отливки. К тому же наблюдается ухудшение качества поверхности при механической обработке или полировке деталей.

Количественный RPT. Метод, включающий отбор пробы от расплава, помещение его в сосуд внутри вакуумной камеры и быстрое снижение давления. При кристаллизации жидкого металла происходит выталкивание водорода из металла при увеличении давления внутри камеры. Через

определенное время (обычно 5 мин) считается суммарное давление, и содержание водорода в металле рассчитывается с помощью компьютера, который запрограммирован на шкалу значений оптимального содержания водорода. Однако использование этого метода не позволяет более точно определить содержание водорода в расплавах с низким газосодержанием. Этот метод механически сложен и требует повторной калибровки для обнаружения и измерения малых количеств водорода. Прибор к тому же дорогостоящий.

Проблемные области. При успешном использовании в производстве существует три фактора, влияющие на результаты RPT, включают в себя измерение вакуума, снижение давления и кристаллизацию. Для обеспечения постоянства необходима частая калибровка вакуумной системы (вакуумметр, регулятор, выпускной клапан и насос). Определение как можно большего количества констант, позволяет устранить ошибки оператора. А это напрямую влияет на точность испытания. Для ограничения возможностей ошибок испытания при плавке переменные должны быть как можно более постоянными. К таким переменным относятся: вакуум запуска, положительная изоляция камеры, точность пробы, время кристаллизации.

При снижении давления водород пытается сопротивляться образующемуся вакууму. Вследствие чего происходит выделение водорода из металла, который пытается заполнить вакуум. Этот процесс схож с процессом, происходящим при открывании банки с газированным напитком.

Применяя RPT, по мере кристаллизации расплава происходит выделение некоторого количества водорода из металла, а некоторое количество зарождается вокруг включений и захватывается, образуя форму внутренних пор. Очень важно время прохождения от жидкой до твердой фазы, именно в этот момент захватывается пузырек и проявляется в виде поры. При кристаллизации расплава водород выталкивается сначала в жидкие фазы, а затем в атмосферу. На RPT тест влияют газовые пузырьки, которые проявляются в пробе, а не пузырьки, которые выходят.

Другой важной переменной испытаний является процесс кристаллизации при наличии включений и выделения водорода. Этот процесс сложный и недостаточно хорошо понятен. Однако стабильное регулирование давления и интерпретация пробы очень важна для сходимости RPT.

Испытания показали, что в пробе чистого алюминия жидкая фаза содержит примерно в 18 раз больше водорода, чем твердая фаза металла, после кристаллизации. Происходит развитие градиента между двумя фазами в процессе кристаллизации. В результате чего кристаллизующийся металл насыщается водородом до точки, при которой условия растворимости больше не являются удовлетворительными. При снижении давления водород выделяется и проявляется в виде пор в металле.

Методика, аппаратура RPT. Основные элементы аппаратуры RPT: вакуумная камера, тигель (чаша для пробы), основание камеры, вакуумметр, регулятор вакуума, выпускной клапан и вакуумный насос. Ключевые элементы, которые обеспечивают постоянную величину сниженного давления в камере от пробы к пробе: вакуумметр, регулятор.

Путем погружения наружного диаметра чаши в жидкий металл происходит нагрев чаши до температуры расплава. После снятия шлака с жидкого металла происходит заполнение тигля. При этом во избежание турбулентности, которая способствует повышению содержания водорода и включений, а следовательно и к искажению результатов испытания, заполнение тигля необходимо проводить очень осторожно.

Для минимизации потери температуры до начала испытания пробу быстро переносят в вакуумную камеру. Вакуум вытягивается (до абсолютного давления 1–100 ммНг) и проба кристаллизуется. Измеряется плотность или рассеяние. Оценивается процесс. Все соответствующие стадии RPT тщательно регистрируются на графике и проверяются.

Критерии испытания. При отборе проб в повторяющейся последовательности, которая устраняет или сокращает переменные

показатели, метод RPT наиболее эффективен. Для многих алюминиевых сплавов используются одни и те же стандарты испытания. Критерии испытания могут меняться, однако процедуры испытаний остаются неизменными.

В результате того, что давление имеет основное влияние на образование пузырьков и миграцию газа, вакуум имеет важное значение. Вакуум должен быть постоянным от пробы к пробе и вытягиваться в наиболее короткое время.

На чувствительность RPT влияют показатели значения вакуума. Чем меньше эти показатели, тем больше чувствительность и наоборот. Однако высокие показатели приводят к возможности дегазации пробы. Однако при слишком низких показателях проба кристаллизуется в течение длительного времени. При испытании первого пузыря желателен высокий вакуум (2 ммHg). При испытании с рассечением наиболее подходит низкий вакуум (50 ммHg). Для точности измерений рекомендуется применять абсолютное давление, чем атмосферное давление, так как атмосферное зависит от погодных условий.

Отбор проб производят таким образом, чтобы как можно меньше были потери температуры между расплавом и началом испытания. Высокая температура пробы оказывает влияние на явный уровень водорода, выводимый из RPT. При отборе проб стараются исключить турбулентность, которая вызывается физическим воздействием перелива в чашу.

Размер пробы также влияет на результаты испытаний. Чем больше размер пробы, тем чувствительность выше, однако точность определяется с затруднениями.

Основная переменная RPT – это скорость кристаллизации, которая связана с другими переменными (температура расплава, теплопроводность основания, на котором размещается чаша, размер пробы).

На распределение водорода и период, который необходим для сплава между температурами жидкой и твердой фазы влияет скорость

кристаллизации. При изоляции тигля с пробой на изолированном основании не происходит быстрого остывания пробы. При слишком медленном остывании пробы может происходить дегазация, что влияет на результаты испытания водорода.

В случае наличия вибрации или перемешивания, необходимо, чтобы скорость вибрации была минимальной и постоянной при испытаниях.

На скорость кристаллизации особое влияние оказывают легирующие элементы, которые находятся в сплаве. Легирующие элементы (Ca, Na), искажают водородную пористость, так как они улетучиваются, тем самым образуя «карманы» собственных газов. Si, Zn, Mn, Cu уменьшают растворимость водорода, Mg, Ti, Ni, Li повышают растворимость водорода в алюминии. Неметаллические включения, присутствующие в сплаве влияют на результаты испытаний.

При проведении испытаний происходит как качественная, так и полуколичественная оценки. Качественные методы оценки включают: визуальное исследование пузырьков, визуальное сравнение, контроль красящим пенетрантом. Количественные методы оценки – это объемная плотность и удельный вес.

Невозможность адекватно определить процедуры отбора проб, аппаратных испытаний, отсутствие правильных процедур аудита для обеспечения их соответствия являются проблемами для многих пользователей RPT. Отсутствие контрольных карт для стабильных уровней вакуума, веса проб, времени вакуума, испытания герметичности и точности регулятора и измерительного прибора могут вызывать ошибки отбора проб и изменяют параметры сходимости RPT.

1.7 Выводы и постановка задач исследования

Анализ литературных данных показал, что в настоящее время для производства литых дисков алюминиевых колес актуальной является комплексная задача по улучшению качества отливок, отвечающим всем требованиям и обладающим высоким комплексом физико-механических свойств. Разработка новых способов рафинирования, модифицирования алюминиевых сплавов способствует повышению их качества.

На основании проведенного литературного анализа по состоянию технологий производства легкосплавных дисков методом литья сформулирована следующая цель – исследование и совершенствование технологических операций приготовления сплава АК7 с целью снижения потерь от брака для получения конкурентной продукции.

Для достижения цели были сформулированы следующие задачи:

- выполнить анализ существующей литейной технологии, включая процесс рафинирования, модифицирования;
- предложить и экспериментально обосновать методы контроля загрязненности алюминиевого сплава АК7 водородом и оксидными пленками;
- выполнить экспериментальные исследования образцов, полученных при различной обработке расплава АК7, обеспечивающего стабильность физико-механических и эксплуатационных свойств автомобильных колес.

2. Методика эксперимента

2.1 Применяемое оборудование и технологии для получения и исследования сплава АК7

Исследуемый сплав получали в печи ИАТ-2,5, производительность которой 1т расплава в час. Мощность печи 1000 кВт. Температура нагрева составляла 790-840 °С. Замер температуры жидкого металла в печи, миксере и ковше осуществляли при помощи термопары ТХА ГОСТ 6616-85. Прибором ТРМ-1 регистрировалась температура.

На литейных машинах немецкой фирмы GIMA были получены отливки, которые в дальнейшем проходят рентгеноскопический контроль. Рентгеноскопический контроль осуществляется на автоматических рентген установках немецкой фирмы Yxlon. Затем готовые отливки подвергают термической обработке. После термообработки – механическая обработка, проверка на герметичность и покраска.

Шихтовые материалы:

сплав AlSi7;

магний марки МГ90 (ГОСТ 804-93);

отходы собственного производстване более ???.

В качестве лигатуры для модифицирования использовался:

лигатурный пруток AlTi5B1;

лигатура AlSr.

Модифицирование проводилось во время рафинирования. Методом спектрального анализа (прибор QSN-750 фирма OBLF) проводилась оценка химического состава сплава (рис 2.1).



Рисунок 2.1 – Прибор QSN-750 фирма OBLF

Рафинирование расплава и одновременномодифицирование осуществлялась с применением установки АУВР-1(PAL-240)(рис.2.2). Загрузка флюса происходила вручную. На зеркало расплава загружается флюс Arsal 2125 F (PROBAT) (0,3–0,5 кг на ковш), включается ротор, с помощью которого происходит обработка газами (рис. 2.3).

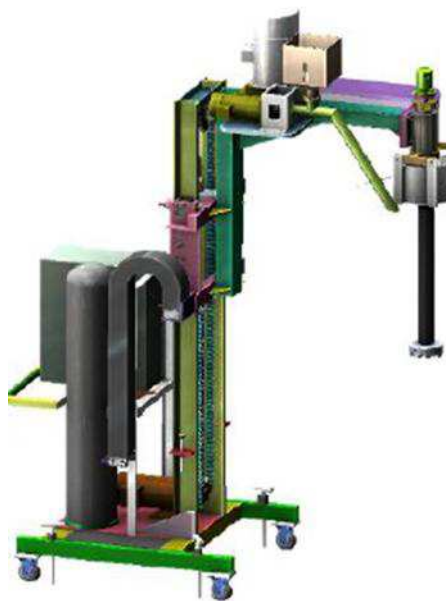


Рисунок 2.2 –Установка АУВР-1(PAL-240)

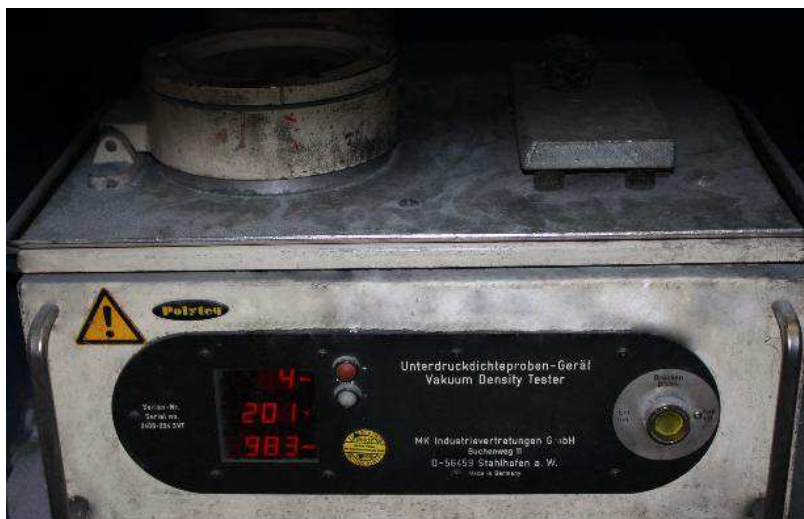
Одновременно вводятся лигатуры для модифицирования. Частота вращения вала составляет 450–550 об/мин. Расход подачи газа и время рафинирования зависит от конструктивных особенностей диска автомобильного колеса. Чем больше тепловых узлов, тем больше расхода газа и времени рафинирования. Процесс рафинирования ведется не ниже 730 °С температуры расплава.



Рисунок 2.3 –Используемый газ для рафинирования

2.3 Оценка чистоты расплава

Оценку чистоты расплава проводили вакуумным тестом (RPT)[41]. При этом происходит измерение индекса плотности прибором 3VT и взвешивающим устройством МК 2200 (рис.2.4).



а б

Рисунок 2.4 – Оборудование для измерения индекса плотности
а – прибор МК 2200; *б* – прибор 3VT

Индекс плотности (D) определяется прибором 3VT, при этом измеряют плотности двух образцов из раздаточного ковша, кристаллизовавшихся при разряженном давлении (p_1), 300 мбар и температуре 200 °С, атмосферном давлении (p_2) и комнатной температуре. Образцы взвешиваются на устройстве МК 2200. Это высокоточный прибор, при помощи которого определяют плотности твердых веществ. Компьютер, который встроен в прибор, автоматически рассчитывает индекс плотности. Значение отображается на дисплее в %.

Микропористость в отливках появляется при повышенном содержании газов в жидком металле. Микропористость снижает механические свойства и качество поверхности отливок [42].

Индекс плотности расплава перед заливкой в печь литейной машины, должен быть в пределах 1,5–4,0 %.

Для наводораживания жидкого металла использовался препарат **Hydral 40**. **Hydral 40** – это газифицирующие таблетки, которые используются для алюминия и алюминиевых сплавов в литейном производстве (рис. 2.5). В процессе кристаллизации отливки происходит выделение небольшого количества водорода, который распределяется в

отливке в виде газа – порционное давление водорода компенсирует усадку кристаллизующегося расплава. Рабочая температура использования препарата находится в интервале от 650 °С и выше. Таблетка препарата имеет массу 200 грамм. По рекомендациям производителя необходимо применять 0,005 –0,1 от массы расплава. То есть таблетка на заливку массой 600 кг. Таким образом, существует необходимость в проведении исследования количественной оценки качества расплава после обработкой данным препаратом.



Рисунок 2.5 – Препарат Hydral 40

2.3. Термическая обработка дисков автомобильных колес

Термическая обработка дисков автомобильных колес проводилась на автоматизированной линии (рис. 2.6), произведенной компанией «EISENMANN». Мощность линии составляет 1,2МВт.



Рисунок 2.6 – Автоматизированная линия компании «EISENMANN»

В состав автоматизированной линии термической обработки входят печи (SNOL 8,2/1100, SNOL 58/350), бак, пульт управления. При помощи конвейера происходит перемещение заготовок от одной последовательной операции до другой. Производственный цикл связан непрерывно.

Режимы термической обработки:

- закалка при температуре 535 °С, время выдержки в печи (SNOL 8,2/1100) 6 часов, охлаждение в воде при температуре 80 °С;
- последующее старение в печи (SNOL 58/350) при 145 °С в течение 4 часов.

2.4. Научное оборудование и методика проведения исследований структур и свойств отливок

Полученные образцы из алюминиевого сплава, при необходимости, разрезались до нужного размера армированным абразивным кругом для проведения дальнейших исследований.

Исследование границы раздела, химического и фазового состава, механических и эксплуатационных свойств образцов из алюминиевого сплава, проводилось с применением методик и научного оборудования.

1. Металлографические исследования:

– для изучения макроструктуры и фрактуры изломов использовался стереомикроскоп SZ61 (Olympus) с увеличением 0,67–4 крат.

– для изучения микроструктуры применяли: растровый электронный микроскоп EVO 50 HVP (CarlZeiss) с энергодисперсионным анализатором IncaENERGY 350 (Oxfordinstrument) при зондовом токе $I = 250\text{--}264$ пА и напряжением $U = 20$ кВ; инвертированный световой микроскоп Axio Observer.A1m (CarlZeiss); МЕТАМ ЛВ 31 50-500[×].

2. Для проведения количественного анализ микро- и макроструктуры использовалась программа анализа изображений Image Expert Pro 3.

3. Определение механических свойств: временное сопротивление разрыву (σ_b), пределтекучести условный ($\sigma_{0,2}$), относительное удлинение(δ) (ГОСТ1497–93) производили на универсальной испытательной машине Test Winner в соответствии с ГОСТ 1497-84 для проведения испытаний на одноосное растяжение.

Для определения твердости использовали прибор 2109ТБ по ГОСТ 9012-59.

В соответствии с Правилами 124 ЕЭК ООН механические свойства колеса определялись на образцах, взятых из разных зон колеса.

3. Исследование влияния методов обработки расплава на свойства сплава АК7

Исследование экспериментальных образцов было произведено для наиболее полного представления о влиянии технологических и физико-химических факторов на формирование структурно-фазового состава и свойств алюминиевого сплава. Исследования образцов проводились в соответствии с методиками, представленными в главе 2.

3.1. Исследование качества шихтовых материалов

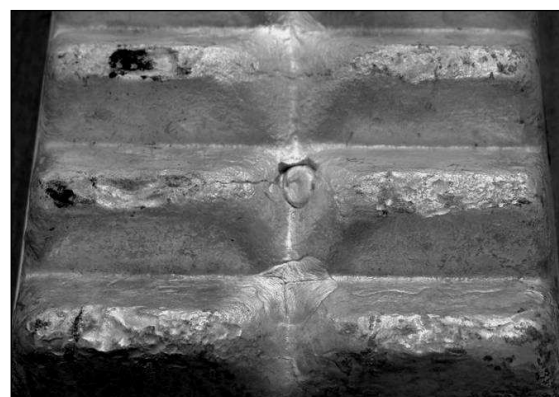
3.1.1. Исследование чушкового сплава

С этой целью были исследованы образцы чушкового сплава двух различных партий поставки.

1. Визуальной осмотр чушковой лигатуры AlSi10 показал, что поверхность чушки со стороны литниковой части поражена грубыми рыхлотами, включениями тёмного – серого и жёлтого цвета, имеет светлую матовую окраску без металлического блеска (рис.3.1а). Со стороны донника на поверхности чушки наблюдается множество неслитин и заворотов окисных плён (рис.3.1б).



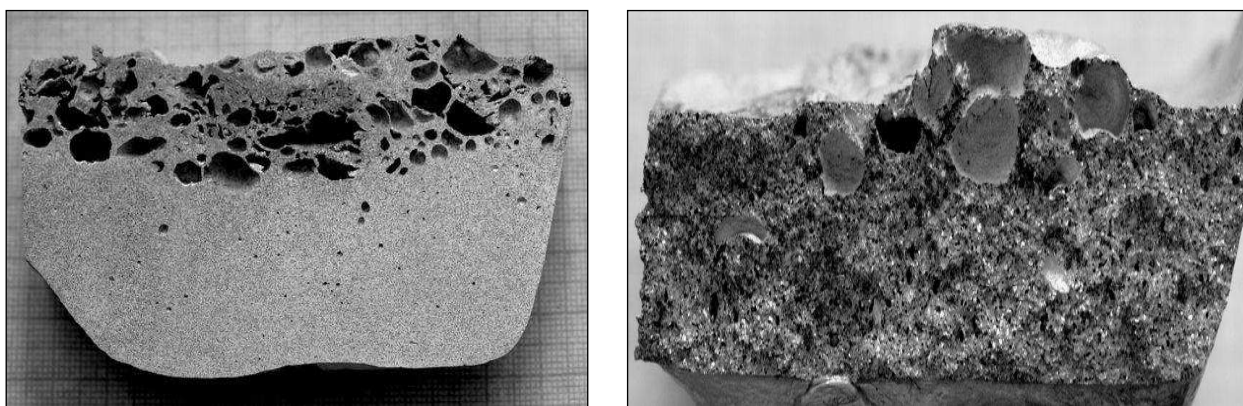
а



б

Рисунок 3.1 – Внешний вид поверхности чушки AlSi10:
а – литниковая часть, *б* – донная часть

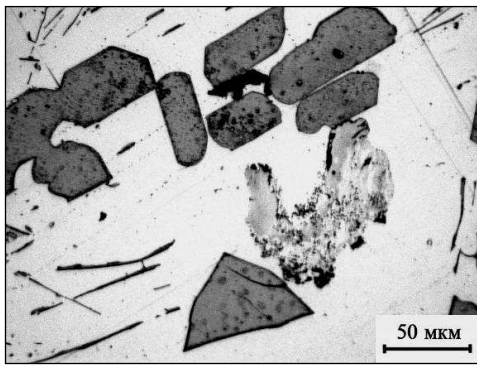
В изломе и макроструктуре чушки на глубину ~ 25 мм от литниковой поверхности наблюдается структура, напоминающая пеноалюминий, где грубые поры перемежаются с большим количеством окисных плёнок. В основном металле чушки обнаружены поры размером до 2,0 мм, шлаковые включения и окисные плёнки размером 0,1 – 5,0 мм (рис. 3.2). Наличие данных дефектов недопустимо по требованиям DINEN 575 (п.5,4), в которых указано, что изделия должны быть свободны от включений шлаков, солей и др. инородных тел.



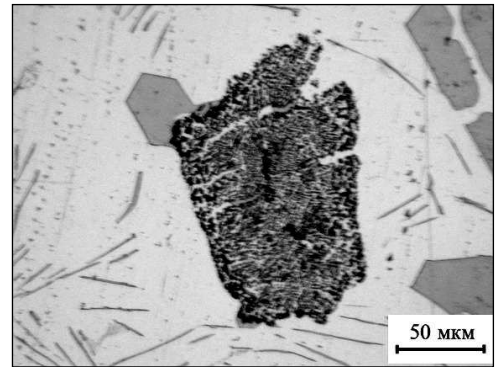
a *b*
Рисунок 3.2 – Макроструктура: *a* – излом; *b* – чушка AlSi10

Исследования микроструктуры, проведённые в средней зоне чушки, показали, что по всему сечению обнаружены окисные плёнки, шлаковые включения, частицы нерастворившихся солей размером 10 – 25 мкм (рис.3.3а – д).

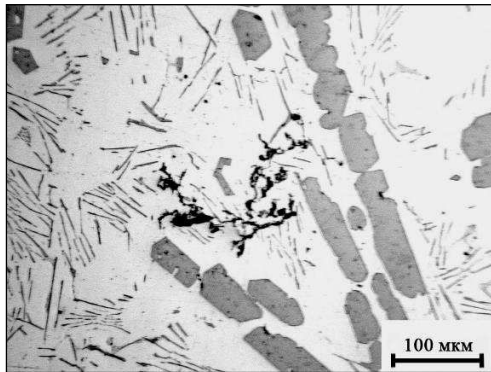
Микроструктура чушки представляет собой первичные интерметаллиды Al_4Si в виде фрагментированных игл и эвтектику $\alpha + Al_4Si$ (рис. 3е). Линейный размер кристаллов Al_4Si составляет $\sim 0,2 - 1,2$ мм. Плотность основного металла чушки AlSi10 равна $2,659$ г/см³.



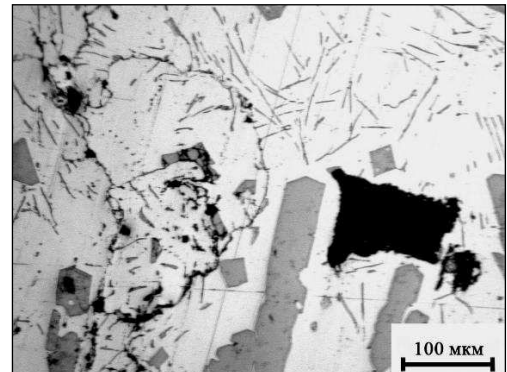
a



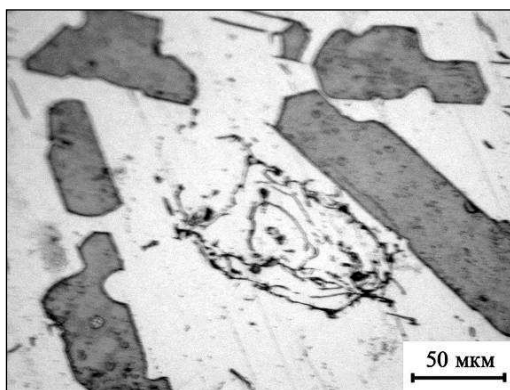
б



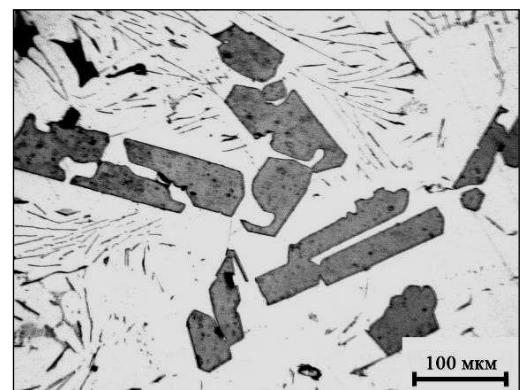
в



г



д



е

Рисунок 3.3 – Микроструктура чушки лигатуры AlSi10:
a, б – нерастворившиеся соли, *в – д* – окисные плёны, *е* – основа

Проведённые исследования качества чушки AlSi10 показали наличие большого количества окисных плён, шлаковых и других инородных включений, расположенных как на поверхности, так и в основном металле. Наличие выше указанных дефектов не допускается требованиями DINEN 575 (п.5,4) и может способствовать снижению качества отливок

2. Исследованы излом, макро- и микроструктуры образцов чушкового сплава второй партии. Излом (поверхность разрушения) изучались для оценки металлургического качества алюминиевого сплава, обнаружения внутренних дефектов изделий. При визуальном исследовании образцов было обнаружено, что излом имеет волокнистый вид (рис. 3.4), что соответствует требованиям ТС 501-02-86.



Рисунок 3.4 – Излом

При исследовании макроструктуры образцов было выявлено, что в литниковой зоне присутствует усадочная рыхлота на глубину 10мм. Пористости на макроструктуре не наблюдается (рис. 3.5). У литниковой поверхностей присутствуют окисные пленки размером 0,5–1,5мм (табл.3.1). В средней зоне окисных плен и других инородных включений нет.

Таблица 3.1 – Оценка металлургических дефектов на макроструктуре чушки

Балл пористости по ГОСТ 1583	Металлургические дефекты					Зона расположения
	Усадочная рыхлость	Усадочные раковины	Окисные плены			
			Размер, мм		Количество, шт.	
Площадь, мм ² / Глубина залегания от поверхности, мм	Размер, мм. Глубина залегания от поверхности, мм	min	max			
Газовых пор не обнаружено	43x6 / 10	Не обнаружено	0,5	1,5	4	Литник

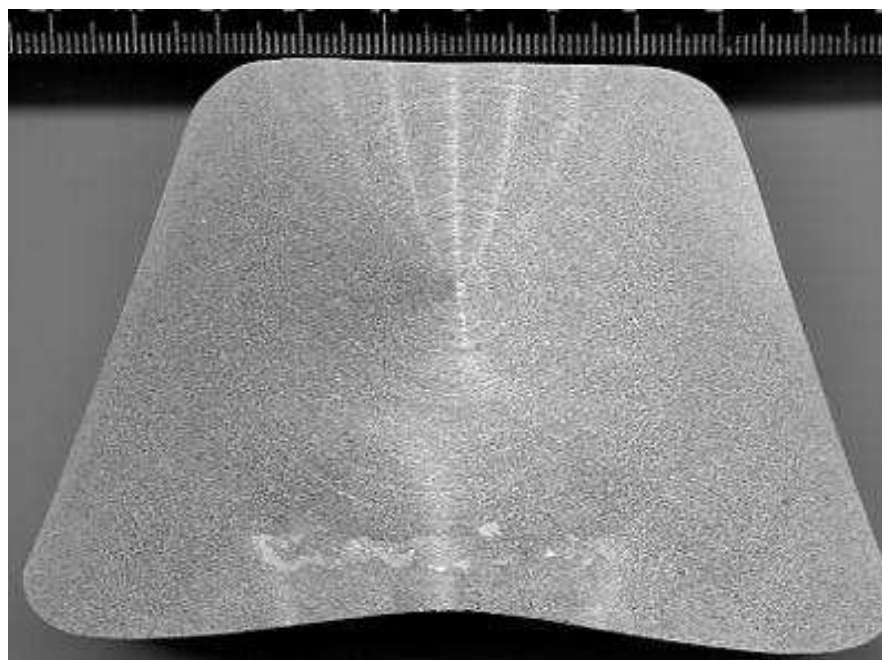


Рисунок 3.5 – Макроструктура образца

Микроструктура исследовалась в центральной зоне образца. В микроструктуре наблюдается немодифицированная эвтектика и дендриты твердого раствора (рис. 3.6). Окисных плен, инородных включений не обнаружено.

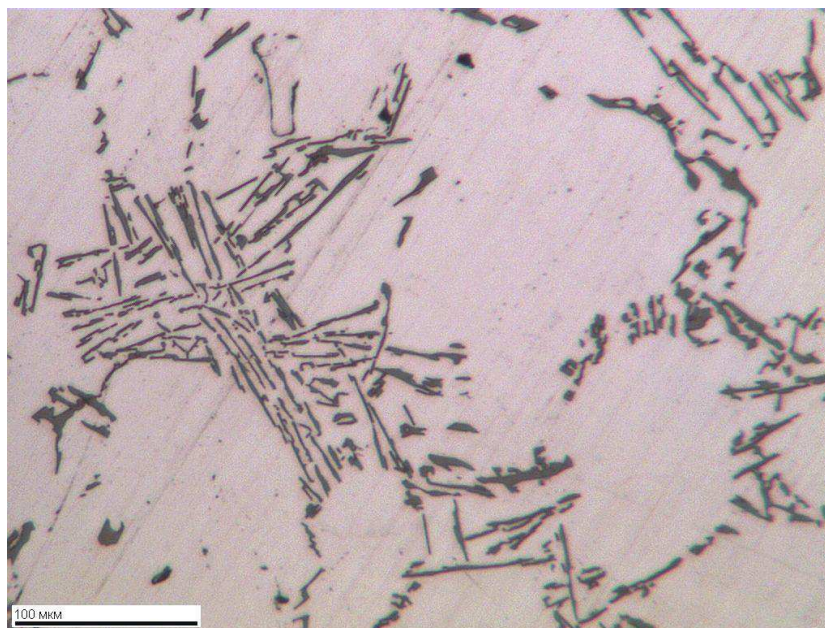


Рисунок 3.6 – Микроструктура

При исследовании образцов чушки были выявлены дефекты, описанные выше, наличие которых допускается требованиями DINEN575 (п.5,4). Обнаруженные дефекты не способствует снижению качества отливок.

3.1.2. Исследование лигатуры, применяемой для модифицирования

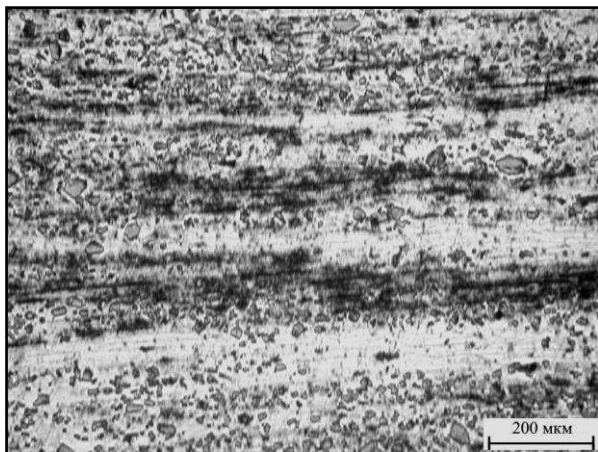
Лигатурный пруток AlTi5B1. Микроструктура прутка была исследована в продольном сечении на площади сечения $\sim 2,5 \text{ см}^2$.

Химический состав приведён в таблице 3.2.

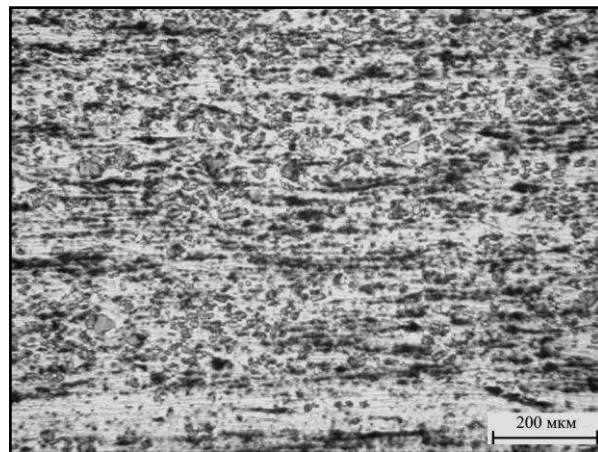
Таблица 3.2 – Химический состав лигатуры AlTi5B1

Лигатура	Массовая доля элементов, %						
	Ti	B	Sr	Si	Fe	V	K
AlTi5B1	4,5 – 5,5	0,9 – 1,5	0,03	0,20	0,30	0,20	
Технические требования (пруток)	4,5 – 5,5	0,9 – 1,2	0,05	0,20	0,30	0,15	0,10

Микроисследования лигатурного прутка AlTi5B1 показали, что в структуре наблюдается неравномерное распределение кристаллов $TiAl_3$ и частиц TiB_2 (рис 3.7а, б).



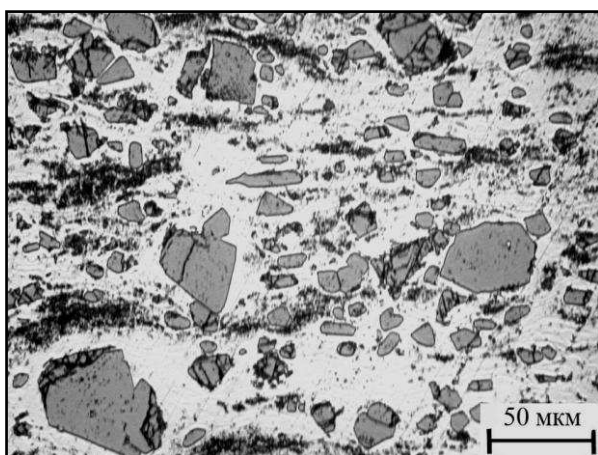
a



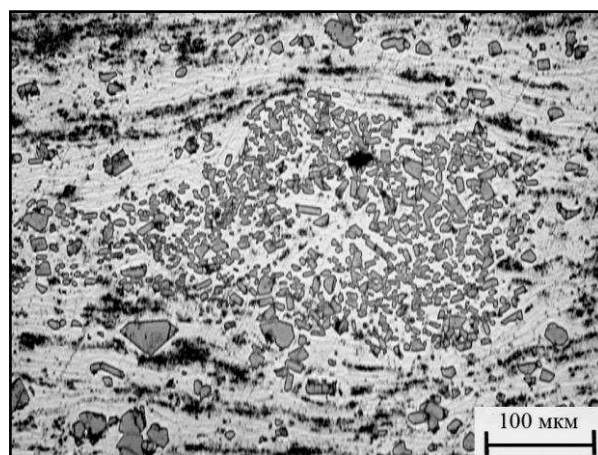
б

Рисунок 3.7 – Неравномерное распределение: *a* – $TiAl_3$; *б* – TiB_2

Кристаллы $TiAl_3$ в структуре прутка расположены разрозненно и в виде участков скоплений (агломератов) (рисунок 3.8 а, б). На исследуемой площади прутка $\sim 2,5 \text{ см}^2$ обнаружено 7 участков скоплений размером $440 \times 200 \div 2700 \times 300 \text{ мкм}$, что не соответствует техническим требованиям.



a



б

Рисунок 3.8 – Участки скоплений $TiAl_3$: *a* – $\times 200$; *б* – $\times 100$

В отдельных скоплениях интерметаллиды $TiAl_3$ перемежаются с нематаллическими включениями и скоплениями частиц TiB_2 (рис 3.9).

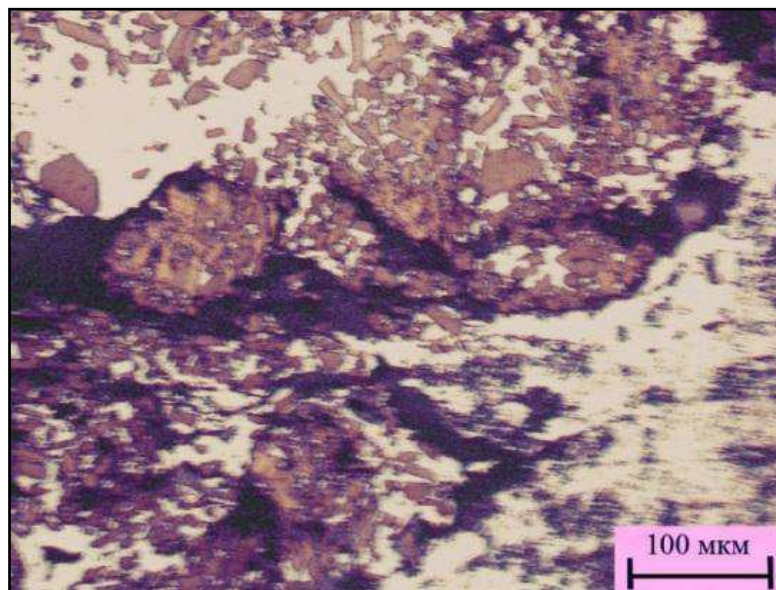
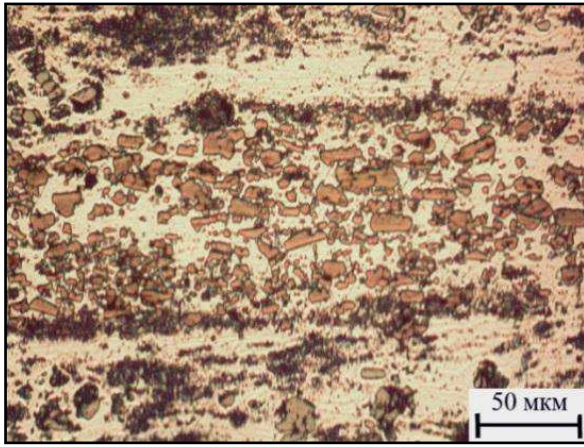


Рисунок 3.9 – Скопления интерметаллидов $TiAl_3$, нематаллических включений, частиц TiB_2

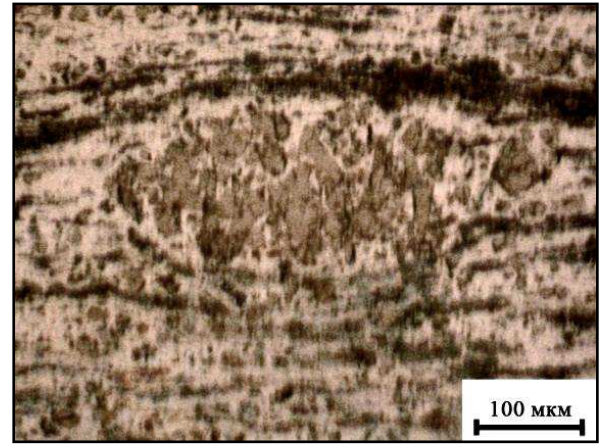
Форма интерметаллидных фаз в скоплениях идентична разрозненным кристаллам, а окраска кристаллов в отдельных скоплениях имеет жёлтый оттенок, что может свидетельствовать о разном фазовом составе (рис3.10).

Размер кристаллов $TiAl_3$ соответствует требованиям и составляет: средний $\sim 16,2$ мкм, наиболее крупных $\sim 89,7$ мкм, мелких – $4,1$ мкм. Доля крупных частиц не превышает 5%.

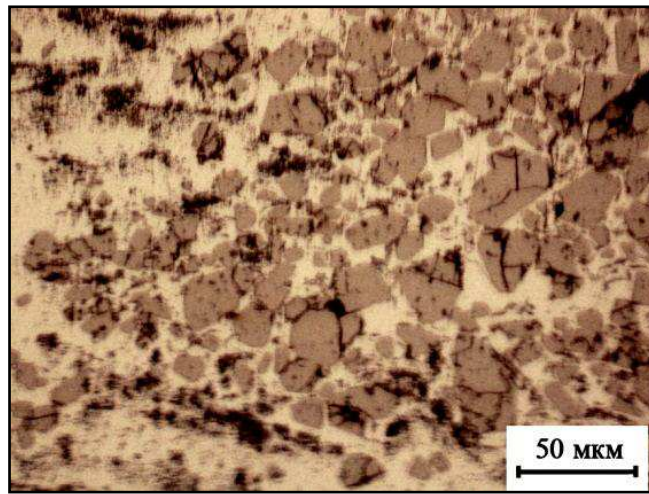
Частицы TiB_2 в структуре исследуемого прутка расположены в виде скоплений, образующих прожилки разной толщины и протяжённости, вытянутые вдоль оси (рис.3.11 а, б), что не соответствует требованиям. Наиболее грубые скопления частиц наблюдаются в центральной зоне.



a

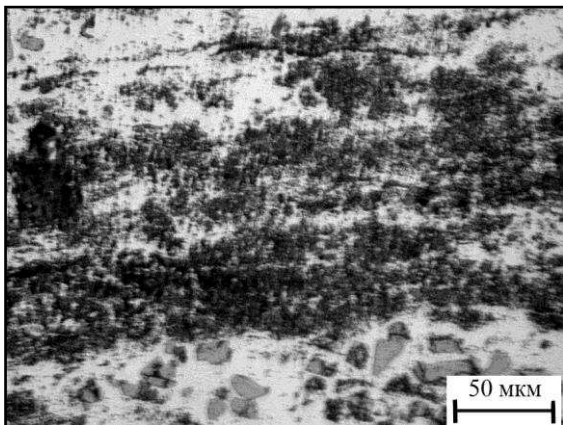


б

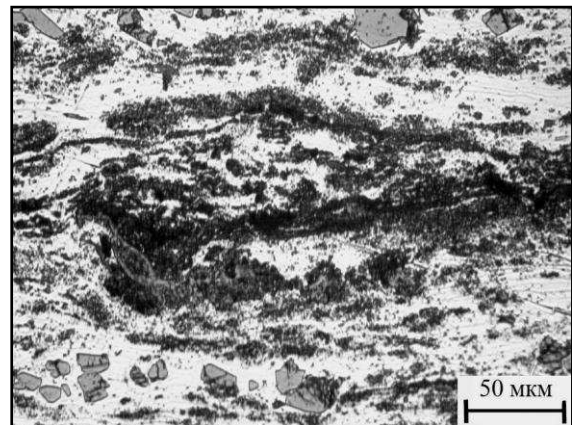


в

Рисунок 3.10 – Скопления кристаллов $TiAl_3$: *a* – $\times 200$; *б* – $\times 100$; *в* – $\times 150$



a



б

Рисунок 3.11 – Скопления частиц TiB_2 : *a* – в виде прожилок, $\times 200$; *б* – грубое включение центральной части, $\times 200$

По сечению исследуемого образца обнаружены участки непрореагировавших солей и неметаллических включений размером $145 \times 100; 250$ мкм (рисунок 3.12), что также является недопустимым.

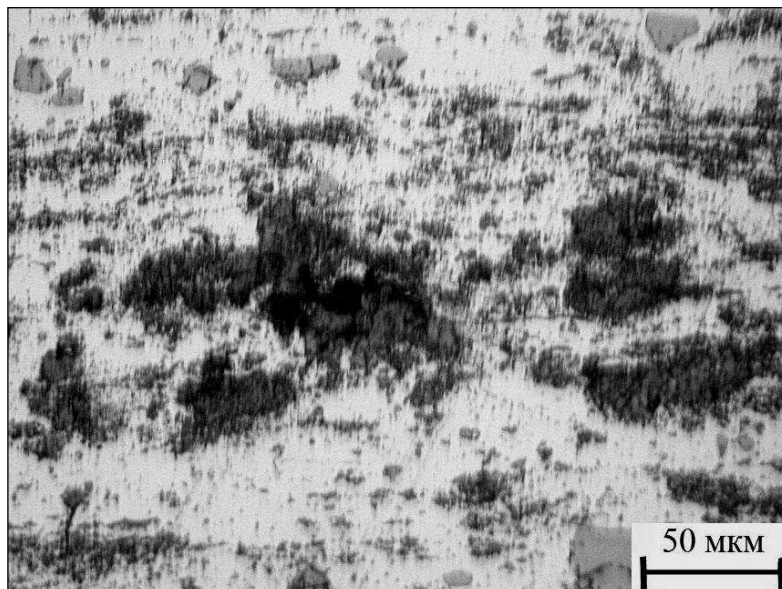


Рисунок 3.12 – Участки непрореагировавших солей и неметаллических включений

Выводы по разделу:

1. Проведенные исследования образцов чушкового сплава разных партий, лигатуры модифицирования показали, что качество шихты нестабильно.

2. Наличие большого количества окисных плён, шлаковых и других инородных включений, расположенных на поверхности и в основном металле не допустимо, так как впоследствии напрямую влияет на качество отливок.

3. На основании вышеизложенного рекомендована смена поставщика.

3.2. Влияние обработки расплава препаратом Hydral 40 на индекс плотности

Получение отливок колес из сплава АК7 при максимальной дегазации расплава аргоном на роторной установке сопряжено с увеличением брака по усадочной пористости. Для снижения влияния этого эффекта предлагается проводить искусственное наводораживание расплава с применением препарата Hydral 40, что способствует ограничению развития усадочной пористости и обеспечивает герметичность отливок.

Исследования зависимости газонасыщения от использования таблеток Hydral 40 проводились на сплаве АК7 при литье колес. При этом происходила остановка основного цикла литья, ввиду того что обработка происходит непосредственно в печи литейной машины. Основным критерием газонасыщения расплава является индекс плотности, и плотность образцов. Изменение этих показателей является количественным признаком оценки качества расплава после рафинирования и принудительного наводораживания расплава.

Отбор проб производился на следующих этапах обработки расплава препаратом Hydral 40:

1. После рафинирования
2. После заливки на «болото» в печь литейной машины
3. После обработки расплава препаратом в течение 3 минут (50 гр), что составляет 0,00125 % от веса плавки
4. После литья 15–20 колес, или от 1,8 до 2,2 часов.
5. После второй обработки расплава препаратом, после литья 20-25 колес.

Таким образом, расход препарата на заливку составил 100 г, что составляет 6 минут обработки. Результаты экспериментальных данных были статистически обработаны и занесены в таблицу 3.3.

Таблица 3.3 – Индекс плотности расплава на разных этапах обработки расплава препаратом Hydral 40

Этап	Плотность затвердевшего образца при давлении 300 мбар, г/см ³	Плотность затвердевшего образца при атмосферном давлении, г/см ³	Индекс плотности, %
После дегазации (1)	2,6±0,01	2,64±0,01	1,51±0,038
Заливка на болото (2)	2,49±0,01	2,62±0,02	4,73±0,17
После обработки препаратом (3)	2,43±0,03	2,61±0,01	6,89±0,38
После 15-20 колес (4)	2,42±0,02	2,62±0,02	7,76±0,88
После обработки препаратом (5)	2,34±0,02	2,59±0,01	9,02±0,22

Рост индекса плотности наблюдается уже при заливке расплава на «болото». При этом индекс плотности «болота» соответствует обработанному расплаву ¼ таблетки (25 гр) в середине литья колес. Однако существенное снижение плотности отлитых образцов происходит после обработки расплава препаратом, особенно в середине литья колес. Это говорит об избыточном перенасыщении расплава водородом, который начинает интенсивно выделяться в процессе литья, что значительно увеличивает фактор нежелательной коагуляции пузырьков водорода. О чем свидетельствует график зависимости индекса плотности от обработки расплава препаратом Hydral 40 при различных этапах использования расплава (рис. 3.13).

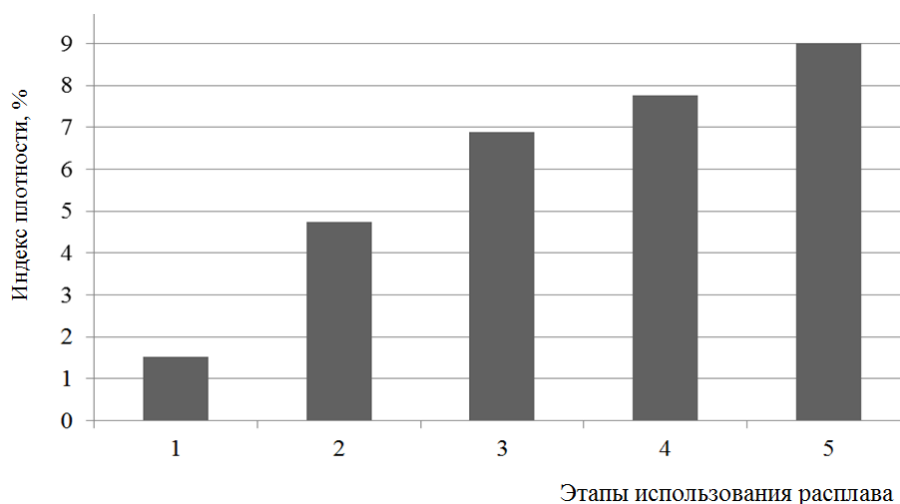


Рисунок 3.13 – Зависимость индекса плотности от обработки расплава препаратом Hydral 40 при различных этапах использования расплава: 1 – после дегазации; 2 – заливка на болото; 3 – после обработки препаратом; 4 – после 20-25 колес; 5 – после второй обработки препаратом

При обработке расплава на различных этапах производства наблюдаем, что наибольшая плотность образца при атмосферном давлении и при давлении 300 мбар наблюдается сразу после дегазации (рис. 3.14, 3.15). Содержание газов, в том числе водорода снижается, что приводит к уменьшению или вообще подавлению газовой пористости.

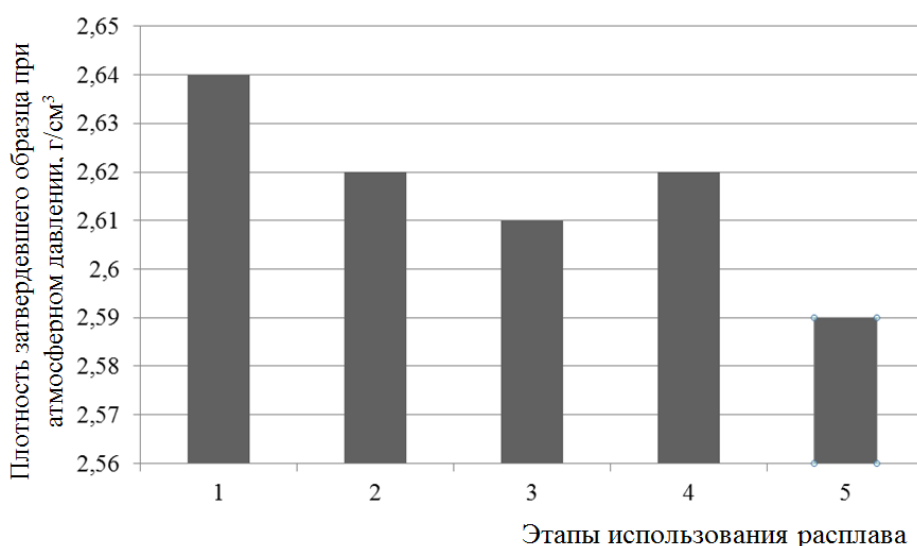


Рисунок 3.14 – Зависимость плотности образца при атмосферном давлении от обработки расплава препаратом Hydral 40 при различных этапах использования расплава: 1 – после дегазации; 2 – заливка на болото; 3 – после обработки препаратом; 4 – после 20-25 колес; 5 – после обработки препаратом

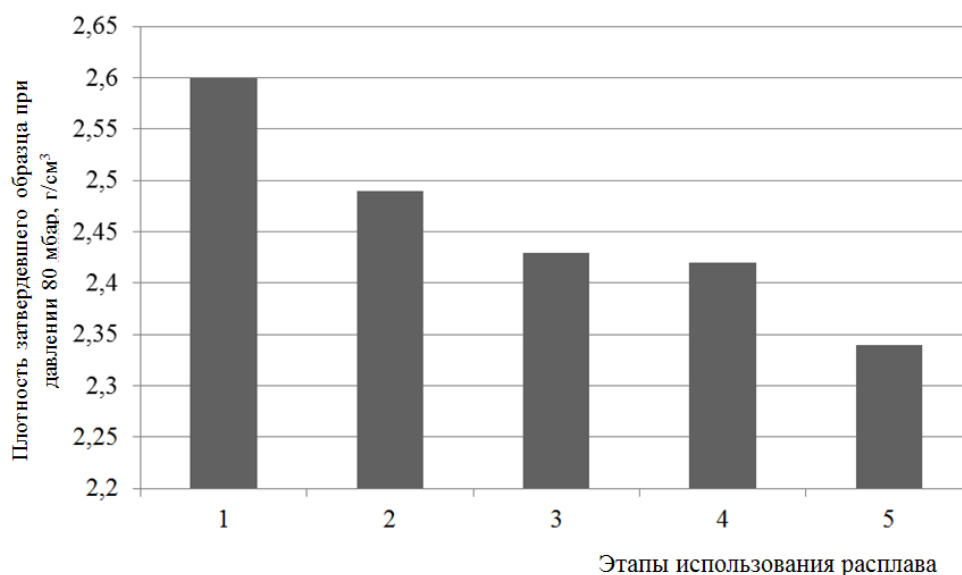


Рисунок 3.15 – Зависимость плотности образца при давлении 300 мбарот обработки расплава препаратом Hydral 40 при различных этапах использования расплава: 1 – после дегазации; 2 – заливка на болото; 3 – после обработки препаратом; 4 – после 15-20 колес; 5 – после обработки препаратом

Была определена плотность образцов при различных показателях индекса плотности (рис. 3.16) до и после обработки препаратом расплава Hydral 40. Плотность напрямую влияет на качество отливки. В случае, если плотность падает при наводораживании, то увеличивается вероятность коагуляции водорода при кристаллизации сплава, что неизбежно может привести к большим образованиям участков газовой пористости и браку отливок.

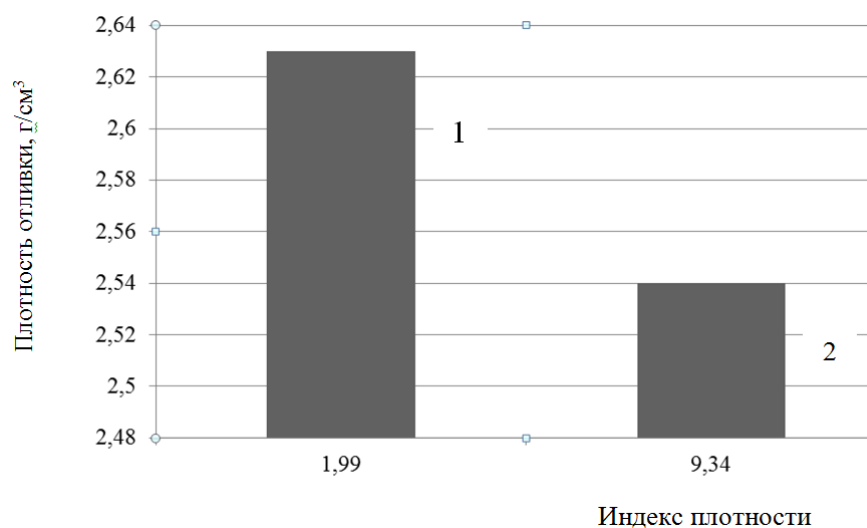


Рисунок 3.16 – Влияние индекса плотности на плотность отливки: 1 – после обработки; 2 – до обработки

Выводы по разделу:

1. Вторая обработка Hydral 40 расплава в середине заливки является нежелательной, так как снижает плотность отливки, что говорит о значительной коагуляции газов в процессе кристаллизации.

2. Обработка расплава препаратом Hydral 40 происходит в печи литейной машины, что увеличивает фактор появления неметаллических включений, за счет дополнительного окисления при открывании печи и барботации препарата.

3. Обработка таблеткой 25 гр. эквивалентна принудительному наводороживанию расплава газовой смесью в процессе рафинирования. Однако газонасыщение на установке роторной дегазации не требует дополнительной остановки печи литейной машины, и исключает факторы, влияющие на образования неметаллических включений, поэтому является более безопасным видом принудительного наводороживания расплава.

3.3. Исследование влияния термической обработки на структуру и механические свойства сплава АК7

Для трансформации и сфероидизации частиц эвтектического кремния с исключением введения модифицирующих добавок была проведена термическая обработка.

Были получены образцы, которые заливали в прогретый чугунный кокиль, с целью минимизации влияния факторов скорости охлаждения. Причем химический состав этих образцов практически одинаков (табл.3.4).

Таблица 3.4 – Химический состав

Образцы	Химический элемент, %							HB1, МПа	HB2, МПа
	Si	Mg	Ti	Sr	Fe	B	Al		
Без модиф.	6,5	0,272	0,115	0,0034	0,105	0,0006	92,968	42	56
Модиф.(AlTiB+AlSr)	6,43	0,264	0,138	0,0173	0,1	0,0025	93,01	44	60
AlTiB.	6,57	0,286	0,123	0,0005	0,112	0,0017	92,866	34	56
AlSr	6,89	0,289	0,107	0,0215	0,112	0,0005	92,54	43	59

Образцы были подвергнуты закалке при температуре 535 °С, выдержке при этой температуре 6 часов, охлаждение в воде при температуре 80 °С, и последующее старение при 145 °С в течение 4 часов. После проведенной термической обработки были испытаны образцы с целью определения механических свойств. Результаты испытаний на одноосное растяжение показали, что образцы после термической обработки с комплексным модифицированием характеризуются наибольшими прочностными свойствами, таблица 3.5.

Таблица 3.5 – Механические свойства термически обработанных образцов

Образцы	σ_b , МПа	δ , %
Без модиф.	246,5	6,1
Модиф. (AlTiB+AlSr)	277,1	9,2
AlTiB	270,7	12,6
AlSr	266,1	6,9

Были исследованы микроструктуры образцов с разным содержанием модифицирующих веществ (рис. 3.17– 3.19). Для сравнения предоставлен образец без модифицирования (рис.3.17).

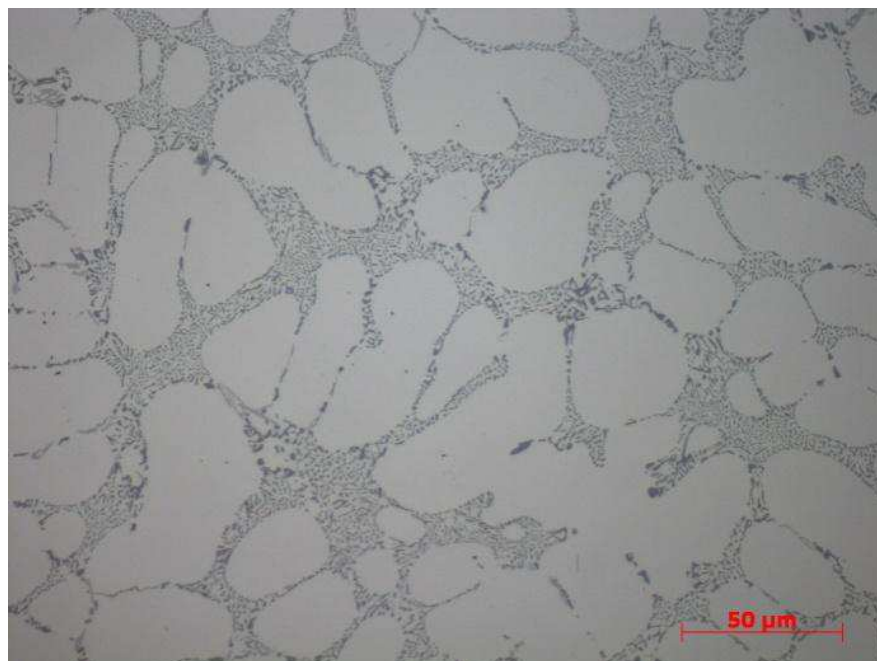
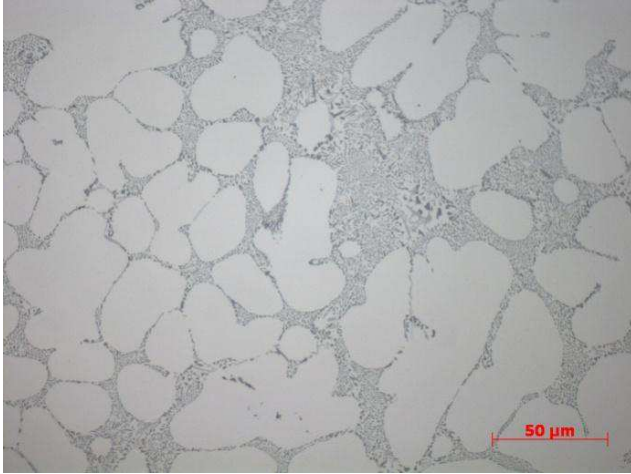
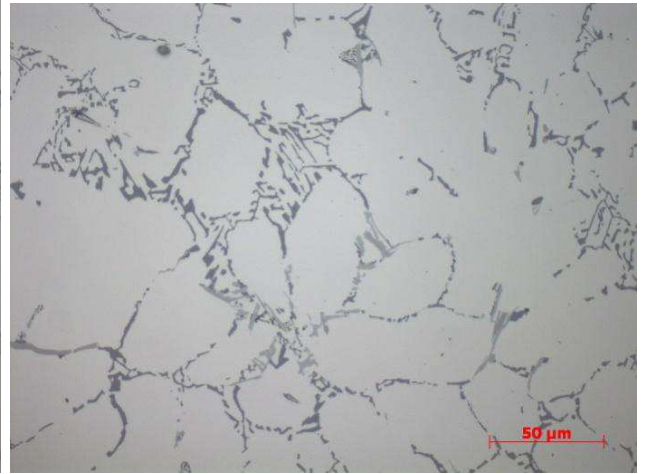


Рисунок 3.17 – Микроструктура немодифицированного литого сплава AlSi7Mg

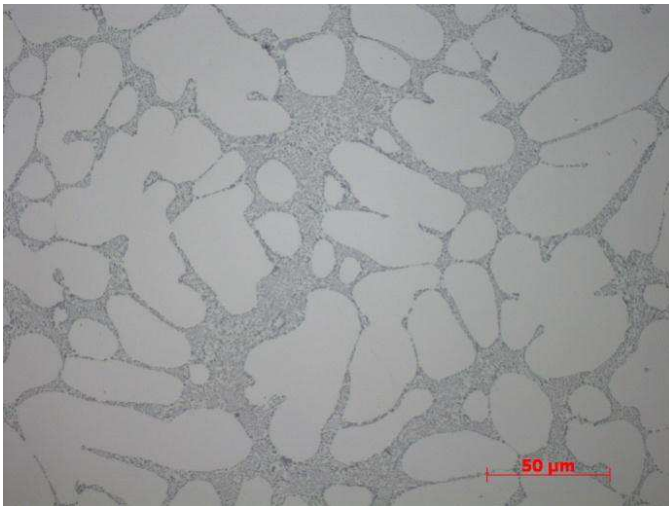
Содержание стронция 0,003% обеспечивает модифицирование эвтектического кремния, о чем свидетельствуют микроструктуры (рис.3.18а), однако меньшее содержание стронция до 0,0005% не удовлетворяет требованиям модифицирования эвтектики (рис.3.18б). Уменьшение количества частиц модифицирующих веществ Al_3Ti и TiB_2 слабо влияет на размер дендритной ячейки(рис.3.18 в).



a



б



в

Рисунок 3.18 – Микроструктура литого сплава АК7: *a* – комплексное модифицирование; *б* – модифицирование AlTi5B1; *в* – модифицирование AlSr10

Микроструктура образцов после термической обработки характеризуется наличием α – твердого раствора и сферическим эвтектическим кремнием. Как известно, в процессе отжига происходит дробление и сфероидизация частиц эвтектического кремния (рис.3.19).

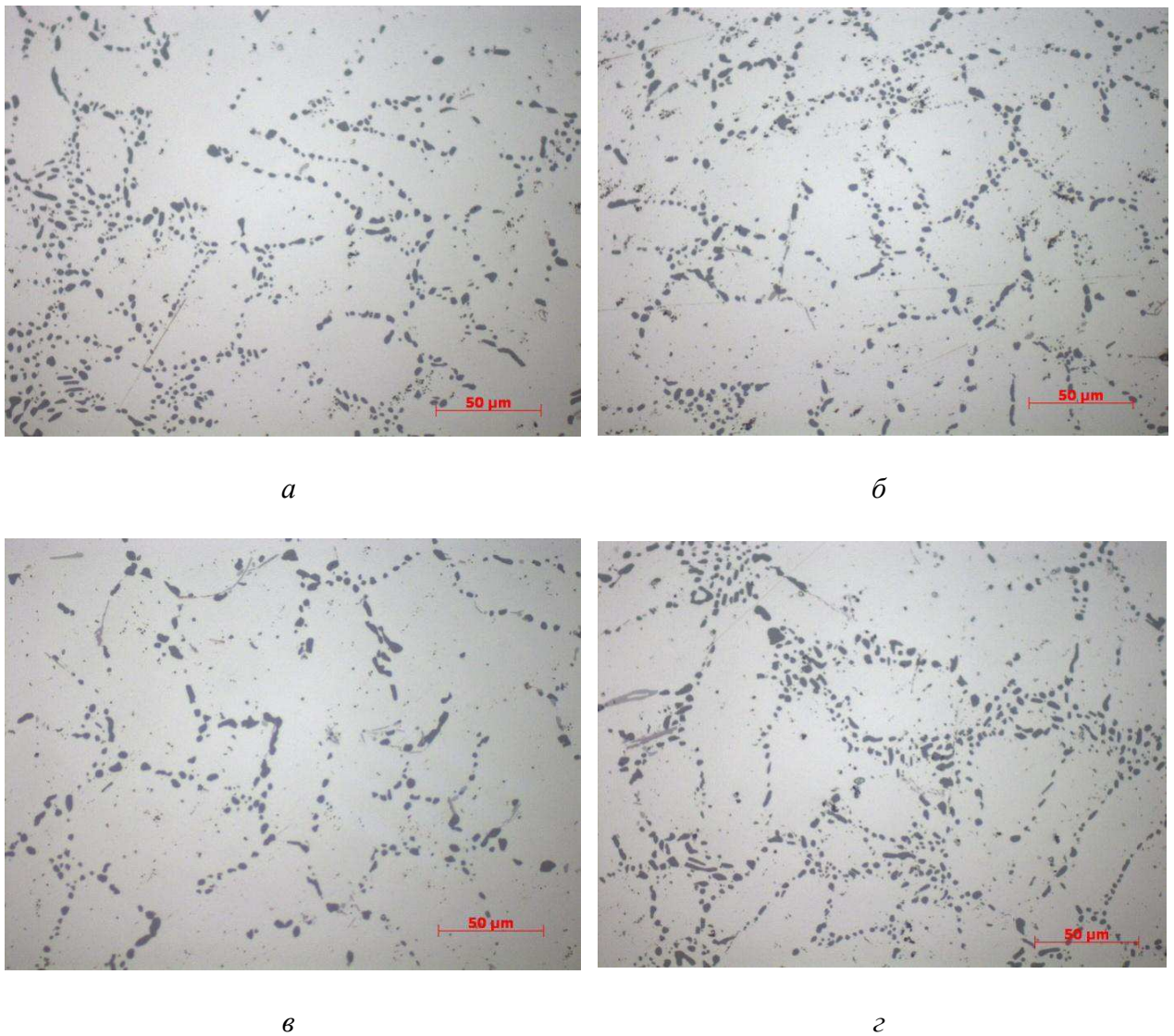


Рисунок 3.19 – Микроструктура сплава АК7 в отожженном состоянии: *а* – без модифицирования; *б* – комплексное модифицированием; *в* – модифицирование AlTi5B1; *г* – модифицирование AlSr10

Следующим этапом является литье в опытно-промышленном масштабе. Были отлиты диски автомобильных колес из сплава с химическим составом, указанным в таблице 3.6.

Таблица 3.6 – Химический состав колеса

Химический элемент, %						
Si	Mg	Ti	Sr	Fe	B	Al
6,73	0,284	0,118	0,0065	0,106	0,0008	92,728

Макро и микроструктурный анализ представлен на рисунках 3.20 – 3.21. Как видно, в микроструктуре образца наблюдаются частицы эвтектического кремния сферической формой, что удовлетворяет всем требованиям (ГОСТ Р 50511-93) (43)диска автомобильного колеса из легких сплавов.

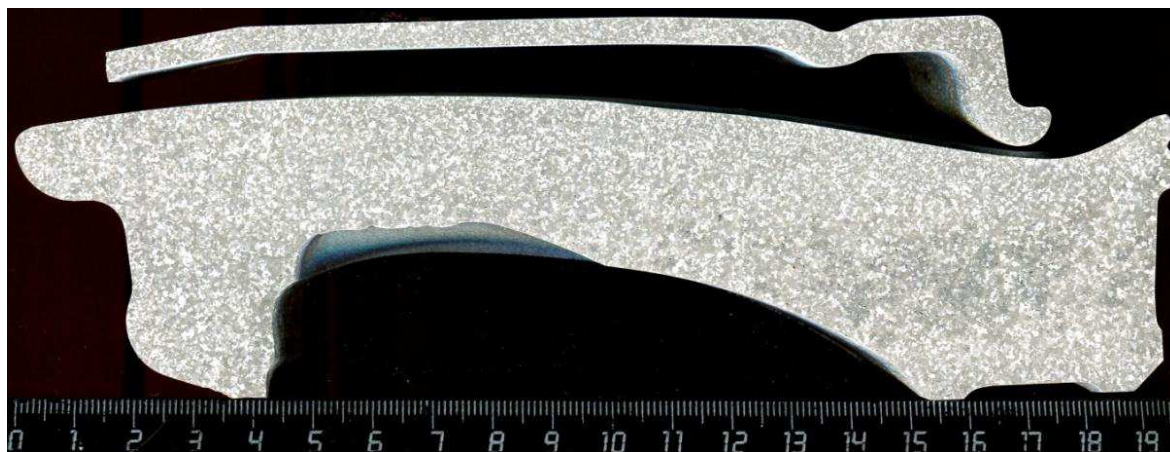


Рисунок 3.20 – Макроструктура сплава АК7

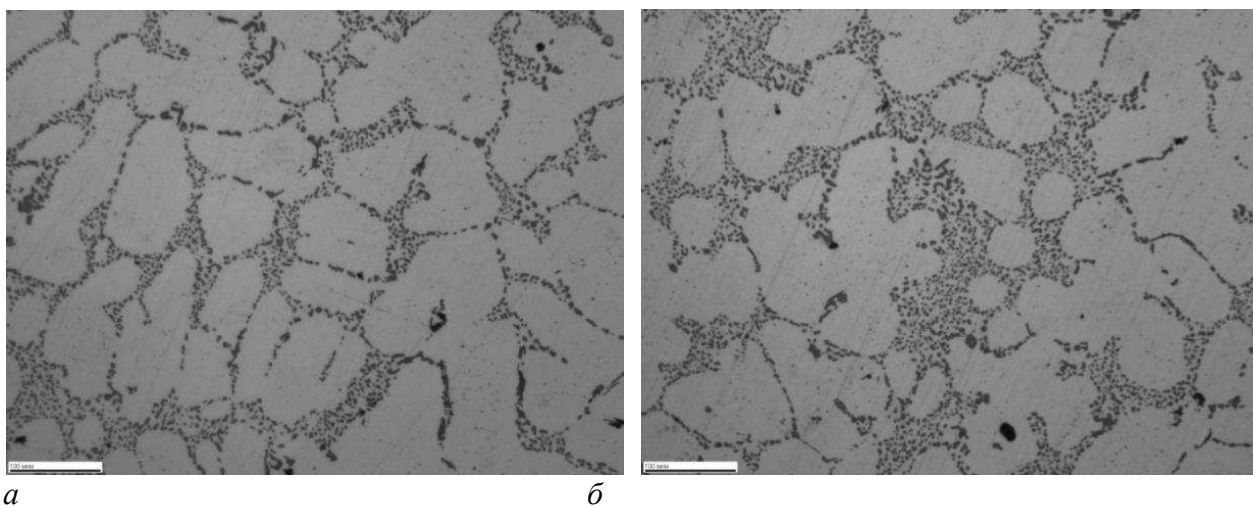


Рисунок 3.2 – Микроструктура сплава АК7 в отожженном состоянии

Образцы были исследованы с целью изучения механических свойств сплава, данные представлены в таблице 3.7.

Таблица 3.7 – Механические свойства

Зона	№	σ_s , МПа		$\sigma_{0,2}$, МПа		δ , %	
Спица	1	241,7	234,0	169,1	138,0	5,8	4,1
	2	213,0		168,4		2,1	
	3	246,9		176,9		4,6	
Ступица	1	231,9	233,4	172,8	172,5	4,2	4,5
	2	239,1		176,8		4,5	
	3	229,1		168,1		4,8	
Внешн.	1	273,1	274,1	166,4	170,7	12,5	13,1
	2	271,9		162,9		13,9	
	3	275,1		183,1		12,7	

Выводы по разделу:

1. Было выявлено, что комплексное модифицирование сплава АК7 добавками AlTiB+AlSr способствует увеличению прочности, твердости, пластичности алюминиевого сплава.

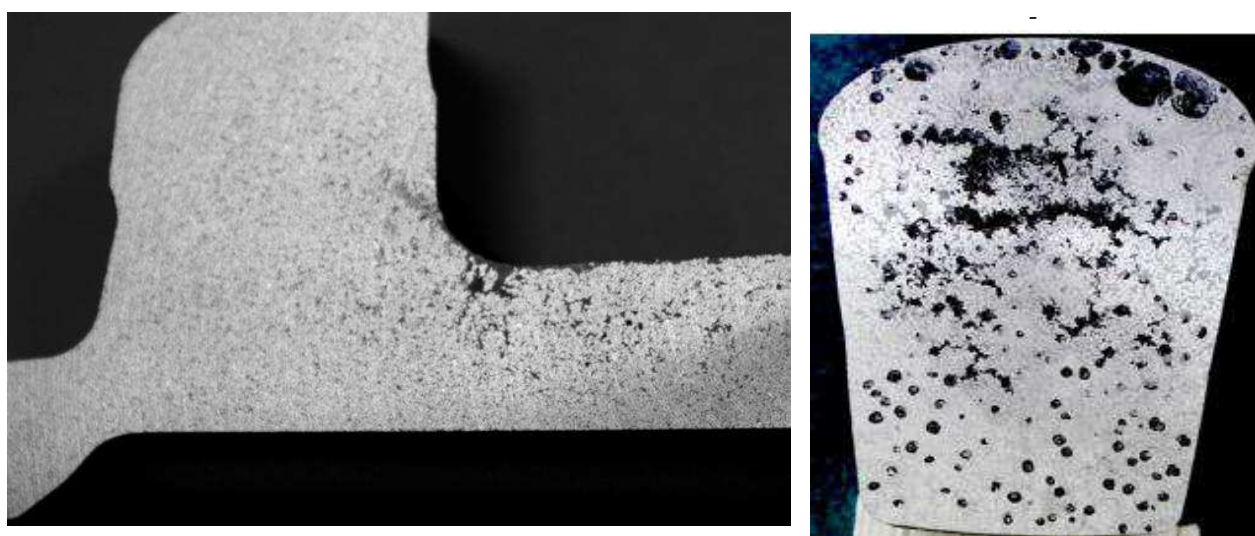
2. Установлено, что для модифицирования эвтектики достаточно стронция в количестве 0,003 % от массы жидкого металла.

3. Определено, что в процессе диффузионного отжига «игольчатые» фазы эвтектического кремния претерпевают фрагментацию и сфероидизацию. Сферическая форма эвтектического кремния влияет на показатели механических свойств, увеличивая их.

3.4. Исследование влияния дегазации инертным газом и продувки микс-газом (Ar+H) на индекс плотности

Как известно, водород может находиться в жидком металле в атомарном и молекулярном состоянии. При недостаточном рафинировании

наблюдается образование пористости газового и усадочного характера (рис.3.22). Это происходит в результате неполного удаления неметаллических включений. Как известно, неметаллические включения служат центрами образования и скопления молекулярного водорода. Это вызывает опасность при литье отливок из алюминиевых сплавов. Индекс плотности составляет 8 – 15%, в случае недостаточного рафинирования, сбое программы рафинирования, значительного количества неметаллических включений.



a

б

Рисунок 3.22 – Усадочная пористость:

a – газовая и усадочная пористость в сечении колеса; *б* – выделение и коагуляция водорода на неметаллических включениях в момент затвердевания пробы под давлением в 300 мбар

Неметаллические включения это нежелательный фактор при литье фасонных отливок. Применение длительной дегазации инертным газом способствует снижению содержания в жидком металле неметаллических включений. Но сложное сечение отливки, в котором скорость кристаллизации небольшая («тепловой» узел), способствует образованию пористости газового и усадочного характера (рис. 3.23). Индекс плотности при полной дегазации имеет значение $2,1 \pm 0,9$ %, что удовлетворяет внутреннему регламенту, которое составляет 0,5 – 4%.

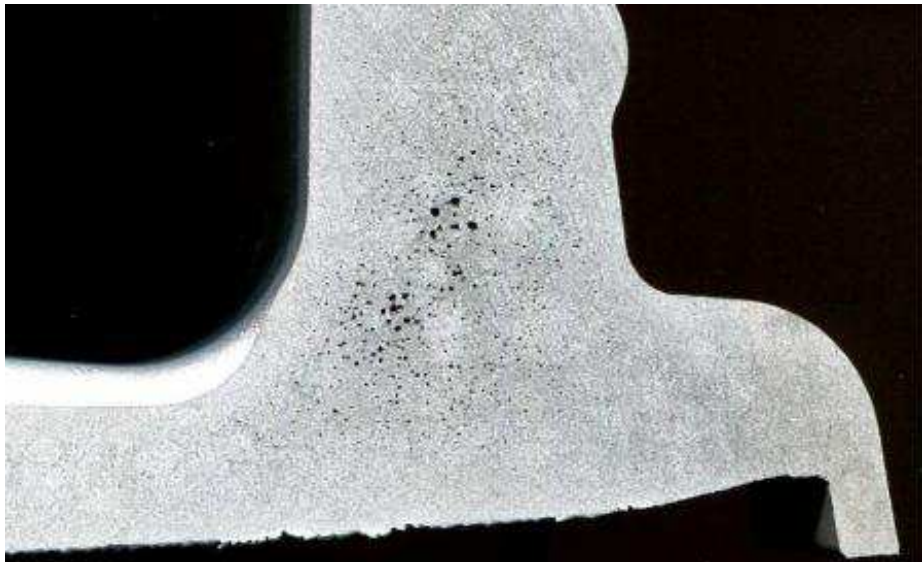
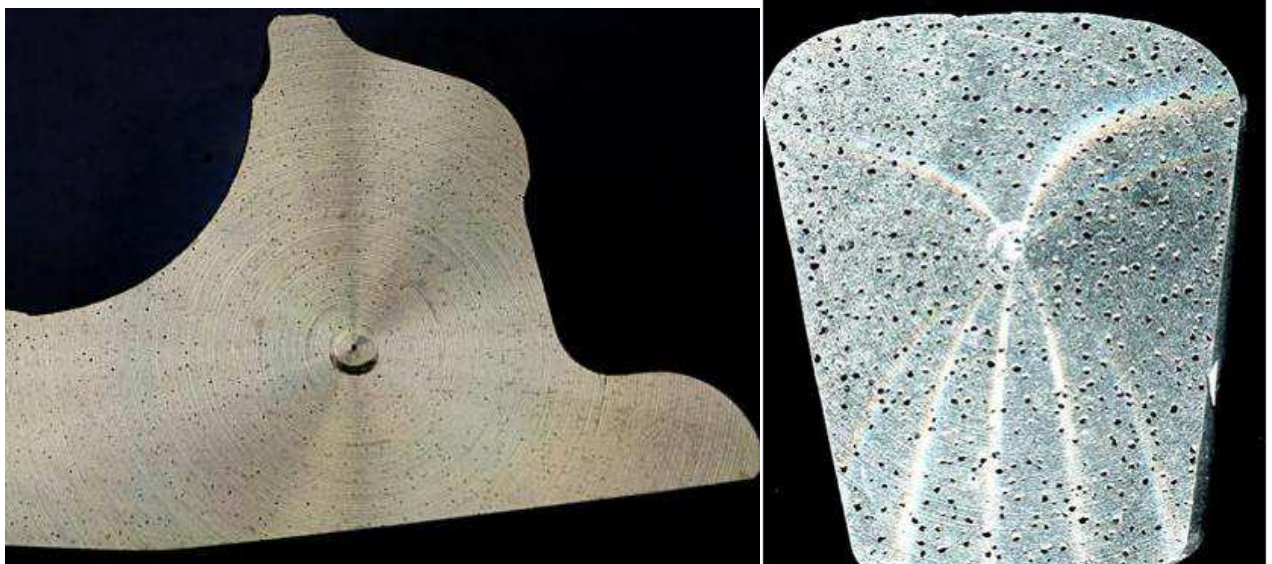


Рисунок 3.23 – Пористость в тепловом узле

Совместное действие дегазации инертным газом и продувки микс-газом (Ar+H) способствует не только удалению неметаллических включений из жидкого металла, но и насыщение его водородом. При этом происходит выделение водорода при кристаллизации на поверхности образующихся дендритов. Водород наблюдается в объеме образования усадочной рыхлоты (рис. 3.24).



a

б

Рисунок 3.24 – Газовая пористость:
a – рассеяная пористость в сечении колеса; *б* – равномерное выделение и коагуляция водорода в момент затвердевания пробы под давлением в 300 мбар

В массивных узлах отливок наиболее сложного сечения образуется грубая усадочная пористость. Для ее устранения необходимо увеличивать газонасыщение, которое включает в себя длительную дегазацию расплава инертным газом. Индекс плотности для колес со сложным сечением составляет $11,4 \pm 2$ %. Индекс плотности для устранения усадочной пористости в массивных узлах колес, с последующей алмазной обработкой составляет 9 ± 1 %. На рисунке 3.25 представлены эмпирические данные литья колес из сплава АК7.

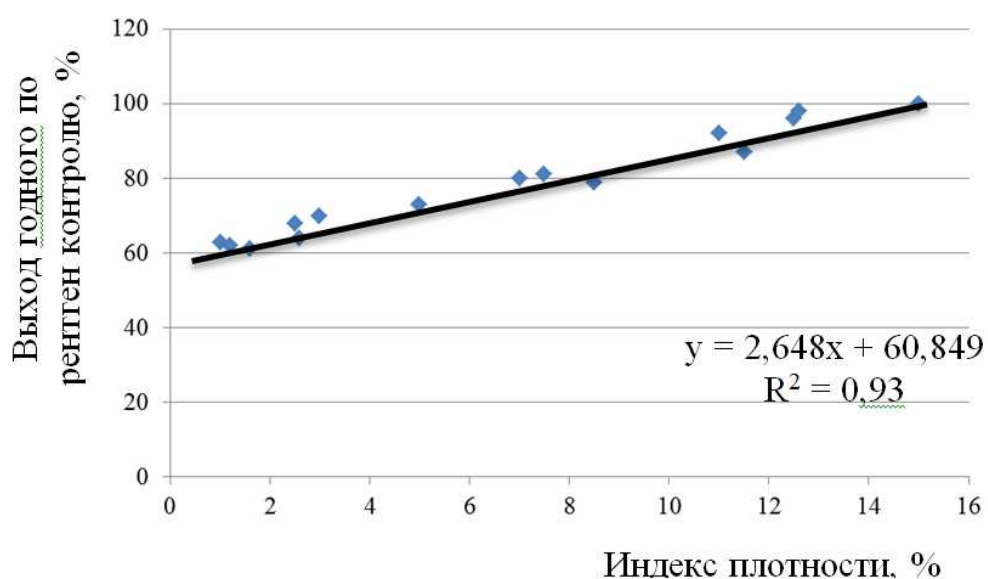


Рисунок 3.25 – Зависимость выхода годного по рентген контролю от индекса плотности

При дальнейшей обработки колес не фиксируется зависимость выхода годного, механических свойств от индекса плотности. Равномерное распределение пористости в отливках незначительно влияет на механические и эксплуатационные свойства, о чем свидетельствует представленный рисунок 3.26. Однако происходит значительное снижение усадочной пористости, которая создает дополнительное напряжение.

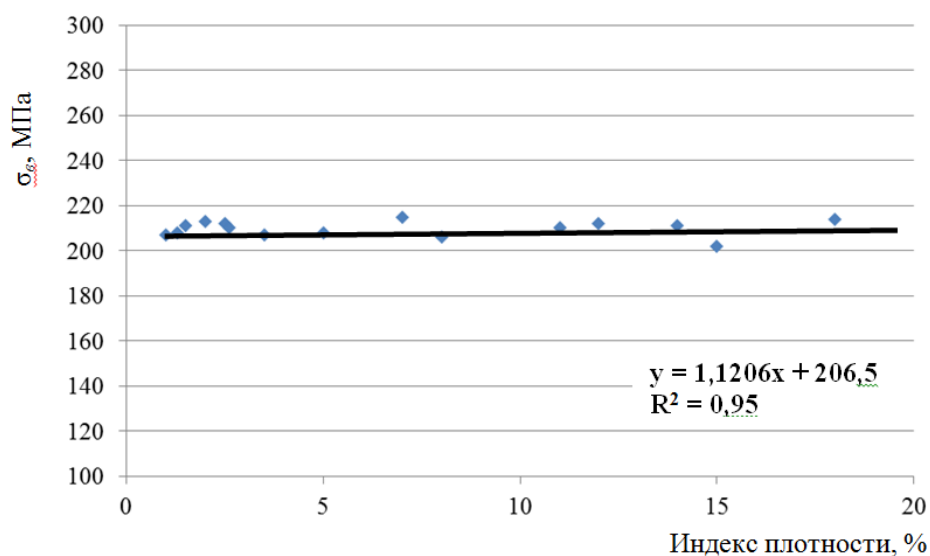


Рисунок 3.26 – Зависимость временного сопротивления разрыву от индекса плотности

Выводы по разделу:

1. При недостаточном рафинировании наблюдается образование пористости газового и усадочного характера, индекс плотности при этом составляет 8 – 15%, что не удовлетворяет внутреннему регламенту.

2. Совместное действие дегазации инертным газом и продувки микс-газом (Ar+H) способствует не только удалению неметаллических включений из жидкого металла, но и насыщению его водородом, что способствует устранению в тепловых узлах усадочной пористости.

3. Массивные узлы отливок наиболее сложного сечения требуют дополнительного газонасыщения для устранения образования грубой усадочной пористости, при этом необходимо дополнительно обрабатывать жидкий металл, согласно рентген контролю.

4. Основные результаты и выводы

1. Проведенные исследования образцов чушкового сплава разных партий, лигатуры для модифицирования показали, что качество шихты нестабильно. Наличие большого количества окисных плён, шлаковых и других инородных включений, расположенных на поверхности и в основном металле не допустимо, так как впоследствии напрямую влияет на качество отливок. На основании вышеизложенного рекомендована смена поставщика.

2. Показано, что вторая обработка Hydral 40 расплава в середине заливки является нежелательной, так как снижает плотность отливки, что говорит о значительной коагуляции газов в процессе кристаллизации. Определено, что обработка расплава препаратом Hydral 40, которая по действующей технологии происходила в печи литейной машины, увеличивала фактор появления неметаллических включений за счет дополнительного окисления при открывании печи и барботации препаратом расплава. Наиболее целесообразным оказалась обработка таблеткой 25 гр. на установке роторной дегазации, что не требует дополнительной остановки печи литейной машины, и исключает факторы, влияющие на образования неметаллических включений.

3. Было выявлено, что комплексное модифицирование сплава АК7 добавками AlTiB+AlSr способствует увеличению прочности, твердости, пластичности алюминиевого сплава. Установлено, что для модифицирования эвтектики достаточно стронция в количестве 0,003 % от массы жидкого металла. Определено, что в процессе диффузионного отжига «игольчатые» фазы эвтектического кремния претерпевают фрагментацию и сфероидизацию. Сферическая форма эвтектического кремния влияет на показатели механических свойств, увеличивая их.

4. Доказано, что совместное действие дегазации инертным газом и продувки микс-газом (Ar+H) способствует удалению неметаллических включений из жидкого металла, и устранению в тепловых узлах усадочной пористости. При недостаточном рафинировании наблюдается образование пористости газового и усадочного характера, индекс плотности при этом составляет 8 – 15 %, что не удовлетворяет внутреннему регламенту. Совместное действие дегазации инертным газом и продувки микс-газом (Ar+H) способствует не только удалению неметаллических включений из жидкого металла, но и насыщению его водородом, что способствует устранению в тепловых узлах усадочной пористости. Массивные узлы отливок наиболее сложного сечения требуют дополнительного газонасыщения для устранения образования грубой усадочной пористости.

5. Проведенные исследования позволили повысить качество литья на 10 %.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Падерин В.Н., Абдулгасис Д.У. Особенности изготовления цельных автомобильных дисков из алюминиевых сплавов литьем под низким давлением в формы с гипсовыми вставками // Ученые записки Крымского инженерно-педагогического университета. 2014. № 43. С. 66-71.

2. Падерин В.Н. Оборудование и технология заготовительного производства учеб. пособие для студ. спец. «Автомобильный транспорт» РВУЗ «КИПУ»: в 2 ч. / В.Н. Падерин, У. А. Абдулгасис. – Симферополь: ДИАЙПИ, 2014. – 173 с.

3. Падерин В.Н. Оборудование и технология заготовительного производства: учеб. пособие для студ. спец. «Технология машиностроения» РВУЗ «КИПУ» / В.Н. Падерин, А.В. Падерин. – Симферополь: ОСАQ, 2011. 439 с.

4. Техническая информация по легкосплавным дискам [Электронный ресурс] // Публикации для учащихся, 2013. - URL: <http://uchebilka.Ru/informatika/61604/index.html>

5. Парамонов В.В. Разработка технологических схем и режимов штамповки автомобильных поковок из алюминиевых сплавов: автореф. ... канд. техн. наук. – М., 2009. – 24 с.

6. Беделъ, В. К. Литье под низким давлением / В. К. Беделъ. – Москва: Машгиз, 1961. – 221 с.

7. Brown, J. R. Foseco Non-Ferrous Foundrymans Handbook / J. R. Brown. – Oxford: Butterworth Heinemann, 1999. – 296 p.

8. Парамонов, В. В. Разработка технологических схем и режимов штамповки автомобильных поковок из алюминиевых сплавов / В. В. Парамонов: автореферат дисс. канд. техн. наук. – Москва, 2006. – 24 с.

9. Мондольфо, А. Ф. Структура и свойства алюминиевых сплавов перевод с английского под редакцией Ф. И. Квалова. Г. Б. Строганова, И. Н. Фриндландера. – М.: Металлургия, 1977. – 639 с.

10. Ганиев И.Н. / Влияние стронция и способов его введения в расплав на свойства промышленных силуминов/И.Н. Ганиев, С.С. Гулов, Н.И. Ганиева, Н.В.Давлатназарова// Известия Академии наук Республики Таджикистан. Отделение физико-математических, химических, геологических и технических наук. 2007. № 1. С. 68-78.

11. Задруцкий С.П./ Влияние модифицирования эвтектики стронцием на пористость силуминов/ С.П. Задруцкий, Б.М. Немененок, Г.А. Румянцева, А.П. Бежок// «Литейные процессы» .2014. № 13. С. 11-19.

12. Аристова Н.А. / Термическая обработка литейных алюминиевых сплавов / Н.А. Аристова, И.Ф. Колобнев // М., «Металлургия», 1977. 144 с.

13. Макаров Г.С./ Слитки из алюминиевых сплавов с магнием и кремнием для прессования. Основы производства./ 2011 г. 528 стр

14. Станчек Л. / Структура и свойства отливок из силумина, затвердевших под давлением, после термической обработки / Л. Станчек, Б. Ванко, А.И. Батышев// «Металловедение и термическая обработка металлов». №4 (706). 2014 г. С. 27-32.

15. Непрерывное литье алюминиевых сплавов: справочник / В. И. Напалков, Г. В. Черепок, С. В. Махов, Ю. М. Черновол. – М.: Интермет Инжиниринг, 2005. – 512 с.

16. Пискарев, Д. В. Разработка технологии рафинирования алюминия от примесей щелочных и щелочноземельных металлов / Д. В. Пискарев : автореферат диссертации на соис. ... канд. техн. наук. –Москва, 2007. –20 с. (<http://tekhnosfera.com/razrabotka-tehnologii-rafinirovaniya-alyuminiya-ot-primesej-schyolochnyh-i-schyolochnozemelnyh-metallov>).

17. К повышению качества доэвтектических силуминов / И.Ф. Селянин, В.Б. Деев, В.В. Кожевин, Ю.А. Удотов // Ползуновский альманах. – 2004. – No 4.– С. 35–36.

18. Фомин, Б.А. Металлургия вторичного алюминия: Учебное пособие для вузов / Б.А. Фомин, В.И. Москвитин, С.В. Махов. –М.: ЭКОМЕТ, 2004. – 240 с.

19. Макаров, Г. С. Рафинирование алюминиевых сплавов газами / Г. С. Макаров. – М.: Metallurgy, 1983. – 120 с.
20. Непрерывное литье алюминиевых сплавов: справочник / В. И. Напалков, Г. В. Черепок, С. В. Махов, Ю. М. Черновол. – М.: Интернет Инжиниринг, 2005. – 512 с.
21. Цыпан, И. А. Вакуумное рафинирование / И. А. Цыпан [Электронный ресурс].–Режим доступа <http://www.thewildside.biz/vtorichnye-splavy/vakuumnoe-rafinirovanie.html>.
22. Крук, Д. С. Анализ влияния ультразвуковой обработки расплава на структуру и свойства алюминиевых сплавов / Д. С. Крук [Электронный ресурс]. – Режим доступа <http://rep.bntu.by/jspui/bitstream/data/6796/1/%D0%A1.%2011-12.pdf>
23. Борисов, Г. П. Научные основы разработки методов дальнейшего повышения свойств и технико-экономических показателей производства высококачественных отливок из алюминиевых сплавов // Литейное производство. –2008. – No 9. – С. 17–23.
24. Строганов, Г. Б. Сплавы алюминия с кремнием / Г. Б. Строганов, В. А. Ротенберг, Г.Б. Гершман. – М.: Metallurgy, 1977. – 272 с.
25. Амосов, Е. А. Влияние литой структуры на свойства и термообрабатываемость силуминов / Е. А. Амосов, К. В. Никитин, Д. С. Кривопапов [и др.] // Литейное производство. – 2012. – No 9. – С. 12–14.
26. Robert Bridi «Promag – improvements in casthouse processing using in-furnace and in-line refining systems» // Non-Ferrous Metals –2011 : International Con-143gress and Exhibition (Режимдоступаhttp://www.pyrotek.info/documents/techpapers/2011-09ROMAG_Improv_in_Casthouse--Alum_Siberia--Bridi_Prebble_Vitouch.pdf)
27. Пат. No 575376 МПК С 22 В 9/10, 1976.
28. Рафинирование алюминиевых сплавов от неметаллических примесей <http://www.thewildside.biz/vtorichnye-splavy/rafinirovanie-alyuminievyh-splavov-ot-nemetallicheskih-primesej.html>

29. Алюминиевые сплавы. Плавка и литье алюминиевых сплавов: справочное руководство // Под ред. В.И. Добаткина и др. – М.: Металлургия, 1970. – 416 с.

30. Пат. 1217905 МПК С 22 В 9/10, С 22 С 1/06 (Режим доступа <http://patentdb.su/4-1217905-flyus-dlya-rafinirovaniya-alyuminievykh-splavov.html>).

31. Пат. 962327 МПК С22 В 21/06 (Режим доступа <http://patentdb.su/2-962327-flyus-dlya-rafinirovaniya-alyuminiya-i-ego-splavov.html>).

32. Газы и окислы в алюминиевых деформируемых сплавах / В. И. Добаткин, Р. М. Габидуллин, Б. А. Колачев, Г. С. Макаров. – М.: Металлургия, 1976. – 264 с.

33. Словарь-справочник по литейному производству / В. Н. Иванов. – М.: Машиностроение, 1990. – 384 с.

34. Фомин, Б. А. Металлургия вторичного алюминия: Учебное пособие для вузов / Б. А. Фомин, В. И. Москвитин, С. В. Махов. – М.: ЭКОМЕТ, 2004. – 240 с.

35. Абалымов, В. Р. Исследование влияния легирования магнием сплава АК12 на структуру и свойства автомобильных колес / В. Р. Абалымов, Ю. А. Клейменов, Т. Н. Дроздова и др.: Техника и технологии. – Красноярск, 2015. – том 8, номер 7 – С. 948–956.

36. К повышению качества доэвтектических силуминов / И.Ф. Селянин, В.Б. Деев, В.В. Кожевин, Ю.А. Удотов // Ползуновский альманах. – 2004. – No 4. – С. 35–36.

37. Строганов, Г. Б. Сплавы алюминия с кремнием: науч. изд. / Г. Б. Строганов, В. А. Ротенберг, Г. Б. Гершман. – М.: Металлургия, 1977. – 271с.

38. Меркулова, Г. А. Металловедение и термическая обработка цветных сплавов: учеб. пособие / Г. А. Меркулова. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2008. – 312 с.

39. Модифицирование силуминов стронцием / Под ред. К.В. Горева. – Мн.: Наука и техника, 1985. – 143с.

40. Новиков, И. И. *Металловедение, термообработка и рентгенография: Учебник для вузов / И. И. Новиков, Г. Б. Строганов, А. И. Новиков.* – М.: «МИСИС». – 1994. – 480 с.

41. Dasgupta, S. Relationship between the reduced pressure test and hydrogen content of the melt / S. Dasgupta, L. Parmenter, D. Apelian, F. Jensen : in the Proceed-ings of the 5th International Molten Aluminum Processing Conference. – November 8-10, 1998, published by AFS, Des Plaines, Ill. – pp. 283-300.

42. Антонов, М. М. Исследование влияния технологических параметров на индекс плотности сплава АК12 / М. М. Антонов // Молодежь и наука: сборник материалов VIII Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященной 155-летию со дня рождения К.Э.Циолковского [Электронный ресурс] По заказу 7880/отв. ред. О.А.Краев - Красноярск: Сиб. федер. ун-т., 2012. – Режим доступа <http://conf.sfu-kras.ru/sites/mn2012/thesis/s003/s003-040.pdf>

43. ГОСТ Р 50511-93. Колеса из легких сплавов для пневматических шин. Общие технические условия.

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Политехнический институт
институт
Материаловедение и технология обработки материалов
Кафедра

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой
Темных В.И.
подпись _____ инициалы, фамилия
« 25 » июня 2018 г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Исследование и совершенствование технологии изготовления сплава АК7
для автомобилестроения

22.04.01 Материаловедение и технологии материалов
код и наименование направление
22.04.01.02 Литье новых металлических материалов
код и наименование направление магистерской программы

Научный руководитель Черепанов А.И.
подпись _____ дата _____ должность, ученая степень инициалы, фамилия
Выпускник Ларионов В.А.
подпись _____ дата _____ инициалы, фамилия
Рецензент Мусохранов Ю.М.
подпись _____ дата _____ должность, ученая степень инициалы, фамилия

Красноярск 2018 год

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Политехнический институт

институт

Материаловедение и технология обработки материалов

Кафедра

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

Темных В.И.

подпись

инициалы, фамилия

ЗАДАНИЕ

НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ

в форме

магистерской диссертации

Магистру Ларионову Вадиму Анатольевичу

Группа МТ 16-01М Направление (специальность) 22.04.01.

Материаловедение и технологии материалов

Тема выпускной квалификационной работы: «Исследование и совершенствование технологии приготовления сплава АК7 для автомобилестроения»

Утверждена приказом по университету № 16290/с от 22.11.16

Руководитель ВКР Черепанов А.И., доцент к.т.н

Исходные данные для ВКР информационный обзор, исследования на кафедре

Перечень разделов ВКР:

1. Литературный обзор.
2. Исходные материалы, экспериментальное оборудование и методы исследования.
3. Результаты опытов и их обсуждение.

Перечень графического материала.

Руководитель ВКР

подпись, дата



доцент, к.т.н. Черепанов А.И.

должность, ученая степень, инициалы, фамилия

Задание принял к исполнению

подпись, дата



Ларионов В.А.

инициалы, фамилия