

Магистрант механического факультета ТашГТУ О.О.Кучкаров,
научн.рук., ст. преп. Т.Х.Турсунов, Н.Д.Тураходжаев

ОСОБЕННОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОТЛИВОК ИЗ АЛЮМИНИЯ И АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

В статье рассматривается анализ существующих видов технологий получения алюминия и алюминиевых сплавов, их характеристики, состав компонентов, их сочетания, количественного соотношения и прочности связи между ними. Приведены результаты изготовления алюминиевых сплавов, структура и расположение компонентов сплавов. Представлены существующие варианты технологического процесса и типы оборудования, а также способы получения отливок.

Мақолада амалиётдаги алюминий ва алюминий қўймаларини олиш технологиялари турлари, тавсифлари, компонентлари таркиби, уларнинг бирикishi, миқдорий қўйматлари ва улар орасидаги боғлиқликлар таҳлил этилган. Алюминий қўймаларни тайёрлаш наижалари таҳлил этилган. Алюминий қўйилмаларининг структураси ва жойлашиши кўриб чиқилган. Технологик жараёнлар ва ускуналар турлари ҳамда қўймалар олиш услублари таҳлил этилган.

The article considers the analysis of existing types of technologies for the production of aluminum and aluminum alloys, their characteristics, composition of components, their combination, the quantitative ratio and strength of the bond between them. The results of manufacturing aluminum alloys, the structure and arrangement of the components of alloys are presented. Presented are the existing technological process variants and types of equipment, as well as methods for obtaining castings.

Ключевые слова: руда, бокситы и нефелины, электролитическое рафинирование, легирование, термическая обработка, алюминиевый сплав, структура, оборудование, отливка.

Получение алюминия. Из руд для промышленного получения алюминия используют преимущественно бокситы и нефелины. Химический состав бокситов выражается формулой $\text{Na}_2(\text{K}_2)\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$. Бокситы содержат в своем составе 30-70% глинозема Al_2O_3 , 2-20% кремнезема SiO_2 , 2—50% окиси железа Fe_2O_3 и 0,1—10% окиси титана TiO_2 [1]. Производство алюминия состоит из двух основных процессов: получения глинозема Al_2O_3 из бокситов и восстановления металлического алюминия электролизом из раствора глинозема в расплавленном криолите (Na_3AlF_6). Электролитом служит криолит с добавлением 8—10% глинозема, а также AlF_3 и NaF . Образующийся в результате электролиза жидкий алюминий собирается на дне ванны подслоем электролита. Его называют алюминием-сырцом. Алюминий-сырец содержит металлические (Fe, Si, Zn и др.) и неметаллические (C, Al_2O_3 , Si и др.) примеси, а также газы — кислород, водород, окись и двуокись углерода и др. Эти примеси удаляют, например, хлорированием (продувкой хлором) жидкого алюминия-сырца в ковше. Образующийся при этом парообразный хлористый алюминий AlCl_3 , проходя через расплавленный алюминий, обволакивает пузырьками частицы примесей и выносит их вместе с газами, растворенными в алюминии. После рафинирования хлором алюминий отливают в слитки и направляют потребителям [1,2].

Первичный алюминий делят на три группы: алюминий особой чистоты (марка А999), высокой чистоты (четыре марки) и технической чистоты. Предусмотрено восемь

марок, допускающих содержание примесей 0,15-1%. Название марки указывает ее чистоту. Например, марка А8 обозначает, что в металле содержится 99,8% алюминия, а в марке А99 - 99,99% алюминия. Алюминий технической чистоты получают в электролизных ваннах. Путем электролитического рафинирования алюминия-сырца получают алюминий марок высокой чистоты [3].

Алюминий - легкий металл серебристо-белого цвета с высокой электро- и теплопроводностью; плотность его 2700 кг/м^3 , температура плавления в зависимости от чистоты колеблется в пределах $660\text{—}667^\circ\text{C}$. В отожженном состоянии алюминий имеет малую прочность ($\sigma_{\text{в}}=80\text{—}100 \text{ МПа}$), низкую твердость (НВ 20-40), но обладает высокой пластичностью ($\beta=35\text{-}40\%$).

Алюминий хорошо обрабатывается давлением, сваривается, но плохо поддается резанию. Имеет высокую стойкость против атмосферной коррозии и в пресной воде. На воздухе алюминий быстро окисляется, покрываясь тонкой плотной пленкой окиси, которая не пропускает кислород в толщу металла, что и обеспечивает его защиту от коррозии.

В качестве конструкционных материалов алюминий широко применяют в виде сплавов с другими металлами и неметаллами (медь, марганец, магний, кремний, железо, никель, титан, бериллий и др.). Алюминиевые сплавы сочетают в себе лучшие свойства чистого алюминия и повышенные прочностные характеристики легирующих добавок. Так, железо, никель, титан повышают жаропрочность алюминиевых сплавов. Медь, марганец, магний обеспечивают упрочняющую термообработку алюминиевых сплавов. В результате легирования и термической обработки удается в несколько раз повысить прочность ($\sigma_{\text{в}}$ с 100 до 500 МПа) и твердость (НВ с 20 до 150) алюминия. Все сплавы алюминия подразделяют на деформируемые и литейные.

Деформируемые алюминиевые сплавы. Деформируемые алюминиевые сплавы применяют для получения листов, ленты, фасонных профилей, проволоки и различных деталей штамповкой, прессованием, ковкой. В зависимости от химического состава деформируемые алюминиевые сплавы делят на 7 групп; содержат 2-3 и более легирующих компонента в количестве 0,2-4% каждого. Например, сплавы алюминия с магнием и марганцем; алюминия с медью, магнием, марганцем и др.

Деформируемые сплавы разделяют на сплавы, упрочняемые и не упрочняемые термической обработкой. Деформируемые сплавы, подвергаемые механической и термической обработке, имеют буквенные обозначения, указывающие на характер обработки (см. примечания к табл. 1).

Термически не упрочняемые сплавы — это сплавы алюминия с марганцем (Амц) и алюминия с магнием и марганцем (Амг). Они обладают умеренной прочностью, высокой коррозионной стойкостью, хорошей свариваемостью и пластичностью (табл. 1).

Термически упрочняемые сплавы (см. табл. 9) приобретают высокие механические свойства и хорошую сопротивляемость коррозии только в результате термической обработки. Наиболее распространены сплавы алюминия с медью, магнием, марганцем (дюралюмины) и алюминия с медью, магнием, марганцем и цинком (сплавы высокой прочности).

Дюралюмины маркируют буквой Д, после которой стоит цифра, обозначающая условный номер сплава. Термическая обработка дюралюминов состоит в закалке, естественном или искусственном старении. Для закалки сплавы нагревают до 500°C и охлаждают в воде. Естественное старение производят при комнатной температуре в течение 5 - 7 сут.

Искусственное старение проводят при $150\text{-}180^\circ\text{C}$ в течение 2-4 ч. При одинаковой прочности дюралюмины, подвергнутые естественному старению, более пластичны и коррозионностойки, чем подвергнутые искусственному старению. Особенностью нагрева алюминиевых сплавов при закалке является строгое поддержание температуры ($\pm 5^\circ\text{C}$), чтобы не допустить пережога и достичь наибольшего эффекта термической обработки.

Табл. 1. Деформируемые алюминиевые сплавы

Марка	Толщина листов, мм	Предел прочности растяжения $\sigma_{\text{в}}$ Мпа	Относительное удлинение $\Delta \text{в. } \%$	Назначение
Термически не упрочняемые				
АМцМ	0,5-10	90	18-22	Малонагруженные детали, сварные и клепаные конструкции, детали, получаемые глубокой вытяжкой
АМг2М	0,5-10	170	16-18	
АМг3Н	0,5-10	270	3-4	
АМг3М	0,8-10	190-200	15	
АМг5М	0,8-10	280	15	Среднеагруженные
Термически упрочняемые				
Д1А	5-10,5	360	12	Детали и конструкции средней прочности
Д16А Д16АТ	5-10,5 0,5-10	420 435	10	Детали и конструкции повышенной прочности, работающие при переменных нагрузках
В95А	5-10,5	500	6	Детали нагружаемых конструкций, работающие при температуре до 100°C

Примечание: 1. В зависимости от состояния поставки в обозначение марки добавляют следующие буквы: М - отожженные, Н - нагартованные, Т - закаленные и естественно состаренные. 2. Листы из сплавов Д1, Д16, В95 с нормальной плакировкой дополнительно маркируют буквой А.

Дюралюмины не обладают необходимой коррозионной стойкостью, поэтому их подвергают плакированию. Дюралюмины выпускают в виде листов, прессованных и катаных профилей, прутков, труб. Особенно широко применяют дюралюмины в авиационной промышленности и строительстве.

Литейные алюминиевые сплавы.

Литейные сплавы содержат почти те же легирующие компоненты, что и деформируемые сплавы, но в значительно большем количестве (до 9-13% по отдельным компонентам). Литейные сплавы предназначены для изготовления фасонных отливок. Выпускают 35 марок литейных алюминиевых сплавов (АЛ), которые по химическому составу можно разделить на 5 групп. Например, алюминий с кремнием (АЛ2, АЛ4, АЛ9) или алюминий с магнием (АЛ8, АЛ13, АЛ22 и др.).

Алюминиевые литейные сплавы маркируют, буквами АЛ и цифрой, указывающей условный номер сплава. Сплавы на основе алюминия и кремния называют силуминами. Силумины обладают высокими механическими и литейными свойствами: высокой жидкотекучестью, небольшой усадкой, достаточно высокой прочностью и удовлетворительной пластичностью. Сплавы на основе алюминия и магния имеют высокую удельную прочность, хорошо обрабатываются резанием и имеют высокую коррозионную стойкость.

Свойства алюминиевых литейных сплавов существенно зависят от способа литья и вида термической обработки. Важное значение при литье имеет скорость охлаждения затвердевающей отливки и скорость охлаждения ее при закалке. В общем случае увеличение скорости отвода тепла вызывает повышение прочностных свойств. Поэтому механические свойства отливок при литье в кокиль (металлические литейные формы) выше, чем при литье в песчано-глинистые формы.

Литейные алюминиевые сплавы имеют более грубую и крупнозернистую структуру, чем деформируемые. Это определяет режимы их термической обработки. Для закалки силумины нагревают до температуры 520 - 540⁰С и дают длительную выдержку (5-10 ч.), для того чтобы полнее растворить включения. Искусственное старение проводят при 150-180⁰С в течение 10-20ч.

Для улучшения механических свойств силумины, содержащие более 5% кремния, модифицируют натрием. Для этого в расплав добавляют 1-3% от массы сплава соли натрия (2/3NaF+1/3NaCl). При этом снижается температура кристаллизации сплава и измельчается его структура.

МОДИФИЦИРОВАНИЕ ВЫСОКОКРЕМНИСТЫХ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ - СИЛУМИНОВ. Сплавы с высоким содержанием кремния подвергают операции модифицирования. Излом образцов не модифицированного силумина является крупнокристаллическим по сравнению с изломом модифицированного. Структура модифицированного силумина состоит из дендритов раствора с расположенной между ними эвтектикой, в которой кремний находится в мелкой, округленной форме.

В качестве модификатора применяют смесь хлористых и фтористых солей калия и натрия. Наиболее эффективным является смесь солей: 67% фтористого натрия NaF и 33% и хлористого натрия NaCl при температуре сплава 750-780⁰С. Его интенсивно замешивают в сплав в течение 2-3 минут. Применяется метод модифицирования силуминов при температуре 730-750⁰С легкоплавкой смесью солей (%); 25NaF+62,5NaCl+12,5KCl (температура плавления 606⁰С). С целью увеличения количества натрия, способного перейти в расплав, применяют тройной флюс в (%); 47,5NaCl; 40NaF, 12,5KCl. Для лучшего удаления остатков флюса после модифицирования применяют фтористый натрий в количестве 0,03-0,5% от массы сплава. Для одновременной дегазации и модифицирования силуминов были разработаны универсальные флюсы, в состав которых входит: криолит-основное рафинирующее средство, фтористый натрий-модификатор, хлористый натрий и хлористый калий. Применяется три сплава в (%)

- 1)60 NaF, 25NaCl, 15Na₂AlF₆
- 2)40 NaF, 45 NaCl, 15 Na₃AlF₆
- 3)30 NaF, 50 NaCl, 10 Na₃AlF₆.

Совмещение операций и модифицирование алюмино-магневых сплавов достигается при обработке их в жидком состоянии фторцирконатом калия K₂ZrF₆ при температуре нагрева сплава до 750⁰С и выдержке под слоем (1% от массы сплава) в течении 10-15 минут. В сплав переходит от 0,03 до 0,13% циркония, который связывает водород в гидриды циркония и способствует измельчению микроструктуры при этом пористость отливок получается минимальной, а зерно мелким.

Иногда на заводы поступают чушки силумина с характерным усадочными дефектами на их поверхности, которые получили название провалов. Использование данных силуминов с дефектами в шихте для сплавов Al2, Al4, Al9 может вызвать появление провалов на поверхности готовых отливок. Для этого сплав подлежит обработке в жидком состоянии с целью введения в его состав фосфора. При температуре сплава 740⁰С вводится специально приготовленная лигатура алюминий – кремний - медь фосфор (с содержанием фосфора 1 %) из расчета содержания фосфора в сплаве 0,01%.

ПЛАВКА АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ. Отличается от технологии плавки сплава А12 введением легирующих добавок марганца и магния в сплав А14, магния меди в сплав А15 и магния в сплав А19. Расчет шихты для сплава А14 ведется на содержание компонентов, в %: 10 кремния, 0,4 марганца, 0,27 магния; остальное алюминий. Марганец вводится в сплав в виде лигатуры алюминий-марганец.

В начале плавки загружают чушковой алюминий и чушки силумина, затем лигатуру – алюминий, марганец и чушковые возвраты. По расплавлению производят рафинирование сплава, сплав доводят до температуры 120-230⁰С и при помощи колокольчика вводят магний, после расплавления сплав модифицируют и разливают. Расчет шихты для сплава А14 ведется на содержания элементов %: 7 кремния, 0,3 магния, остальное алюминий.

Плавка высококремнистого сплава с 20-22% кремния. Эти сплавы для промышленности представляют интерес потому, что они содержат очень малое количество дорогостоящих легирующих добавок, отличаются низкой плотностью, низким коэффициентом литейного расширения, хорошими литейными свойствами. В качестве модификатора применяют фосфор, титан и бор. Эффект измельчения структуры путем введения одновременно бора и титана устойчиво сохраняется после многочисленных переплавов. Этот сплав содержит 20-22% кремния, 2,2-3,0% меди, 0,2-0,5% магния, 0,2-0,4% марганца, 2,2-2,8% никеля, 0,1-0,3% титана, 0,2-0,4% хрома, остальное алюминий. Заливается при температуре 760-785⁰С.

ПЛАВИЛЬНЫЕ АГРЕГАТЫ. ГАЗОВЫЕ ОТРАЖАТЕЛЬНЫЕ ПЕЧИ. В литейном производстве для плавки алюминиевых сплавов применяются электрические тигельные печи сопротивления; электрические индукционные и канальные печи; газовые тигельные и отражательные печи.

Прогрессивный технологический процесс плавки, сочетающий два основополагающих принципа: плавку в жидкой ванне и шахтный способ нагрева, обеспечивает высокопроизводительную плавку при высоком КПД с высоким качеством расплава.

Резкое подорожание электрической энергии, её строгое лимитирование делают актуальным развитие и более широкое применение газовых плавильных агрегатов в литейном производстве, которые в настоящее время, благодаря низкой себестоимости получаемого расплава, высокой производительности и простоте обслуживания, становятся основными при приготовлении алюминиевых сплавов. Наиболее распространенными газовыми плавильными агрегатами являются отражательные печи и тигельные печи. Иногда применяют печи с погружными горелками; в последние годы нашли распространение шахтные печи [4].

Около 85 % общего объема литейных алюминиевых сплавов готовится в пламенных печах. Однако эти печи имеют низкий КПД, температура отходящих газов из этих печей высокая (450-550⁰С). Поэтому совершенствование и повышение эффективности работы пламенных печей является актуальной задачей.

Прогрессивным направлением в плавке сплавов в газовых печах является применение печей шахтного типа с использованием противоточного движения продуктов сгорания и шихты. Несмотря на перспективность использования печей шахтного типа, в том числе и за рубежом (фирм "Сежедор" (Франция), "Джет Мелтер" (Япония) и др.),

Существующие шахтные печи работают как в непрерывном режиме, так и в периодическом (поплавочном) режиме. В шахтных печах непрерывного действия расплавление происходит в капельно-струйном режиме, что приводит к ухудшению качества получаемого расплава. В шахтных печах, работающих в поплавочном режиме, расплавление происходит в жидкой ванне, что обеспечивает высокое качество, но КПД этих печей не превышает 30-40 %.

Газовые отражательные печи в настоящее время являются основными плавильными агрегатами, благодаря высокой производительности и большой ёмкости. Отражательные печи имеют неглубокую ванну с большой поверхностью, что вызывает повышенный угар металла; до 8-10 % при плавке мелкой шихты и до 15-20 % при плавке стружки. Недостатками отражательных печей являются также: местный перегрев расплава, повышенный расход топлива, низкий КПД -от 14 до 30 %.

Несмотря на эти недостатки благодаря высокой производительности, отражательные печи продолжают совершенствоваться по четырем основным направлениям; 1) увеличение поверхности ванны при уменьшении её глубины, повышение тепловой мощности печи, использование рекуператоров; 2) осуществление подогрева дутьевого воздуха; 3) обеспечение высокой производительности за счёт сокращения времени загрузки; 4) осуществление подогрева шихты теплотой продуктов сгорания.

Несколько печей фирмы "Сежедюр" совершенствуемые по первому направлению, обеспечивают производительность до 150 т/сут и термический КПД 31-40 % при работе с керамическим рекуператором с развитой площадью пода (~37 м²) и малой глубиной ванны (~ 0,6 м) [2,3]. Вместимость ванны 50 т, обогрев производится четырьмя горелками с общей тепловой мощностью $4,86 \cdot 10^7$ кДж/ч.

Наиболее эффективным направлением совершенствования отражательных печей является осуществление подогрева шихты за счёт теплоты продуктов сгорания. При этом качающиеся отражательные печи с раздельной плавильной ванной с форкамерной для подогрева шихты являются особенно перспективными. Эти печи; ёмкость которых колеблется от 1 до 50 т, оснащены рекуператорами, что обеспечивает повышение производительности.

Однако все отражательные газовые печи имеют значительный недостаток: нагрев металла в них происходит сверху и чтобы прогреть всю толщину металла для его расплавления, ванну печи делают неглубокой и с большой поверхностью; это вызывает, кроме повышенного угара, ещё и значительную газонасыщенность. Для получения чистого от примесей железа расплава применяют графитовые тигли, однако печи с графитовыми тиглями характеризуются малой производительностью и большим расходом тиглей. Использование же чугунных тиглей, более дешёвых и прочных, приводит к растворению в алюминиевом сплаве железа тигля, содержание которого в сплаве может повыситься на 0,1-0,2 %.

Главным преимуществом тигельных печей является возможность получения сплавов с низким содержанием газов, благодаря отсутствию контакта расплава с продуктами сгорания. Угар в этих печах составляет 0,5-1,0 % [10]. Однако тигельные печи малопродуктивны, требуют большого расхода топлива на прогрев самого тигля, имеют низкий термический КПД - 10-20 % .

Тигель, погружаемый в расплав, служит нагревателем. Внутри тигля сверху направлен факел газовой горелки. С целью сокращения расхода газа и повышения точности регулирования температуры расплава применяются погружные горелки. По принципу работы печей с такими горелками аналогичны печам с погружаемыми тиглями.

Шахтные печи не получали распространения ввиду трудностей с перегревом расплава. Так, по исследованиям одной из лабораторий Англии , температура расплава в шахтных печах не превышает температуру плавления более чем на 20°C, хотя безвозвратные потери составляют 0,4 %.

Эффективное сочетание двух типов печей - шахтных и тигельных, разработанное (рис.1.1) учёными Англии [16], обеспечивает высокий КПД, минимальный угар металла, составляющий менее 1 %, простоту эксплуатации, температуру расплава при выпуске до 800°C.

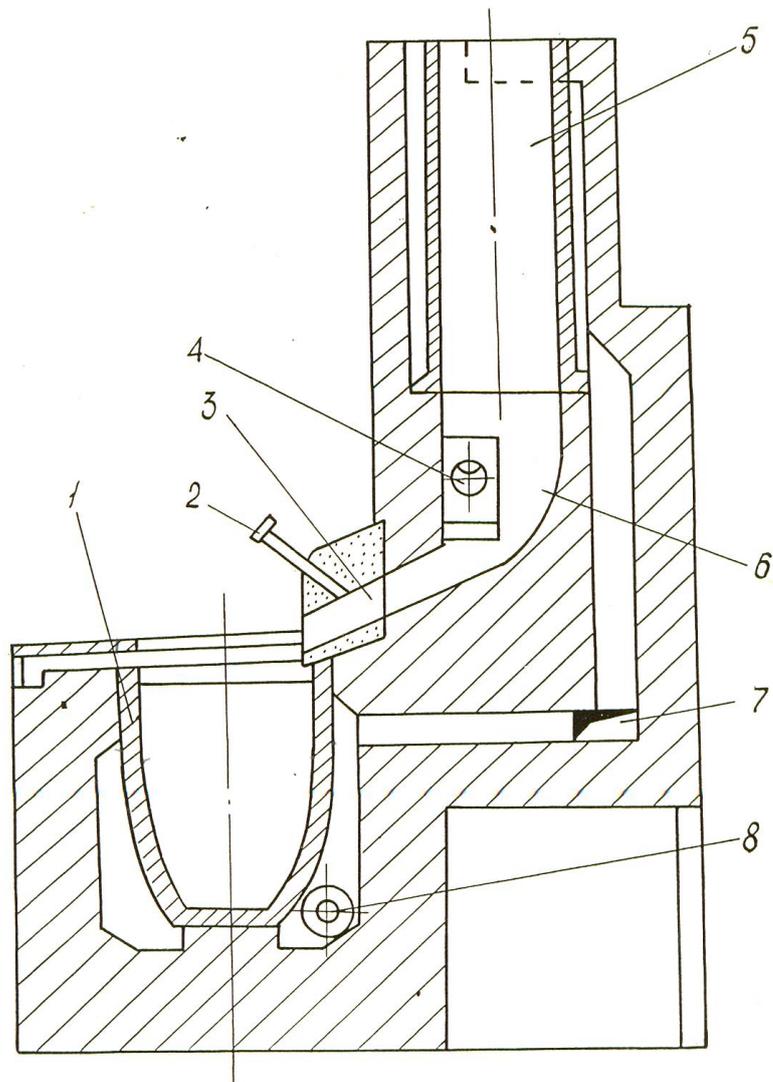


Рис. 1.1. Шахтно-тигельная печь.

1 – тигель; 2, 4, 8, - газовые горелки
3 – выпускной желоб; 5 – шахта; 6 – горн; 7 – дымоход

экономичность по сравнению с тигельными печами обычной конструкции. Конструкция печи показана на рис. 1.1.

Существенным недостатком шахтных печей является плавление шихты на подине, приводящее к повышенному угару расплава и его высокой газонасыщенности.

Таким образом, в данной статье были приведены анализ существующих составов и технологий, их характеристики и состав компонентов. А также рассмотрена структура и расположения, варианты технологического процесса, а также способы получения отливок.

Литература

1. Воскобойников В.Г. и др. Общая металлургия - 6-изд., перераб. и доп. - М.: ИКЦ «Академкнига», 2005 - 768 с.
2. http://emchezgia.ru/cvet_met/28_elektroliticheskopoluchenie_aluminiya.php
3. Л. И. Леви, Л. М. Мариенбах. Основы металлургических процессов и технологии плавки литейных сплавов, М., 1990.
4. В.М. Лебедев, А.В.Мельников, В.В.Николаенко. Отливки из алюминиевых сплавов, М., 1970.