



## СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
1 Применение алюминиевых сплавов в машиностроении, классификация, физические, технологические свойства .....	5
2 Технологические особенности обработки сплавов системы Al–Si для литья легкосплавных колес.....	9
2.1 Модифицирование сплава.....	9
3 Химический состав, физические и технологические свойства АК7ч.....	14
4 Шихтовые материалы для сплава АК7 .....	16
4.1 Технические требования лигатур .....	16
5 Технологические операции сплава АК7ч .....	20
5.1 Подготовка шихтовых материалов.....	20
5.2 Порядок загрузки шихтовых материалов .....	20
6 Рафинирование сплава.....	22
7 Технология приготовления сплава АК7ч .....	33
8 Оборудование для получения алюминиевого сплава.....	42
9 Контроль качества.....	44
9.1 Разработка и контроль качества при плавке и литье сплава АК7ч.....	44
Заключение .....	51
Список использованных источников .....	52

## ВВЕДЕНИЕ

Технический прогресс невозможен без создания материалов, обладающих новыми и более высокими свойствами. От современного конструкционного материала требуется хорошая механическая прочность в сочетании с малой плотностью и хорошей коррозионной стойкостью, все эти требования можно отнести к алюминию.

Производство сплавов – это сложный металлургический процесс, основанный на предварительном расплавлении шихтовых материалов и последующем введении в расплав легирующих и модифицирующих добавок.

Каждый вид шихтового материала должен соответствовать требованиям ГОСТ или другим нормативным документам.

Качество и стоимость сплава существенно зависят от вида шихтовых материалов, применяемых при плавке, а также от их соотношения.

Для выплавки сплава заданного состава необходимо предварительно составить и рассчитать шихту, которая должна обеспечить возможность получения из нее жидкого сплава требуемого состава и качества.

Приготовление качественных алюминиевых сплавов предполагает безусловное выполнения ряда условий, обеспечивающих ограниченное содержание металлических (прежде всего, железа) и неметаллических (водорода и оксида алюминия) примесей, а также обработку расплава с целью получения заданной структуры сплава в твердом состоянии.

В России производство легкосплавных колес только начинает развиваться. Практически единственное мощное предприятие с торговой маркой «К и К», расположенное в г. Красноярске производит колеса, главным образом, на вторичный рынок. За 10-ти летний период развития этого предприятия только начала проявляться тенденция завоевания российского первичного рынка. Резкого улучшения ситуации с легкосплавными колесами в России можно добиться за счет увеличения числа современных предприятий, специализирующихся на их выпуске.

Целью данной работы является разработка технологии приготовления литейного сплава для автомобильных дисков. Были поставлены следующие задачи:

- проанализировать научно-техническую литературу;
- разработать современную технологию модифицирование силуминов;
- разработать технологию рафинирования алюминиевых сплавов;
- выбрать технологию и оборудование по контролю газонасыщенности сплава по ходу плавки.

## **1 Применение алюминиевых сплавов в машиностроении, классификация, физические, технологические свойства**

В настоящее время алюминий и его сплавы используют практически во всех областях современной техники. Важнейшие потребители алюминия и его сплавов – авиационная и автомобильная отрасли промышленности, железнодорожный и водный транспорт, машиностроение, электротехническая промышленность и приборостроение, промышленное и гражданское строительство, химическая промышленность, производство предметов народного потребления.

Классификация, физические, технологические свойства.

Возможность применения того или иного сплава в промышленности для массового или крупносерийного производства определяется, во-первых, его эксплуатационными свойствами (прочность, физические свойства, коррозионная стойкость), во-вторых, технологическими свойствами, т.е. теми свойствами, которые обуславливают поведение сплава в процессе изготовления из него изделий. К технологическим свойствам относятся литейные свойства, способность к обработке давлением, обрабатываемость резанием, свариваемость и др. Нередки случаи, когда сплав с очень хорошими эксплуатационными свойствами не находит применения из-за плохих технологических свойств. Для литейных сплавов значение технологических свойств особенно велико. Главные технологические свойства для них – литейные: 1) жидкотекучесть; 2) объемная и линейная усадка; 3) склонность к образованию горячих трещин; 4) склонность к образованию усадочной и газовой пористости; 5) склонность к ликвации. Литейные свойства сплавов, которые не обрабатывают давлением и используют в конструкции в литом состоянии, определяют не только возможность получения изделия (фасонной отливки), но и качество этого изделия. Все дефекты литой структуры, зависящие от литейных свойств (усадочная и газовая пористость, ликвационная неоднородность состава, микротрещины), сохраняются в изделии. В качестве литейных наиболее широко распространены сплавы на основе систем Al–Si.

В зависимости от химического состава алюминиевые литейные сплавы подразделяют на пять групп.

Первая группа – сплавы на основе Al и Si (силумины); для получения мелкозернистой структуры необходимо применять модифицирование.

Вторая группа – сплавы на основе системы Al–Si–Cu; хорошие литейные свойства объясняются оптимальным сочетанием содержания кремния и меди; такое содержание легирующих элементов позволяет применять термическую обработку для повышения механических свойств сплавов.

Третья группа – сплавы на основе системы Al–Cu; обладают способностью к термической обработке, после чего улучшаются их механические свойства, литейные свойства хуже, чем у силуминов.

Четвертая группа – сплавы на основе системы Al–Mg; обладают повышенными механическими свойствами за счет легирования титаном, бериллием, цирконием; сплавы этой группы выдерживают высокие статические и ударные нагрузки.

Пятая группа – сплавы на основе системы Al – прочие элементы (Ni–Ti и др.); обладают жароупорными свойствами, т. е. хорошо работают при повышенных температурах; то же можно сказать и о давлениях [30].

Сплавы Al–Si, эвтектика содержит 11,7 % Si и состоит из твердого раствора кремния в алюминии. Максимальная растворимость кремния в алюминии составляет 1,65 % при эвтектической температуре 577 °С.

По мере увеличения в доэвтектических сплавах содержания кремния в их структуре возрастает количество эвтектики и улучшаются литейные свойства.

Обычная структура доэвтектических силуминов состоит из дендритов твердого раствора кремния в алюминии и эвтектики: твердый раствор – кремний. Крупные выделения пластинок кремния в эвтектике, являясь концентраторами напряжений, сильно снижают пластичность сплава (подобно крупным пластинкам графита в чугуне). Для измельчения включений кремния сплавы модифицируют солями натрия (NaF + NaCl). Эффект модифицирования тем больше, чем выше содержание кремния, так как модификатор действует только

на кремний. В сплавах, содержащих менее 8 % Si, применение модифицирования теряет смысл, так как улучшение свойств незначительное и может перекрываться влиянием скорости охлаждения. [31] Модифицирования зерна производится для измельчения макрозерна и различных фаз, а так же для придания им благоприятной формы. Обычно флюсы вводят в количестве 0,005–0,1 %.

В результате возникает реакция



В нашем случае будет проводиться модифицирование лигатурами, так как эффект модифицирования лигатур намного продолжительней и экологичней.

К простым двойным силуминам относится только один сплав АЛ2 (АК12). Из-за отсутствия в составе интерметаллидов он является нетермообрабатываемым, но обязательно модифицированным.

В специальных силуминах (АЛ4, АЛ9, АЛ34) при введении в них магния образуется интерметаллид  $\text{Mg}_2\text{Si}$ , который является упрочняющей фазой. В литом состоянии крупные выделения  $\text{Mg}_2\text{Si}$  располагаются по границам зерен, придавая сплаву хрупкость. Для измельчения структуры и увеличения пластических свойств отливки из специальных силуминов подвергают закалке и искусственному старению.

В сплавы АЛ5, АЛ32, ВАЛ8, АК5М2, АК5М7, АК6М2, АК5М4, АК8М3, АК9М2 дополнительно с магнием вводится медь от 1 до 7 %. При этом появляются новые упрочняющие фазы, в частности интерметаллид  $\text{CuAl}_2$ . Как уже отмечалось выше, сплавы с уменьшенным содержанием кремния не модифицируют, а подвергают термической обработке.

Эвтектические специальные силумины (АЛ25, АЛ30, АК12М2) содержат дополнительно 1,0 – 2,0 % Ni, повышающего их жаростойкость. Взамен эвтектических силуминов разработаны сплавы, называемые «никалинами», в которых в качестве второй фазы эвтектики содержатся соединения  $\text{Al}_3\text{Ni}$ . Такая эвтектика обладает более дисперсным строением и более высокой температурой

плавления (640 против 577 °С) по сравнению с алюминиево-кремниевой. Заэвтектический силумин АК21М2,5Н2,5 (ВКЖЛС–2) характеризуется хорошими антифрикционными, антикоррозионными свойствами и низким температурным коэффициентом линейного расширения (у кремния он меньше, чем у алюминия).

Для изготовления легкосплавных колес широко применяются сплавы АК12 и АК7ч.

Для этих сплавов будет производиться термообработка, первый этап – это диффузионный отжиг. Процесс диффузионного отжига происходит в автоматическом режиме в печи туннельного типа с электрическим нагревом, температура циркулирующего воздуха в рабочем режиме 535 °С, время нагрева 1,2 часа, время выдержки 5 часов.

Закалка производится в воде, предварительно нагретой до температуры 80 °С. Опускание колес в закалочную ванну с водой производится при помощи подъемной станции. После процесса закалки колеса передают в печь термического упрочнения. Транспортировка осуществляется при помощи роликовых транспортеров.



## 2 Технологические особенности обработки сплавов системы Al–Si для литья легкосплавных колес

### 2.1 Модифицирование сплава

В производстве слитков из алюминиевых сплавов, легированных магнием и кремнием, особое внимание уделяют операции модифицирования, так как она позволяет в результате получения требуемых характеристик структуры не только заметно улучшить технологичность металла при литье, гомогенизации, прессовании, но и исключить ряд дефектов слитков и деформированных полуфабрикатов, способствуя снижению производственных затрат.

В какой-то момент растущие кристаллы твердой фазы соприкасаются, происходит срастание их осей, препятствующее взаимному смещению и перемещению отдельных кристаллов. В результате образуется слой в виде непрерывной поверхности раздела, которая и является в этом случае фронтом кристаллизации. Фронт кристаллизации, с одной стороны, и зеркало расплава в кристаллизаторе, с другой стороны, ограничивают объем металла, который принято называть лункой, а двухфазную область, заключенную между фронтом кристаллизации и поверхностью конца затвердевания, – переходной зоной [21].

По мнению В.И. Добаткина [22] существуют три типа затвердевания слитков при непрерывном литье: последовательная кристаллизация, приближенно-последовательная кристаллизация и объемно-последовательная кристаллизация. Несмотря на некоторую условность, эта классификация достаточно достоверно отображает реальную картину затвердевания слитков, подчеркивая связь структуры с характером их кристаллизации.

В результате многочисленных исследований закономерностей процесса измельчения зерна в слитках алюминиевых сплавов, проведенных во второй половине прошлого столетия, наиболее широкое распространение в практике получили добавки титана и совместные добавки титана и бора. Впервые они, а также карбид титана предложены *A. Cibula* [23]. Обобщение результатов работ в

области модифицирования алюминиевых сплавов этими добавками было сделано специалистами ВИЛСа [24], компании *London & Scandinavian Metallurgical Co.* [25] и исследовательского центра компании *Hydro Aluminium Deutschland* [26].

Сплавы на основе системы Al–Si (силумины) подразделяют на двойные (или простые), легированные только кремнием, и специальные, в которых, помимо кремния, содержатся в небольшом количестве другие легирующие компоненты Mg и другие легирующие элементы. Кремний имеет переменную растворимость в алюминии, которая начинает возрастать от 0,1% при комнатной температуре до 1,65 % при эвтектической температуре (577 °C).

Однако упрочняющий эффект, связанный с указанной обработкой, крайне мал и не имеет практического значения. Таким образом, двойные (простые) силумины относятся к числу термически не упрочняемых сплавов, обладающих невысокими прочностными характеристиками. Единственный способ несколько повысить их прочность и пластичность – измельчение эвтектических кристаллов кремния, которое может быть достигнуто двумя путями: 1) увеличением скорости охлаждения при кристаллизации, 2) введением в сплавы малых добавок (сотые доли процента) щелочных металлов (натрия, лития, стронция). Первый путь дает хорошие результаты.

Однако он находит ограниченное применение – для тонкостенных деталей, которые могут быть отлиты в металлический кокиль или методом литья под давлением. Второй путь – модифицирование структуры силуминов малыми добавками – более универсален. Модифицированием структуры обычно называют изменение, улучшение структуры при введении малых добавок не вследствие образования каких-либо новых структурных составляющих, а в результате влияния этих добавок на величину и форму структурных составляющих, образованных другими компонентами. На (рис. 1) показано влияние натрия на структуру эвтектического силумина. Присутствие натрия в силуминах вызывает, кроме того, сдвиг эвтектической точки в сторону более высоких concentra-

ций кремния, поэтому эвтектический до модифицирования сплав после модифицирования имеет структуру доэвтектического.

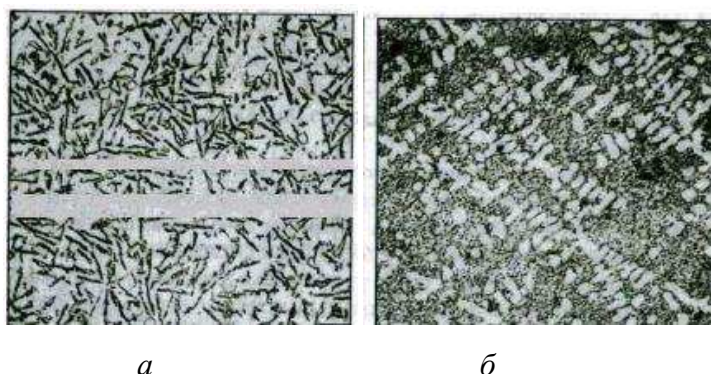


Рисунок 1 – Структура эвтектического силумина, отлитого в песчаную форму, х 320:  
*a* – до модифицирования; *б* – после модифицирования

Натрий обычно вводят в сплавы в виде смеси солей, чтобы в сплаве содержалось 0,05 % Na, необходимо ввести 2 % смеси. Металлический натрий в жидком сплаве образуется в результате взаимодействия солей натрия с алюминием. В последние годы более широкое применение находит модифицирование силуминов добавками стронция, который оказывает примерно такое же влияние на структуру и свойства как Na. Модифицирование стронцием – экологически более чистый процесс, обладает длительным эффектом модифицирования – не менее трех часов по сравнению с 45 минутами натрия, так как стронций вводят в виде лигатуры (металлического сплава) Al–Sr, а не в виде фтористых и хлористых солей, что сопряжено с выделением ядовитых газов (P, Cl). Природе модифицирования силуминов посвящено много работ, но до настоящего времени нет единого представления о механизме модифицирования. Определенные экспериментальные подтверждения получила теория, в соответствии с которой присутствующий в расплаве натрий при кристаллизации сплава адсорбируется на поверхности кристаллов кремния и препятствует их дальнейшему росту. Эффект модифицирования, т.е. улучшение механических свойств вследствие модифицирования, тем больше, чем выше содержание кремния в сплаве.

Это понятно, поскольку при модифицировании меняются величина и форма кристаллов эвтектического кремния.

Для силуминов, содержащих менее 5 % Si, модифицирование уже теряет практический смысл. Из дополнительных легирующих компонентов в силуминах наибольшее значение имеют магний и медь, введение которых делает сплавы термически упрочняемыми. В присутствии больших количеств кремния растворимость фазы  $Mg_2Si$  в алюминии уменьшается, поэтому содержание магния в силуминах меньше, чем в деформируемых сплавах системы  $Al-Mg-Si$ , и тем меньше, чем выше содержание кремния.

Специальные силумины, содержащие магний и медь, подвергают закалке и последующему искусственному старению. Упрочнение специальных силуминов при термической обработке обеспечивает их значительно более высокую прочность, особенно предел текучести, при пониженной пластичности по сравнению с простым силумином. При литье таких же образцов в металлические формы (кокили) или на специальных машинах под давлением механические свойства улучшаются: значения предела прочности  $\sigma_B$  и предела текучести  $\sigma_{0,2}$  увеличиваются на 20–30 МПа, повышается также и относительное удлинение. Это связано с более высокой скоростью кристаллизации сплавов при литье в металлические формы, что ведет к утонению дендритных ветвей и измельчению частиц нерастворимых фаз (прежде всего кремния).

Механические свойства литейных сплавов, полученные на образцах, вырезанных из отливок, обычно существенно отличаются от механических свойств отдельно отлитых образцов; как правило, они ниже, поскольку условия кристаллизации реальных отливок менее благоприятны, чем отдельно отлитых образцов. Силумины отличаются малой плотностью, так как в их состав входит кремний более легкий элемент, чем алюминий. Сплавы системы  $Al-Si$  характеризуются высокой коррозионной стойкостью, причем добавки марганца и магния дополнительно повышают ее. Медь же резко снижает коррозионную стойкость. Так, у сплава АК5М ( $Al5$ ), содержащего 1,0–1,5 % Cu, коррозионная

стойкость ниже, чем у других силуминов. Высокие литейные свойства силуминов определяют их хорошую свариваемость плавлением.

Важное преимущество этого сплава малый интервал кристаллизации (близкий к нулю), поэтому в отливках не образуется усадочной пористости. Сплав рекомендуется для изготовления герметичных деталей. Однако образование концентрированных усадочных раковин (что характерно для сплавов с малым интервалом кристаллизации) вызывает трудности при отливке крупных и сложных по конфигурации деталей. На рисунке 2 представлена диаграмму Al-Si

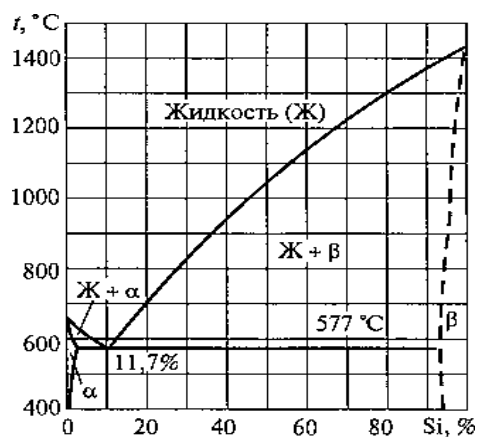


Рисунок 2 – Диаграмма Al-Si

В соответствии с заданием необходимо разработать технологию приготовления сплава АК7ч для литья автомобильных дисков.

### **3 Химический состав, физические и технологические свойства АК7ч**

Химический состав и его свойства регламентированы ГОСТ Р 50511–93

Перед тем как перейти к свойствам, рассмотрим эксплуатационные требования и технологические к готовым автомобильным дискам.

Эксплуатационные требования:

- прочность;
- износостойкость;
- коррозионная стойкость;
- конструкционная стойкость;
- пластичность;
- маленькая ликвация;
- жесткость;
- маленькая ликвация;

Технологические свойства:

- усадка;
- Жидкотекучесть;
- низкая усадочная пористость;
- коэффициент усадки;

Условия работы автомобильных дисков:

- циклические;
- динамические;
- статические.

Типы воздействия на колеса по средам:

- температурные;
- агрессивные;
- абразивное воздействие.

Таблица 1 – Химический состав в % сплава АК7ч ГОСТ Р 50511–93

Fe	Si	Mn	Al	Cu	Pb	Mg	Zn	Sn	Примесей
До 0,2 %	6–8	–	Основа	–	–	0,2 – 0,4	–	–	всего 2 – кол-во, %

Таблица 2 – Механические свойства при T = 20 °С материала АК7ч

Марка сплава	Способ литья	Вид термической обработки	Предел прочности $\sigma_b$ , МПа	Относительное удлинение $\delta$ , %	Твёрдость НВ, МПа
АК7ч	Под низким давлением	T4	210–225	5–11	75–95

Таблица 3 – Физические свойства материала АК7ч

Температура T	Коэффициент температурного (линейного) расширения, $\alpha \cdot 10^6$	Коэффициент теплопроводности (теплоёмкость материала), $\lambda$	Плотность материала, $\rho$	Удельная теплоёмкость материала, C
Град	1/Град	Вт/(м · град)	Кг/м <sup>3</sup>	Дж/(кг·град)
20	21,8	155	2660	880

## **4 Шихтовые материалы для сплава АК7**

При производстве отливок из цветных сплавов в качестве шихтовых материалов используют:

- первичные цветные металлы, которые являются основой или легирующими компонентами сплавов – алюминий, магний, кремний.
- лигатуры цветных металлов и сплавов;
- отходы литейных и механических цехов (литники, выпоры, прибыли, бракованные отливки, стружка и др.) после специальной подготовки

Химический состав первичных и цветных металлов, чушек вторичных цветных сплавов, лигатур и лома должен соответствовать требованиям ГОСТа, ОСТа или ТУ. Шихтовые материалы для сплава АК7ч приведены в таблице 4.

Материалы подобраны таким образом, чтобы получить минимальное содержание примесей в сплаве, в т.ч. железа не более 0.15–0.17 %. Это обеспечивает повышение пластических свойств сплава (относительное удлинение) выше требований ГОСТа. Для обеспечения механических свойств применяются модифицирующие лигатуры Al–Sr10 и Al–Ti5–B1, предъявляемые требования и состав лигатур описаны в ГОСТ Р 53777–2010.

Алюминий А85 гост 11069–2001, кремний кристаллический марки Кр00 гост 2169-69, магний ГОСТ 804–93.

### **4.1 Технические требования лигатур**

Изготовление, контроль и приемку лигатур на предприятии-изготовителе проводят по техническим документам, утвержденным на предприятии-изготовителе с учетом требований настоящего стандарта.

Марки и химический состав лигатур должны соответствовать

Массовая доля элементов максимальная, если не указаны пределы.



Лигатуры изготавливают в виде вафельных пластин массой не более 10 килограмм или в виде прутка диаметром  $(9,5 \pm 0,5)$  миллиметров, смотанного в бухту массой не более 180 килограмм.

Размеры вафельных пластин подлежат согласованию между изготовителем и потребителем лигатур. Рекомендуемые размеры вафельных пластин:  $440 \times 220 \times 50$ ,  $500 \times 200 \times 50$  или  $300 \times 200 \times 50$  мм.

Поверхность вафельных пластин должна быть чистой. На поверхности не допускаются шлаковые и другие инородные включения, видимые невооруженным глазом. На поверхности допускаются следы окисных плен, следы вырубки или зачистки дефектов.

Наличие на поверхности прутков и макрошлифе шлаковых и других инородных включений, видимых невооруженным глазом, не допускается.

Плавка должна быть идентифицирована соответствующим номером. Форма образцов и условия их отбора для химического и спектрального анализов определяются технологическими инструкциями предприятия-изготовителя. Каждый образец должен быть отобран от расплавленного металла из печи, жидкого потока, отлитой пластины или прутка после завершения процесса обработки.

Таблица 4 – Химический состав шихтовых материалов, %

Марка сплава	Fe	Si	Ti	B	Sr	Cu	Ca	Na	Si	Mg
A85	0,07	0,06	0,01	–	–	0,0003	0,002	–	0,06	0,02
Al–Sr10	0,1	–	–	–	10,44	–	–	0,016	0,3	0,1
Al–Ti5–B1	0,1	0,13	4,72	0,98	–	–	–	–	0,2	–

Выполним расчет компонентов на 100 кг сплава АК7ч.

Расчет компонентов: стронция по расчету 0,03 %, титана 0,06 %.

Рассчитаем количество лигатуры Al–Sr. В 100 кг сплава должно быть стронция 0,03 %, что составляет:  $100 \text{ кг} \times 0,03 \% = 0,03 \text{ кг}$ . Известно, что со-

держание стронция в лигатуре 10 %, тогда решая пропорцию, получим 0,3 кг лигатуры Al–Sr. Тогда Al в лигатуре:  $0,3 \text{ кг} - 0,03 \text{ кг} = 0,270 \text{ кг}$ .

Нужно рассчитать, сколько грамм лигатуры нужно взять, если имеется 30 г чистого стронция в лигатуре:

30 грамм – 10 %;

X грамм – 100 %.

Из этого следует, что нам необходимо взять 300 грамм лигатуры.

$300 - 30 = 270$  грамм алюминия в лигатуре

Титан в процентном соотношении 0,06 % чистого титана равняется (60 граммам).

Титан от общей массы лигатуры – 5 %

60 – 5 %;

X – 100 % .

Получается, что на 100 кг алюминия нам нужно взять 1200 (грамм этой лигатуры).

12 грамм бора, из этого следует, что алюминия в этой лигатуре равно

$1200 - 60 - 12 = 1128$ (грамм алюминия)

398 грамм алюминия из 2-х лигатур

Расчет шихтовых материалов выполнен на 100 кг. сплава, исходя из содержания табл. 4

Шихтовые материалы

Mg 0,3% – 300 гр;

Si 7% – 7 кг;

Al–Sr10 – 300 гр;

Al–Ti5–B– 1200 гр;

Al марки А85 – остальное.

Из этого рассчитаем количество алюминия:

$100 - 0,03 - 1,200 - 0,03 - 7 = 91,2 \text{ кг}$ .

Таблица 5 – Количество шихтовых материалов на 100 кг

Кремний, Кр00, кг	Магний, Мг90 кг	Лигатура Al–Ti–B, кг.	Лигатура Al–Sr10, кг	Алюминий А85- основа, кг
7,0	0,3	1,2	0,3	91,2

## **5 Технологические операции сплава АК7ч**

### **5.1 Подготовка шихтовых материалов**

Требования к шихтовым материалам:

- Шихтовые материалы должны храниться в крытых сухих помещениях.
- Состав шихтовых материалов устанавливается технологическим процессом, а для конкретного плавильного агрегата в соответствии с расчётом.
- Шихта для плавки алюминиевых сплавов не должна быть влажной и загрязнённой маслом, эмульсией, землёй.

Исходя из выше сказанных требований к шихтовым материалам, нужно:

- Очистить шихтовые материалы от посторонних включений.
- Нарезать шихтовые материалы на отдельные части до размеров, соответствующих размерам тигля.
- Отчистить шихтовые материалы до полного удаления загрязнений.
- Нагреть все компоненты шихты, вводимые в жидкий металл, до 150–200 °С во избежание выбросов металла.

В состав шихты вводят чушковый первичный алюминий и первичные литейные алюминиевые сплавы, возврат, лом и отходы. Тугоплавкие легирующие элементы, в нашем случае титан и цирконий, а также легкоокисляющиеся элементы вводят в виде лигатур для облегчения, растворения и уменьшения угара.

### **5.2 Порядок загрузки шихтовых материалов**

Отходы собственного производства (брак деталей, стружка после механической обработки колес):

- чушковый алюминий;
- кремний;
- магний;
- модифицирующие лигатуры.

Загружают в печь отходы, по мере плавления загружаем алюминий, затем температура доводится до 900 градусов, загружается кремний, когда кремний растворится температура снижется до 740–730 градусов и вводится магний. Затем металл переливается в ковш и ковш устанавливается в установку для рафинирования, далее туда вводятся модификаторы и в это время производится рафинирование, перемешивание.



Рисунок 3 – Порядок загрузки шихтовых материалов при плавке при получении сплава

## 6 Рафинирование сплава

Ввиду высокой химической активности алюминия и кремния в расплавленном металле всегда в том или ином количестве присутствуют загрязняющие его вещества, которые в зависимости от их природы можно отнести к металлическим и неметаллическим примесям.

Загрязнение алюминия металлическими примесями начинается еще на стадии электролиза, когда из глинозема, анодной массы, электролита и конструктивных элементов электролизера в алюминий переходят железо, кремний, натрий, магний, литий, галлий, титан, хром, олово, марганец, медь, свинец, никель, ванадий и другие металлы. В результате первичный алюминий содержит более 50 различных примесей, хотя концентрация большинства из них и не превышает 0,001 % [1].

Среди них, наиболее заметное отрицательное влияние на технологические свойства литейных сплавов системы Al–Si оказывают железо и для сплавов, содержащих избыток натрия. Содержание железа зависит от сортности алюминия и, как правило, в марках, используемых для производства этих сплавов, не превышает 0,2 %. Натрий же присутствует в жидком первичном алюминии вследствие восстановления криолита алюминием, и в зависимости от криолитового отношения электролита его концентрация может достигать до 0,015 %. Дальнейшее загрязнение расплава металлическими примесями происходит на этапе производства сплавов в результате его взаимодействия с футеровкой и флюсами. Кроме того, значительная доля примесей поступает с шихтовыми материалами, из которых основным их поставщиком является скрап. Поэтому, учитывая большое вовлечение в шихту в современных условиях ломов и отходов, особо важную роль приобретают операции их разделки и сортировки. Это связано с тем, что металлические примеси в жидком металле находятся в растворенном состоянии и их удаление в процессе рафинирующей обработки возможно в том случае, если они отличаются достаточной химической активностью и являются, как, например, натрий, поверхностно-активными веществами

в алюминиевых расплавах. Такие же элементы, как железо, кремний, цинк, медь, марганец, титан, свинец, олово и др., не могут быть удалены из расплава в процессе производства слитков. Единственный путь уменьшения их содержания - разбавление плавки чистым металлом, что не всегда возможно по техническим ограничениям и экономическим соображениям.

К неметаллическим примесям в алюминиевых расплавах относятся водород и неметаллические включения.

Содержание водорода в рассматриваемых сплавах невелико и при приготовлении расплава в пламенной печи не превышает  $0,4 \text{ см}^3/100 \text{ г}$ , или  $3,6 \cdot 10^{-5} \%$ . По сравнению с другими металлическими примесями это ничтожная величина, но ее приходится принимать во внимание из-за особенностей поведения водорода в металле. В алюминиевом расплаве подавляющее количество водорода находится в растворенном состоянии, но при кристаллизации сплава растворимость водорода в твердом металле скачкообразно (в 18 раз) снижается, и значительная часть водорода остается в пересыщенном твердом растворе. В последующем в результате диффузионного перераспределения при высокотемпературной гомогенизации это может приводить к образованию в слитках микро- и макропористости, трансформирующейся при последующей обработке давлением в несплошности в металле. В процессах тепловой обработки полуфабрикатов водород, выделяющийся из пересыщенного твердого раствора, препятствует их завариванию. Кроме того, при определенных условиях он может также развивать эти дефекты, проявляясь, например, в форме пузырей на поверхности пресованных профилей или в форме расслоений внутри изделий, которые выявляются при ультразвуковом контроле.

Неметаллические включения в алюминиевых расплавах представлены прежде всего мелкодисперсными оксидами алюминия размерами  $0,01\text{--}1 \text{ мкм}$ . Основная масса таких включений имеет размер, близкий к  $0,03 \text{ мкм}$ , а их содержание, определяемое химическим бромметаноловым методом, находится в пределах  $0,001\text{--}0,007 \%$  [2]. В последние годы для оценки качества расплава широкое распространение получил металлографический метод контроля *POD*-

*FA*. Результаты его применения свидетельствуют о том, что в алюминиевом расплаве часто встречаются включения и большего размера: частицы оксида алюминия размерами до 80 мкм, частицы магнезиальных шпинелей размерами до 60 мкм, карбидо-оксидные включения размером до 40 мкм, частицы оксида магния и карбида алюминия размером до 20 мкм, конгломераты боридов титана и др. Концентрация таких включений в расплаве находится в достаточно широких пределах (0,1–5 мм<sup>2</sup>/кг), и на нее влияют сортность, способы хранения и подготовки шихты, методы плавления, способы легирования, модифицирования, перемешивания и перелива расплава, рафинирование и т. п. Кроме того, в расплаве могут присутствовать и более грубые включения размером 0,5–1 мм и более, наблюдаемые иногда в изломах литого металла: оксидные пленки, включения электролита, шлаковые и флюсовые включения, частицы футеровки. Их появление носит, в общем, случайный характер и часто связано с нарушениями установленного технологического процесса. Общее содержание неметаллических включений, оцениваемое бромметаноловым методом, обычно находится в пределах 0,01–0,03 %, хотя в литературе встречаются и более высокие значения (0,06 % и выше) [3]. Но они, как и данные в 5 мм<sup>2</sup>/кг, не являются невероятными и указывают на небрежность в выполнении технологических операций при плавке и обработке расплава.

Крупные неметаллические включения размером 0,1–1 мм и более особенно вредны, так как при обработке давлением вызывают склонность металла к трещинообразованию и в местах их нахождения резко снижаются механические свойства, ухудшается обрабатываемость резанием. Однако, в производстве прессованной продукции недопустимыми являются и более мелкие включения размером выше 20 мкм. Такие включения приводят к появлению полосчатости и шероховатости на поверхности прессованных изделий, а также отрицательно сказываются на стойкости прессового инструмента. Поэтому принято считать пригодным для литья слитков расплав с уровнем загрязненности включениями 0,1–0,3 мм<sup>2</sup>/кг по методу *PODFA*.



Таким образом, реальный алюминиевый расплав является гетерогенной полидисперсной системой с размерами мелкодисперсных неметаллических включений, близкими к коллоидным (0,01–1 мкм), и размерами более крупных включений в десятки микрон и выше.

Расчеты, выполненные Г. М. Кимстачем [4], показали, что лишь наиболее дисперсные частицы оксидов алюминия размером 2–10 нм могут распределяться равномерно в объеме алюминиевого расплава. Для более крупных частиц основными факторами распределения являются седиментация, приводящая к разделению системы на две резко разграниченные фазы, и перенос этих частиц потоками жидкого металла. Плотность неметаллических включений (главным образом оксидов), как правило, больше плотности алюминиевого расплава. Поэтому при выдержке последнего должно происходить отделение от него включений в результате их осаждения.

Также можно подсчитать, что для осаждения включений размером 100 мкм необходимо в подобных условиях всего лишь 2 мин. Однако практические наблюдения свидетельствуют о том, что этот процесс более медленный. Он приводит к удалению в основном грубых включений (оксидных плен, шлака и т. п.), и при этом одновременно протекают два противоположных процесса: осаждение и всплытие включений. Поэтому при выдержке расплава наблюдается некоторая концентрация оксида алюминия в донных слоях ванны и у поверхности расплава [3]. Эта аномалия в поведении частиц обусловлена взаимодействием неметаллических включений и водорода в алюминиевом расплаве.

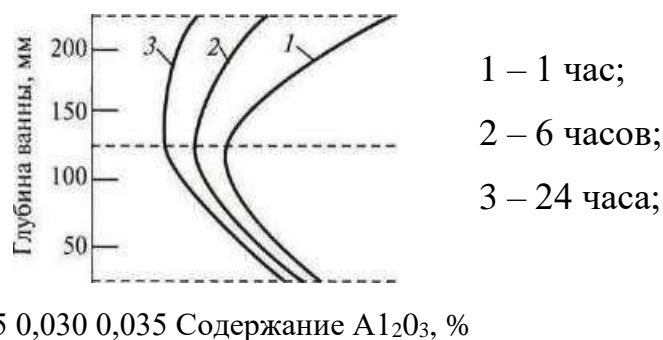


Рисунок 4 – Распределение оксида алюминия в алюминиевом расплаве при выстаивании в течение времени. Содержание водорода в металле  $0,3 \text{ см}^3/100 \text{ г}$

Следует отметить две особенности этого взаимодействия. Первая состоит в том, что на поверхности частиц оксида алюминия в расплаве адсорбируется монослой ионов водорода, создавая вокруг каждой частицы поле адсорбционных сил. В пределах этого поля водород остается в растворе, но его концентрация на границе с монослоем выше средней концентрации и постепенно убывает от поверхности частицы. С увеличением содержания оксида алюминия расстояние между частицами сокращается. При содержании более  $0,01 \%$   $\text{Al}_2\text{O}_3$  образуемые частицами силовые поля смыкаются и, таким образом, действуют непрерывно во всем объеме расплава. Результатом этого действия является торможение диффузионного перемещения водорода в алюминиевом расплаве. Эта гипотеза впервые предложена М. В. Шаровым и Ю. П. Пименовым [5] и в последующем получила экспериментальное подтверждение, став общепризнанной. Показано, что концентрация адсорбированного водорода при обычных встречающихся количествах оксида в алюминиевых расплавах составляет  $0,002\text{--}0,003 \text{ см}^3/100 \text{ г}$ , или около  $1 \%$  общего содержания водорода. Адсорбции положительно заряженных ионов водорода способствует отрицательный заряд частиц оксида алюминия в алюминиевом расплаве.

Вторая особенность взаимодействия водорода и неметаллических включений рассмотрена в работе [6]. Она состоит в присутствии на частицах неметаллических включений скоплений газообразного водорода в молекулярной форме в виде линз отрицательной кривизны, которые, как «парашюты», удерживают

живают эти частицы от осаждения и при определенных условиях даже обеспечивают их перемещение к поверхности расплава.

В табл. 6. представлены результаты расчета количества газообразного водорода в алюминии при 700 °С в зависимости от содержания оксида при общем газосодержании металла 0,25 см<sup>3</sup>/100 г.

Таблица 6 – Количество газообразного водорода на частицах оксида алюминия

Содержание оксида, %	Объем оксида в 100г алюминия, см <sup>3</sup>	Объем водорода на частицах оксида, см <sup>3</sup>		Доля водорода в виде скоплений, %
		при 700 °С	приведенный к н.у.	
0,001	0,00028	0,00015	0,00004	0,016
0,01	0,0028	0,00146	0,0004	0,016
0,03	0,0084	0,00437	0,0013	0,52

Результаты этого расчета свидетельствуют о том, что доля водорода в молекулярной форме, находящегося в жидком алюминии на взвешенных частицах неметаллических включений, в общем, невелика, но она оказывает существенное влияние на их поведение в расплаве.

Таким образом, преобладающее количество водорода 98 % находится в алюминиевых расплавах в виде раствора. Взаимодействие водорода с неметаллическими включениями приводит к тому, что дисперсные оксиды сдерживают массоперенос водорода, а водород препятствует отделению от расплава твердых неметаллических включений. В результате это стабилизирует систему алюминиевый расплав – неметаллические примеси и препятствует ее самопроизвольному распаду, который мог бы иметь место при длительной выдержке жидкого металла, уменьшении содержания паров воды в атмосфере над расплавом или снижении его температуры. Поэтому необходимым элементом в технологии производства расплавленного сплава с заданным уровнем содержания

нежелательных металлических примесей, водорода и неметаллических включений становится операция рафинирования.

Исследования [6, 7], проведенные автором, свидетельствуют о том, что процесс дегазации при продувке алюминиевого расплава нейтральными газами протекает в области кинетического режима. Скорость дегазации описывается уравнением:

$$d[H_j]/dx = -A:H[H]^2 \quad (2)$$

Энергия активации процесса находится на уровне 68 кДж/моль. Наличие примеси кислорода или паров воды в рафинирующем газе, создавая дополнительное сопротивление массопереносу водорода в виде слоя поверхностной оксидной пленки на стенках пузырька, переводит процесс из чисто кинетического режима в смешанный диффузионно-кинетический, приближая его к диффузионному в области повышенных концентраций примеси. При этом энергия активации процесса снижается до 8,3 кДж/моль. Результаты дегазации алюминия при температуре 700 °С и исходном газосодержании 0,27–0,28 см<sup>3</sup>/100 г при одинаковом количестве аргона (~1 л/кг) могут существенно различаться в зависимости от степени чистоты его по кислороду и влаге.

Поэтому обычно для продувки алюминиевых расплавов применяют рафинирующие газы с содержанием влаги не более 0,3 г/м<sup>3</sup> (точка росы -30 °С) и содержанием кислорода не более 0,03 % (объемы.). Более жесткие требования к чистоте рафинирующих газов предъявляет компания *Pyrotek* [8]:

для продувки алюминиевых расплавов желательно применять аргон или азот чистотой 99,996 % (объемн.) и хлор чистотой 99,5 % (объемы.);

содержание влаги в аргоне и азоте – не более 0,0003 % (точка росы – 69 °С), в хлоре – не более 0,01 % (точка росы -42 °С);

содержание кислорода в аргоне и азоте – не более 0,0005 % (объемн.).

Фильтрация через сетчатые фильтры с фиксированными ячейками размером от 0,6 x 0,6 до 1,7 x 1,7 мм, изготовленные из стойкого в алюминиевых

расплавах бесщелочного алюмоборосиликатного стекла. Работа таких фильтров основывается на сетчатом эффекте, позволяющем отделить от расплава лишь крупные включения, размер которых превышает размер ячейки сетки [9].

В конце прошлого столетия предпринимались попытки фильтрования алюминиевых расплавов через многослойные (3–5 слоев) сетчатые фильтры с размером ячейки 0,4 x 0,4 мм и менее в поле акустической кавитации, создаваемой с помощью ультразвуковых колебаний [10]. Развитие кавитационных процессов в области фильтра позволяло легко преодолевать капиллярное давление при сравнительно небольшом уровне расплава над фильтром.

Объемные жесткие фильтры применяют двух видов. Наиболее широко распространены пенокерамические фильтры в форме пластин толщиной около 50 мм, которые изготавливают путем пропитывания поролоновой губки суспензией из оксида алюминия с фосфатами с последующей прокалкой для выжигания пластика и получения пористого изделия, полностью повторяющего структуру губки. Чаще всего пластина фильтра имеет форму квадрата со стороной размером от 9 дюймов ( $229 \pm 1,6$  мм) до 26 дюймов ( $660 \pm 1,6$  мм), окаймленного слоем саморасширяющегося уплотнителя толщиной 1,6 мм. Эти фильтры имеют открытую пористость величиной около 85 % с размером пор от 600 мкм до нескольких миллиметров в зависимости от марки фильтра. В качестве примера приведены данные по фильтрам, выпускаемым компанией *Pyrotek* [11].

Однако на практике установлено, что эффективность очистки от включений уменьшается с увеличением скорости фильтрации, что, по-видимому, связано с уменьшением длительности контакта расплава и фильтра и с повышением возможности смыва задержанных включений. Превышение некоторой критической скорости фильтрации приводит к снижению эффективности работы фильтра и повышению уровня загрязненности металла включениями. Поэтому скорость течения расплава через фильтр ограничивают. Так, компания *Pyrotek* установила, что для оптимального удаления неметаллических включений скорость прохождения металла через пенокерамические фильтры *SIVEX* должна быть от 1 до 1,9 см/с [13]. Это согласуется и с рекомендациями компании

*SELEE Corp.* [12], в соответствии с которыми удельный расход алюминиевого расплава через пенокерамический фильтр не должен превышать  $0,21 \text{ кг}/(\text{см}^2 \cdot \text{мин})$ .

В установившемся же режиме фильтрования при правильно подобранном размере фильтра величина металлостатического давления, необходимого для обеспечения заданного расхода расплава, обычно не превышает 20 мм. Она возрастает по мере того, как твердые частицы задерживаются внутри пор и каналов объемного фильтра, увеличивая сопротивление прохождению расплава. Это особенно проявляется при длительной непрерывной работе фильтра. Гидравлическое сопротивление пенокерамического фильтра марки 40 *ppi* первоначально растет медленно и лишь после прохождения 300 т алюминиевого расплава начинает резко увеличиваться [14]. В зависимости от уровня исходной загрязненности расплава включениями и марки пенокерамического фильтра его работоспособность находится в пределах  $160\text{--}270 \text{ кг}/\text{см}^2$  площади фильтра [15].

Математическое описание кинетики глубинного фильтрования сделано в работе [16]. Содержание неметаллических включений  $C_{\text{нв}}$  в алюминиевом расплаве, частиц  $\text{м}^3$ , прошедшем через фильтр толщиной  $h_{\text{ф}}$ , м, с радиусом зерен или пор  $R_{\text{ф}}$ , м, описывается уравнением 1:

$$C_{\text{нв}} = C_{\text{нв}}^0 \exp[-3\eta_{\text{ф}}(1 - \varepsilon_{\text{ф}})h_{\text{ф}}/(4\varepsilon_{\text{ф}}R_{\text{ф}})], \quad (3)$$

где  $C_{\text{нв}}^0$  – начальная концентрация включений, частиц/ $\text{м}^3$ ;

$\eta_{\text{ф}}$  – константа, характеризующая адгезионную активность материала фильтра;

$\varepsilon_{\text{ф}}$  – пористость фильтра.

Из этого уравнения следует, что для достижения наиболее полной очистки расплавов от дисперсных включений необходимо использовать мелкозернистые насыпные или мелкопористые пенокерамические фильтры и увеличивать их толщину. Понятно, что уменьшение пористости фильтра должно способствовать очистке от включений, но при этом необходимо учитывать снижение его проницаемости и соответствующее увеличение напора расплава для компенсации роста гидравлического сопротивления фильтра. И, как было уже от-

мечено, для изготовления фильтров желательно использовать материалы с достаточно высокой адгезионной способностью, не смачиваемые алюминиевым расплавом. С увеличением исходной концентрации включений при прочих равных условиях после фильтрования следует ожидать более высокого конечного уровня загрязненности расплава. Поэтому целесообразным является применение предварительной очистки расплава от включений за счет сетчатых фильтров или внепечных средств продувки жидкого металла газами.

Широко известны установки *ALPUR*, которые начиная с 1982 г. производит компания *Pechiney Aluminium Engineering* (ныне *Novelis PAE*). За 25 лет она поставила 330 промышленных установок разным предприятиям на пяти континентах мира [16]. Более десяти установок успешно работают на российских заводах. Их отличие состоит в конструкции крыльчатки, диспергирующей рафинирующий газ.

Применение литых огнеупоров для футеровки реактора и сialона *VLL* для ротора и защитных чехлов погружных нагревательных элементов позволило гарантировать их трехлетний ресурс работы [17]. Этот же принцип всасывания жидкого металла во вращающуюся крыльчатку и выбрасывания из нее газометаллической двухфазной смеси использован и в разработках компаний *Hydro Aluminium* и *Foseco*.

Во второй группе установок для диспергирования рафинирующего газа использованы импеллеры, содержащие в своем составе, как и системы *SNIF*, статоры и роторы с крыльчатками. Здесь следует обратить внимание на систему внепечного рафинирования *LARS* (*liquid aluminum refining system*) компании *Almex* [18], которая разработана специально для производства сплавов авиакосмического назначения с повышенными требованиями к качеству металла, хотя успешно применяется и при литье слитков из сплавов серии 6000 в компаниях *Indalex Aluminium Solutions*, *Vista Metals Co.*, *International Extrusion Corp.*, *BALCO* и другие.

Стремление к уменьшению количества металла, остающегося в реакторе после продувки расплава рафинирующим газом, привело к созданию устройств

для обработки жидкого металла непосредственно в желобе. Наибольшее распространение из них получили система *ACD (Alcan Compact Degasser)* канадской компании *Alcan International* и установка *JetCleaner* компании *Novelis PAE*.

Система *ACD* состоит из нескольких вращающихся роторов с крыльчатками, размещенных последовательно в желобе, по которому протекает алюминиевый расплав. Первая 6-роторная установка применена на заводе *Grande-Baie Works* компании *Alcan* в 1994 г. для обработки алюминиевых сплавов серий 3000 и 5000 при течении расплава в желобе с расходом 45 т/ч [19].

Канадская компания *STAS* в 1980-х годах разработала процесс *TAC (Treatment of Aluminium in Crucibles – обработка алюминия в тиглях)*, состоящий во введении в ковш емкостью 3,5 т с расплавленным алюминием при температуре 800 °С добавок фторида алюминия в количестве 2 кг/т с помощью ротора, вращающегося со скоростью 150 об/мин [20]. Это позволяло за 10–30 мин обработки снизить содержание натрия и лития до 0,0002–0,0004 %. Для нашего технологического процесса выбрана технология рафинирования сплава.



## **7 Технология приготовления сплава АК7ч**

**Действия перед процессом приготовления сплава.** Перед началом работ плавильщиком проверяются:

- записи в агрегатных журналах о состоянии тех. оборудования;
- готовность к работе основного и вспомогательного оборудования, технологическую оснастку и инструмент для обработки расплава в печи ИАТ–2,5, в миксере и в передаточном ковше; перечень плавильного инструмента для обработки расплава в печи ИАТ–2,5, в миксере и в передаточном ковше
- готовность системы слива металла из печи ИАТ–2,5 в копильник;
- готовность к работе лотков для слива металла из миксера;
- наличие и исправность пик для закрытия и чистки леточных отверстий;
- порядок на рабочем месте: на рабочих площадках ИАТ–2,5 и миксера не должно находиться посторонних предметов, которые могут помешать работе и вызвать аварийную ситуацию.

**Приготовление сплава в печи ИАТ–2,5**

Основанием для приготовления плавки являются:

- график производства;
- задание, записанное в журнале мастером подготовки производства или начальником плавильно-литейного производства.

Перед началом приготовления сплава производятся следующие подготовительные работы:

- предварительная подготовка шихтовых материалов;
- проверка наличия шихтовых материалов;
- проверка наличия сертификатов и соответствие данных в них требованиям ТИ и ГОСТов;
- проверка соответствия маркировки шихтовых материалов, подготавливаемых к плавке.

– визуальный контроль шихтовых материалов по состоянию поверхности: на поверхности чушек не должно быть шлаковых и инородных включений, видимых невооруженным глазом, а также влаги и следов коррозии.

С целью предотвращения перепутывания шихтовых материалов, загружаемых на плавку, не допускается нахождение в зоне загрузки посторонних шихтовых материалов (не вовлекаемых в данную плавку).

Количество загружаемых шихтовых материалов определяется общим весом плавки, весом сливаемого расплава и весом «болота».

Плавление шихтовых материалов производится последовательности:

- Разогрев «болота» до температуры не менее 700°C ,
- Съём шлака и загрузка первичного алюминия;
- Загрузка кремния под зеркало расплава, подтапливание выступающих кусков кремния; удаление инородных частиц и мелких фракций кремния с обрамления печи ИАТ–2,5 и обязательный съём шлака и плавающих пылевидных частиц кремния с зеркала расплава перед включением печи;
- Загрузка под зеркало расплава титана и отходов в виде не крашенных и крашенных колес их растворение и съём шлака, разогрев расплава до температуры 730–740 °С;
- Загрузка под зеркало расплава брикетированной стружки сплава АК7ч, просушенной согласно ТУ 11–01–05, или МГЧ переплава, растворение;
- Чистка печи «на горячую», съём шлака и присадка в расплав магния;
- Рафинирование расплава при температуре 730–740 °С от неметаллических включений обработкой флюсом №1: ( $30 \pm 1\%$  натрий хлористый,  $47 \pm 1\%$  калий хлористый,  $23 \pm 1\%$  криолит) или флюсом ФПК–23 и дегазация расплава для чего необходимо:
  - включить вентиляционную систему;
  - снять шлак, загрузить флюс на зеркало расплава, расход флюса должен составлять 0,2% от веса плавки ( $2 \pm 0,2$  кг на тонну расплава);
  - не снимая шлака обработать расплав Degasall T200 или Дегазер при помощи колокольчика.

- зеркало расплава из расчета 0,1% от объема расплава ( $1 \pm 0,2$ кг на т.);
- сьем шлака и отбор пробы на экспресс-анализ и ее маркировка;
- передача маркированной пробы контролеру спектральной лаборатории.
- выдержка расплава в печи до получения результатов экспресс-анализа

По результатам экспресс-анализа определяется необходимость проведения подшихтовки/расшихтовки сплава в печи ИАТ–2,5.

После подшихтовки/расшихтовки производится рафинирование расплава в печи ИАТ–2,5 согласно п.7 с повторным отбором пробы на экспресс-анализ.

Плавление шихтовых материалов и перегрев расплава производится на максимальной мощности, при которой не происходит срыв и замешивание окисной пленки с зеркала расплава.

При приготовлении расплава запрещается:

- использовать плавильный инструмент, не соответствующий конструкторской документации;
- вести загрузку шихтовых материалов со свободным падением кусков шихты весом более 5 кг в расплав или на футеровку печи;
- вести загрузку шихтовых материалов на «твердую постель»;
- вести загрузку шихты без подтапливания под зеркало расплава;
- вести загрузку шихтовых материалов под зеркало расплава без предварительной подготовки (просушки), предотвращающей выброс расплава;
- вести плавку без крышки или с нефутерованной или деформированной крышкой, не предотвращающей попадание холодного воздуха на стенки тигля;

За качество проведения процесса приготовления сплава отвечает плавильщик. Выполнение технологических операций отмечается в карте плавки с указанием параметров, времени их выполнения, и подписью ответственного исполнителя.

Плавка считается годной к сливу, если:

- все тех. операции выполнены в соответствии с данной инструкцией;
- заполнены все разделы карты плавки по приготовлению сплава на печах ИАТ–2,5;

- химический состав приготовленного расплава соответствует заданным;
- температура расплава, приготовленного к сливу – 800–840°C.

Перелив расплава из печи ИАТ–2,5 в миксер сопротивления.

Перед сливом металла из печи в миксер-копильник проверяется:

- чистоту, исправность и готовность к работе системы перелива металла из печи в миксер;
- исправность миксера на соответствие параметров его работы согласно инструкции по эксплуатации;
- проверка охлаждения обрамления форкамеры миксера;
- проверка работоспособности систем нагрева и контроля температуры расплава миксера;
- выполнение всех технологических операций по приготовлению расплава в печи ИАТ–2,5 и миксере, предусмотренных настоящей инструкцией;
- заполнение карты плавки по выполненным операциям;
- соответствие хим. состава и температуры расплава в печи и миксере заданным параметрам;
- вес металла в миксере и вес сливаемого металла;
- наличие, исправность и соответствие конструкторской документации технологической оснастки и инструмента для:
- слива металла из печи в миксер;
- обработки расплава в миксере после заливки;
- слива расплава из миксера.

Подготовка расплава после приготовления в печи ИАТ–2,5 проводится по схеме:

- слив расплава из печи ИАТ–2,5 в миксер-копильник;
- рафинирование расплава в миксере;
- перелив расплава из миксера в промежуточный ковш с одновременным модифицированием расплава лигатурой Al–Sr, Al–Ti–B;
- рафинирование расплава в ковше;

– заливка расплава из промежуточного ковша в раздаточную печь литейной машины.

Подготовка миксера к сливу расплава проводится в следующем порядке:

- проверка состояния леточных камней и надежности перекрытия летки;
- чистка кармана миксера;
- чистка стенок и откоса миксера от шлака, съём шлака с зеркала расплава и удаление через форкамеры;
- подготовка к работе 2-х запасных пик;
- проверка состояния сливных лотков;
- проверка аварийной ёмкости для слива.

При наличии отклонений от регламентируемых параметров плавильщик обязан поставить в известность соответствующие службы и приступить к работе после устранения отклонений.

Перелив расплава из печи ИАТ–2,5 в миксер сопротивления производится в следующей последовательности:

- чистка сливного носка ИАТ-2,5;
- чистка приемной чаши, лотка и сливной трубы системы перелива;
- установка разделительных перегородок;
- включение наклона печи ИАТ-2,5 и заполнение приемной чаши и лотка;
- слив расплава в миксер;
- проверка леточных узлов на наличие подтекания металла;
- проверка уровня расплава в миксере (уровень расплава в миксере должен находиться ниже уровня форкамеры ориентировочно на 10 см, определяется визуально)

Примечание 1. Слив расплава производится двумя плавильщиками, находящимися при сливе в зоне прямой видимости.

## Обработка расплава в миксере сопротивления

После перелива расплава в миксер сопротивления необходимо:

– распределить по «зеркалу» расплава флюс №1 или флюс ФПК 23 в количестве 0,3 % от массы металла в миксере,  $3 \pm 0,2$  кг на тонну расплава (Флюс предварительно должен просушиваться в емкостях из нержавеющей стали на печи для сушки флюса. Остаточная влажность флюса перед обработкой печи не более 0,2%, влажность 0,2% обеспечивается просушкой флюса на печи для сушки флюса, не менее 12 час при температуре не менее 60 °С);

– выдержать флюс до окончания реакции;

– замешать флюс в расплав скребком;

– «сдернуть» шлак на откос форкамеры и произвести отстой металла в течении 20–30 мин;

– после стекания расплава из шлака, до начала заливки, «сдернуть» шлак на футерованную площадку перед форкамерой, и разровнять слой шлака;

– после остывания удалить слесы металла, шлак загрузить в мульду или кубель;

– отобрать пробу на экспресс-анализ.

## Слив расплава из миксера в промежуточный ковш и рафинирование расплава

Перед сливом металла из миксера в промежуточный ковш плавильщик должен проверить наличие, исправность и соответствие конструкторской документации технологической оснастки и инструмента для:

– слива металла из миксера в ковш: две запасные пики на каждую летку, лоток для перелива расплава;

– обработки расплава в ковше;,

– заливки расплава в печь литейной машины.

– пригодность к эксплуатации:

– промежуточного ковша;

– погрузчика для транспортировки ковша с расплавом;

– горелки для разогрева ковша.

Подготовка расплава проводится по схеме:

- загрузка лигатуры в переливной лоток или на дно ковша;
- заливка расплава из миксера в промежуточный ковш;
- обработка расплава и съём шлака;

Температура в миксере по воздуху 830–870 °С.

Температура расплава для слива в ковш соответствует 780–820 °С.

Слив, рафинирование и легирование сплава плавильщик производит в следующей последовательности:

- уточнение объема навесок модифицирующей лигатуры и флюса до начала слива;

- загрузка лигатуры Al–Sr (расчетное содержание Sr в печи литейной машины 0,035 %), лигатуры Al–Ti–B, из расчета прироста содержания Ti на 0,02 ;

- заливка расплава из миксера в промежуточный ковш;

- загрузка на зеркало (или на болото в процессе заливки) флюса *PROBAT FLUSS Al 224* (0,4кг на ковш) и не снимая шлак обработать расплав аргонном при помощи установки *PAL-240* (порядок рафинирования системой дегазации *PAL-240* производится в соответствии с требованиями ТУ 10-01-05).

При неисправности системы дегазации *PAL-240* обработка расплава производится дегазирующим флюсом *DEGASAL T200* или таблетками *ДЕГАЗЕР* под зеркало расплава колокольчиком (перед использованием отверстие в колокольчике должно быть очищенным от шлака и флюса).

- удаление шлака с зеркала расплава на зафутерованную площадку для гашения шлака и по мере его остывания удаление в мульду с отбором корольков (кусочков металла) более 10мм для переплава;

- заливка расплава в раздаточную печь литейной установки.

- подача промежуточного ковша на следующую заливку; если заливка закончена - чистка промежуточного ковша, удаление остатков металла.

Температура расплава в ковше, после его наполнения, должна соответствовать 740–770 °С.

*Примечание: Температура расплава в ковше после рафинирования должна быть выше температуры расплава, заливаемого в литейную печь на 10-25 0С. При этом заливка должна быть проведена таким образом, чтобы температура сплава в литейной печи не вышла за пределы  $\pm 5^{\circ}\text{C}$  от рабочей температуры литья.*

Перелив расплава из печи ИАТ-2,5 в передаточный ковш.

При сливе расплава из печей в передаточный ковш подается к сливной секции системы перелива.

Перелив расплава из печи ИАТ-2,5 осуществляется непосредственно в ковш без использования системы перелива. Ковш подвозится мостовым краном или погрузчиком к сливному носку печи № 3, расстояние от верхнего края ковша до сливного носка примерно 25–50 см (определяется визуально).

По мере наклона печи и заполнения передаточного ковша расплавом плавильщик подает сигналы машинисту мостового крана или водителю погрузчика о необходимости опускания ковша, для предотвращения попадания расплава на траверсу передаточного ковша.

Уровень заливки металла в ковш должен быть не более 88 % внутренней высоты ковша или не выше 150 мм от верхнего края ковша (визуально).

Заливка расплава из ковша в раздаточную печь литейной установки

Заливка сплава из ковша в печь литейной машины производится через съемный лоток.

Перед заливкой металла в раздаточную печь литейной машины плавильщик должен выполнить следующие операции:

– проверить состояние заливочного лотка: заливочный лоток должен иметь недеформированный каркас, исправную и просушенную футеровку; поверхность лотка, контактирующая с расплавом должна быть очищена от металла и окислов;

– произвести установку переливного лотка.

После съема заливочного лотка производится чистка его от шлака и окисной пленки.



Температура металла в литейной печи после заливки не должна отклоняться от рабочей температуры литья более чем на  $\pm 5^{\circ}\text{C}$ .

При отбраковке колес по результатам рентгенконтроля из-за появления газоусадочной пористости в расплав необходимо добавить лигатуры Al–Ti5–B1 из расчета прироста Ti на 0,005 % (но не более одного раза за заливку)

Съем шлака окисной пленки с зеркала расплава и отбор пробы на химический состав.

Первую заливку после ППР литейной машины или её вынужденной остановки более чем на 6 часов производить без введения в расплав лигатуры.

## 8 Оборудование для получения алюминиевого сплава

При приготовлении сплава используется следующее оборудование:

- печь индукционная тигельная ИАТ–2,5–М1;
- миксер сопротивления (копильник);
- система перелива расплава из печи ИАТ–2,5 в копильник;
- ковш промежуточный;
- погрузчик грузоподъемностью 1800 кг;
- кран мостовой грузоподъемностью 10тн;
- система дегазации расплава *PAL* 240.

При приготовлении сплава используется следующее вспомогательное оборудование и инструмент:

- набор весов для взвешивания шихтовых материалов, весы платформенные РП 3 кл. точности 0 – 100кг, 2 – 500кг, 1 – 5000кг;
- плавило-литейный инструмент для обработки расплава, отбора проб, чистки ковша, печи и миксера;
- газовая горелка для разогрева ковша;
- аварийная емкость для слива металла из печи;
- блок изложниц для слива расплава в мелкогабаритную стандартную чушку весом до 17кг.;
- термомпара ТХА ГОСТ 6616–85 с точностью  $\pm 5$  °С для замера температуры расплава в печи, миксере и в ковше;
- приборы ТРМ–1 для регистрации температуры расплава;
- лотки для слива металла из миксера и заливки металла в литейную печь;
- сито для просеивания кристаллического кремния (сетка рабица с ячейкой 5мм ГОСТ 5338–80);
- мульда для шлака;
- площадка для гашения шлака;
- емкости для сбора съёмов, сплесов;
- клещевой захват для загрузки Т-образной чушки.

При литье алюминиевых колес используется следующее основное оборудование:

- литейная машина *GIMA 800*.;
- резервуар с водой для охлаждения колес;
- вилы, для переворачивания отливок и перемещения их в резервуар с водой для охлаждения;
- литейный инструмент (шумовка, колокольчик, пробница) для обработки расплава и отбора проб;
- конвейер, для транспортировки отливок на рентген установку *Bosello*;
- рентген установка *Bosello* для рентген контроля готовых отливок.

## 9 Контроль качества

### 9.1 Разработка и контроль качества при плавке и литье сплава АК7ч

Плавление и литье алюминиевых сплавов сопровождается взаимодействием металла с футеровкой печи, влагой, газами атмосферы и составляющими шихты. Поэтому в отливках алюминиевых сплавов присутствует в атомарном и молекулярном состоянии водород, кислород, и их соединения; закись и окись углерода, азот, углеводороды, что и оказывает отрицательное влияние на качество литых изделий. Основную опасность в алюминиевых сплавах представляет водород, растворимый в жидком алюминии. Водород с алюминием химических соединений практически не образует, он находится в металле в виде пор, заполненных молекулярным водородом. Если газовые пузырьки в процессе кристаллизации не успевают подняться на поверхность, то они остаются в расплаве, образуя в отливках газовую пористость – дефекта в виде мелких пор, образовавшихся при его затвердении. Вследствие сильного газообразования плотность металла уменьшается, что приводит к микропористости и вызывает существенное понижение механических свойств отливок и плохой поверхности вследствие механической обработки или полировки деталей. Поэтому, при производстве отливок необходим контроль содержания водорода в сплавах, он производится несколькими методами: косвенным (проба металла на газонасыщенность; отношение плотностей верхней и нижней частей пробы; по плотности проб при разряженном и атмосферном давлении; способ Дарделла – Гудченко); прямым (*TELEGAS*, *ALSCAN*, *CHAPEL*); аналитическим (метод вакуум-нагрева).

Целью данного исследования было определение индекса плотности сплава АК7ч до и после рафинирования, а также установление зависимостей индекса плотности от технологических параметров и содержания химических элементов в плавке. В работе ставилась задача нахождения связей между механическими свойствами отливок из сплава АК7ч и индексом плотности.

Индекс плотности, по существующей методике, определяли в работе по измерениям плотности образцов, отобранных из одного ковша. Образцы были взяты до рафинирования и после рафинирования с учетом изменения технологических параметров исследования. Проба для анализа составляла 100–200 г расплава АК7ч. Затвердевание первой пробы происходило при разряженном давлении в условиях его уменьшения, затвердевание второй пробы - при атмосферном давлении. После того как пробы закристаллизовались, они охлаждались в воде. Далее измеряли плотность каждой пробы методом Архимеда с использованием специальных аналитических весов. В первой пробе плотность, из-за выделения молекулярного водорода при низком давлении, ниже пробы, затвердевшей при атмосферном давлении. По результатам плотности двух проб производили расчет индекса плотности в процентах. После рафинирования значения индекса плотности проб должны изменяться от 1 до 4 %.

Процесс рафинирования при изготовлении отливок производят для очистки расплава от неметаллических включений, оксидов и водорода за счет продувки расплава аргоном, и введения флюсов. Температура рафинирования в работе изменялась от 730 до 780 °С, также регулировался расход и давление аргона. Проведенные мероприятия по очистке расплава позволили снизить индекс плотности почти на 90% относительно нерафинированного расплава. Расплав перед разливкой в литейные машины не превышал заданного уровня индекса плотности.

Результаты измерений индекса плотности были обработаны для построения зависимости индекса плотности от технологических параметров. Проведен корреляционный анализ и получена зависимость индекса плотности от температуры рафинирования, которая приведена на рисунке. За 100% принят заданный уровень индекса плотности при производстве отливок из сплава АК7ч. Экспериментальные точки, полученные расчетным путем, показывают практически линейную зависимость индекса плотности от температуры рафинирования. Из рис. 5. следует, что рост индекса плотности сплава наблюдается с увеличением температуры рафинирования расплава, так как при высоких темпера-

турах происходит более интенсивное поглощение газов из окружающей среды, что подтверждается литературными данными.

Поэтому при рафинировании силуминов необходим жесткий контроль за атмосферой и влажностью окружающей среды. При дегазации на индекс плотности проб сплава АК7ч также незначительное влияние оказывает давление рафинирующего газа. На индекс плотности влияет и химический состав плавок, главным образом содержание кремния и стронция. По литературным данным кремний уменьшает растворимость водорода в сплаве, что также может сказаться на индексе плотности.

В литейных сплавах на уровень механических характеристик отрицательное влияние оказывает микропористость, которая зависит от содержания водорода. Анализ механических свойств разных зон отливок из сплава АК7ч показал незначительную тенденцию к уменьшению прочностных и пластических характеристик с увеличением индекса плотности. Это объясняется тем, что микропористость может формироваться в определенных местах отливки, в данном случае более сложных зонах колеса. Пористость образуется неравномерно по всему сечению отливки, в отдельных частях колеса, например, в области зоны прилегания спицы к ободу.

В работе установлена зависимость индекса плотности от температуры рафинирования. Качество расплава определяет в конечном итоге качество отливок, поэтому необходимо продолжение исследования по влиянию дополнительных технологических факторов (условия рафинирования, состояние атмосферы при изготовлении расплава и т.д) на индекс плотности. Важно установить связь индекса плотности с пористостью в разных сечениях отливки и герметичностью.

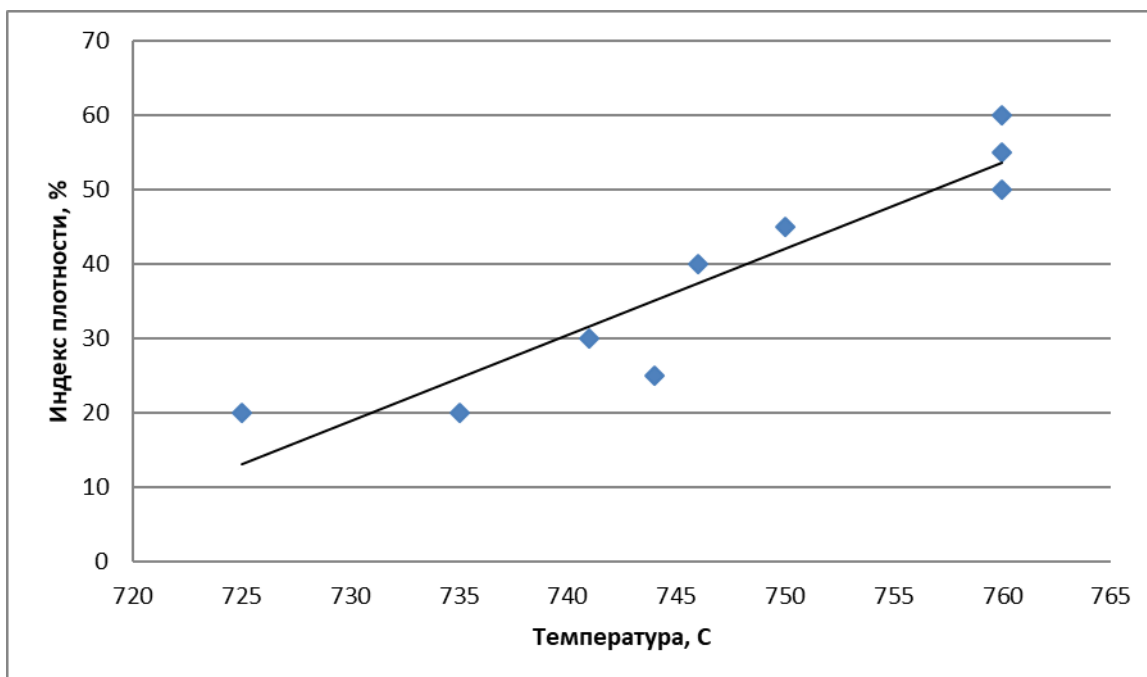


Рисунок 5 – Зависимости индекса плотности от температуры рафинирования

Также на конференции металлов и сплавов была представлена работа по определению индекса плотности в различных условиях, проделанная компанией «К и К». Эта работа представлена ниже.

Методика эксперимента.

- Измерения содержания водорода в сплавах системы Al–Si реализованы на приборе модели 3VT (рис. 6).

- На начальном этапе была установлена сопоставимость результатов содержания водорода в сплаве методами вакуум-нагрева ГОСТ 21132.1-98 и индекса плотности металла. Для этого были отобраны пробы металла в кокиль Ренсли и пробы для замера индекса плотности. Результат работы представлен на рисунке 7.

В ходе работы установлено, что разница значений плотности пробы металла, закристаллизованной на воздухе и под давлением 80 мбар – ориентировочный показатель содержания водорода в металле.



Рисунок 6 – Прибор контроля индекса плотности 3VT

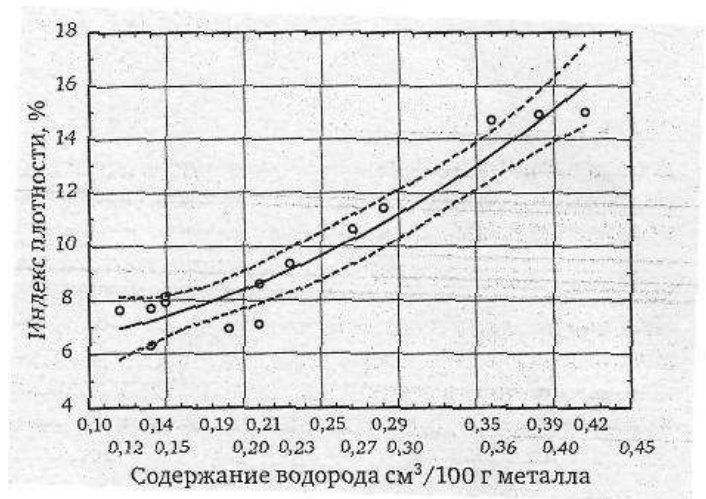


Рисунок 7 – Диаграмма рассеяния для значений индекса плотности % и содержания водорода см³/100г металла, по ГОСТ 21132.1-98

– Результаты замеров индекса плотности, содержания водорода методом вакуум-нагрева ГОСТ 21132.1-98 и портативным прибором *Alspek H mini* (*Fosco*) представлены на рисунке 8. Опытная работа совместно с фирмой *Fosco* по сходимости результатов анализа содержания водорода показала хорошую воспроизводимость результатов замеров тремя методами

Расположение кривой графика индекса плотности выше графиков по твердой пробе и прибором *Alspek H mini* объясняет, что метод индекса плотности оценивает чистоту металла, включая содержание водорода и окисных плен.



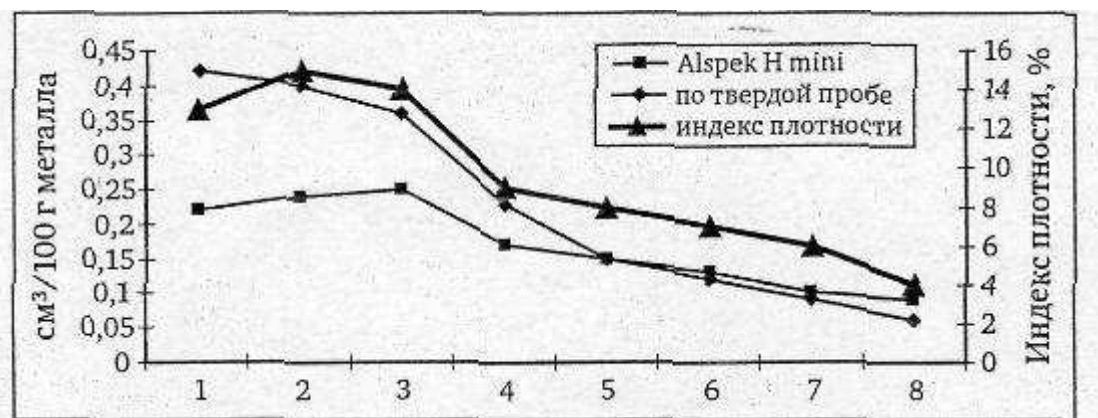


Рисунок 8 – Содержания водорода в металле и индекс плотности проб, методом вакуум-нагрева, ГОСТ 21132.1-98 и электрохимическим сенсором прибора *Alspek H mini*

– Оценку загрязненности металла окисными пленами проводили, используя известный метод зависимости величины зерна и чистоты металла. Метод заключается в следующем: проба в виде цилиндра диаметром 60 мм и высотой 15 мм отливается в открытую изложницу. Поверхность пробы протравливают специальными реактивами для выявления макрозерна. Крупнозернистая структура получается на пробах металла, мало загрязненного окисными включениями. Мелкозернистая структура свидетельствует о большем загрязнении металла оксидами. Эффект объясняется наличием в расплаве взвеси  $Al_2O_3$  различной концентрации, которая в свою очередь, является центрами начала кристаллизации сплава (рис. 9). В настоящее время ведется работа, по количественной оценке, чистоты металла в отношении неметаллических включений.

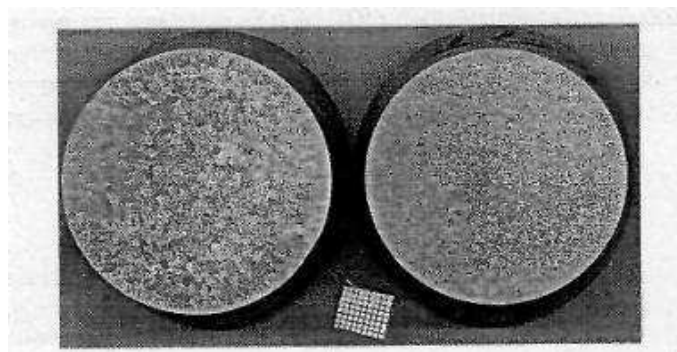


Рисунок 9 – Макроструктура проб металла с разными значениями индекса плотности

Основные направления использования метода индекса плотности для решения технологических задач приготовления сплавов в условиях компании ООО «КиК».

Ниже перечислены основные работы, проведенные технологами предприятия по установлению источников загрязнения металла неметаллическими включениями и водородом, и причин, приводящих к образованию пористости в отливках.

Используя метод индекса плотности было установлено, что при выплавке металла в индукционных тигельных печах превышение температуры расплава над температурой ликвидуса на каждые 10 °С приводит к насыщению водородом и изменению индекса плотности (рис. 10).

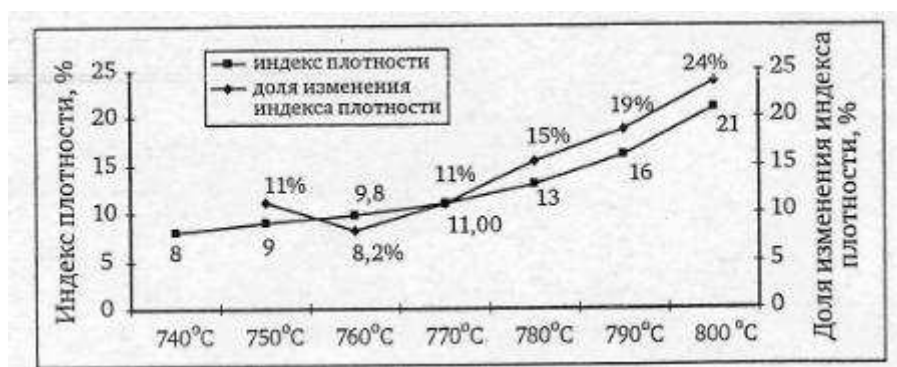


Рисунок 10 – Изменение индекса плотности сплава АК7ч в зависимости от температуры расплава

Представленный опыт компании ООО «КиК» показывает возможность использования метода индекса плотности как достоверный и эффективный экспресс метод контроля чистоты расплава в производственных условиях, контроля соблюдения технологических параметров приготовления сплава и стабильности его физического состава.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

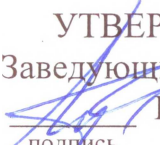
Изучена информация по приготовлению и плавке алюминиевых сплавов. Изучены методы контроля качества при производстве колес. Изучены методы контроля качества металла на стадиях его приготовления. Разработан техпроцесс приготовления сплава АК7ч, применительно к реальному производству, снижающий экологическую нагрузку на окружающую среду.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1     Металлические примеси в алюминиевых сплавах / А. В. Курдюмов, С. В. Инкин, В. С. Чулков, Г. Г. Шадрин. – М.: Metallurgy, 1988. – 143 с.
- 2     Флюсовая обработка и фильтрование алюминиевых расплавов / А. В. Курдюмов, С. В. Инкин, В. С. Чулков, Н. И. Графас. – М.: Metallurgy, 1980. – 196 с.
- 3     Газы и окислы в алюминиевых деформируемых сплавах/В. И.Добаткин, Р. М. Габидуллин, Б. А. Колачев, Г. С. Макаров. – М.: Metallurgy, 1976. – 264 с.
- 4     Кимстач Г. М. // Литейное производство. 1977. № 6. С. 5–6.
- 5     Шаров М. В., Пименов Ю. П. / Metallovedeniye spлавov legkikh metallov. – М.: Наука, 1970. – С. 80–87.
- 6     Макаров Г. С. Рафинирование алюминиевых сплавов газами. – М.: Metallurgy, 1983. – 120 с.
- 7     Макаров Г.С. / Технология обработки легких и специальных сплавов. – М.: Metallurgy, 1994. С. 149–162.
- 8     Frank R.A. // Proc. of the 2<sup>nd</sup> Int. Melt Quality Workshop. Prague, October 15–2003 [Электронный ресурс]: Pyrotek, 2003.
- 9     Макаров Г. С, Ходаков П. Е., Валова Г. А. // Технология легких сплавов. 1977. № 11. С. 53–58.
- 10    Макаров Г. С, Пименов Ю. П., Эскин Г. И. Metallovedeniye, lit'ye i obrabotka spлавov. – М.: ВИЛС, 1995. С. 187–201.
- 11    Ray S./ Aluminium World. 2001. V. 1. № 2. P. 44–46.
- 12    Aubrey L. S.// Aluminium Cast House, Rolling & Extrusion Technology. Proc. of the 3<sup>rd</sup> Int. Conference «ALCASTEK 2006». Mumbai, India, January 11-14, 2006: NCS Associates Australia Pty, 2006. P. 91-103.
- 13    Миллиган Б. // Алюминий Россия. 2007. № I. С. 34–35.

- 14 Le Roy G. // Aluminium Cast House, Rolling & Extrusion Technology. Proc. of the 3<sup>rd</sup> Int. Conference «ALCASTEK 2006». Mumbai, India, January 11–14, 2006: NCS Associates Australia Pty, 2006. P. 76-90.
- 15 Nejf D. V. // Proc. of the 8<sup>th</sup> Int. Aluminum Technology Seminar ET-2004: AEC and AA. V. 2. 2004. P. 15–20.
- 16 Grandfield J.F., Irwin D.W., Brumale S. et al. // Light Metals 1990, C. M. Bickert ed., Warendale, PA: The Metallurgical Society, 1990. P. 737–746.
- 17 Chateau J.-M. // Aluminium. 2003. № 7/8. S. 624-626.
- 18 Tilak R. // Light Metal Age. 1999. June. P. 14-23.
- 19 Waite P., Thiffault P. // Light Metals 1996, W. Hale ed., Warendale, PA: The Metallurgical Society. 1996. P. 1001–1005.
- 20 Taylor M. B. // Aluminium. 2003. № 1/2. S. 44-50.
- 21 Плавка и литье алюминиевых сплавов: Справочник / Под редакцией В. И. Добаткина. 2-е изд. – М: Metallurgia, 1983. – 352 с.
- 22 Добаткин В. И. Слитки алюминиевых сплавов. – Свердловск: Metallurgizdat, 1960. –175 с.
- 23 Cibula A. // JOM. 1949. V. 76. № 4. P. 321–360.
- 24 Бондарев Б. И., Напалков В. И., Тарарышкин В. И. Модифицирование алюминиевых деформируемых сплавов. – М.: Metallurgia, 1979. – 224 с.
- 25 Pearson J., Cooper P. // Aluminium Casthouse Technology. Proc. of the 6<sup>th</sup> Australian Asian Conference. Sydney, Australia, July 26–29, 1999: [Электронный ресурс].
- 26 Schneider W., Grander D. // Aluminium. 2007. Part 1. № 5. S. 74-79; part 2. № 6. S. 74–78.
- 27 Schneider W., Kearns M. A., McGarry M. J. et al. // Light Metals 1998, B. Welch ed., Warendale, PA : The Metallurgical Society, 1998. P. 953-961.
- 28 Kulunk B., Zuliani D. J. // JOM. 1996. October. P. 61-63.
- 29 Вайник Р., Коертенаи Д., Бриант М. // Aluminium International Today (выпуск на рус. языке). 2008. Май. С. 8–12.

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
Политехнический институт  
Кафедра «Материаловедение и технология обработки материалов»

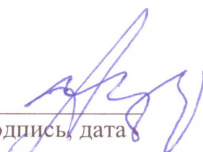
УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой  
  
В.И. Темных  
подпись  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2017г.

### БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Направление 22.03.01 Материаловедение и технологии материалов  
Профиль 22.03.01.07 Материаловедение и технологии материалов  
в машиностроении


**Разработка современной технологии получения сплава АК7ч  
для автомобилестроения**

Научный руководитель

  
подпись, дата


А.И.Черепанов

Выпускник

  
подпись, дата

К.А. Калугин

Нормоконтролер

 27.06.17  
подпись, дата

Л.А. Свечникова

Красноярск 2017