



В. С. Игнатъев /к. т. н./, С. Н. Подгорный

Национальная металлургическая академия
Украины, г. Днепро, Украина
e-mail: ignatiev@i.ua

Сравнительный анализ методов производства и разработка технологии карбидотермического процесса получения сплавов свинец-кальций

V. S. Ignatiev /Cand. Sci. (Tech.)/,
S. N. PodgorniyNational metallurgical academi of Ukraine,
Dnipro, Ukraine
e-mail: e-mail: ignatiev@i.ua

Comparative evaluation of methods of production and development of technology of carbide termal of process of receipt of alloys is lead-calcium

Цель. Сравнительное исследование применяемых способов получения свинцово-кальциевых сплавов.

Методика. Обработка литературных данных и проведение собственных лабораторных экспериментальных исследований¹.

Результаты. Установлены оптимальные параметры и разработана технология карбидотермического процесса получения сплавов свинец-кальций.

Научная новизна. Изучено влияние параметров карбидотермического процесса на степень извлечения кальция из карбида в жидкий свинец.

Практическая значимость. Разработана экономичная технология легирования свинца кальцием с использованием технического карбида кальция взамен принятой технологии легирования свинца металлическим кальцием. (Библиогр.: 6 назв.)

Ключевые слова: свинец, кальций, сплав, способ получения, карбидотермический процесс, технология.

Постановка проблемы. Свинцово-кальциевые сплавы применяются для производства пластин аккумуляторов, антифрикционных баббитов, а также для рафинирования черного свинца от висмута [1].

Аккумуляторная промышленность ведущих стран мира переходит на выпуск батарей нового типа. Принципиальное отличие таких батарей заключается в использовании решеток пластин из сплава свинец-кальций, иногда с добавкой олова, стронция и кадмия, вместо традиционно сплава свинец-сурьма (до 6 % Sb). Отсутствие в сплавах сурьмы устраняет газовыделение и испарение электролита, ликвидирует саморазряд батарей и необходимость их периодической подзарядки. Аккумуляторы нового типа имеют следующие преимущества: меньшие размеры и снижение расхода свинца на 25 %, увеличение срока службы до 5–6 лет вместо 3 лет, не требуют обслуживания (их выпускают в запечатанном виде без заливных пробок). Для положительного электрода аккумуляторов пластины отлива-

ют из сплава с 0,04–0,06 % Ca, а для отрицательного электрода – из сплавов с 0,08–0,12 % Ca.

Антифрикционные баббиты – это сплавы на основе свинца, которые применяются для заливки подшипников или вкладышей подшипников скольжения. Основное назначение баббита – предохранить трущиеся детали от быстрого износа. Кальциевые баббиты содержат 0,3–0,9 % Ca и 0,20–0,90 % Na. Содержащийся в баббитах твердый раствор натрия в свинце представляет собой пластичную основу сплава, а твердый интерметаллид Pb_3Ca придает сплаву износостойчивость при трении.

Черновой сурмянистый свинец, производимый из вторсырья, содержит 0,01–0,015 % Bi. Для получения мягкого свинца концентрация висмута не должна превышать 0,006 %. Для удаления висмута в расплав вводят металлический кальций для получения интерметаллических соединений Bi_2Ca_3 , $BiCa$, Bi_3Ca_2 , обладающих высокой температурой плавления, малой растворимостью в свинце и имеющих

¹В проведении исследований принимал участие А. А. Веремеенко, студент НМЕТАУ.

плотность значительно ниже плотности свинца, что позволяет им всплывать на поверхность свинцового расплава.

Кальций плавится при 851 °С, а упругость пара кальция при температуре его плавления составляет 1,54 мм рт. ст. Растворимость кальция в свинце при 25 °С равна 0,01 % масс., а при 900 °С – 0,1 % масс. В системе Pb-Ca существует соединение Pb₃Ca, содержащее 6,1 % Ca и плавящееся при 660 °С. При 300 °С кальций окисляется на воздухе и при 900 °С сгорает ярким оранжево-красноватым пламенем.

Легирование свинца кальцием представляет определенные трудности, связанные с большой разницей плотности свинца и кальция, с необходимостью защиты кальция от окисления и, наконец, с малой растворимостью кальция в свинце. Свинец тяжелее кальция почти в 7 раз (плотность свинца и кальция составляет соответственно 11,3 и 1,5 г/см³), что вызывает расслоение сплавов. Кальций – чрезвычайно активный щелочноземельный металл, что требует проводить легирование под флюсом или в защитной атмосфере.

Формулировка цели. В настоящее время известны следующие способы получения свинцово-кальциевых сплавов:

- 1) сплавление жидкого свинца с металлическим кальцием;
- 2) сплавление хлористого кальция со свинцово-натриевым сплавом (хлоридный способ);
- 3) электролиз расплавленного хлористого кальция с жидким свинцовым катодом;
- 4) вмешивание в жидкий свинец порошка карбида кальция (карбидотермический способ).

Целью настоящей работы является сравнительное исследование указанных способов.

1. Сплавление жидкого свинца с металлическим кальцием. Этот способ является в настоящее время наиболее распространенным на предприятиях, выпускающих свинцовые аккумуляторы. Получаемые этим способом сплавы содержат до 6 % Ca.

Сплавление свинца с кальцием осуществляется путем вмешивания в расплав свинца при 560 °С гранул кальция фракции 5–15 мм. Процесс проводится в стальном котле с мешалкой. Кальций вводится в расплав свинца с помощью специального бункера с дозатором, установленного на траверсе мешалки. Продолжительность перемешивания расплава – 15–20 мин. Зеркало расплава укрывается специальными зондами, закрывающими котел.

На ряде предприятий металлический кальций используется в виде стружки толщиной 2–5 мм или крупки фракции 0,04–5 мм. Кальций вводится в расплав с помощью устройства

с перфорированной корзиной, оборудованного электромеханическим приводом. Возможно проведение процесса в защитной атмосфере из аргона или оксида углерода.

Угар кальция обычно принимается равным 30 %. Практика показывает, что при выдержке сплава в котле более одного часа кальций выгорает полностью.

В последние годы практикуется совместная присадка в ковш кальция и алюминия в соотношении 2:1. При этом навеска кальция разделяется на две равные части. Первая половина навески задается вместе с порошком или проволокой алюминия. Продолжительность перемешивания каждой части кальция составляет 10 мин.

Основным недостатком способа сплавления является необходимость использования дорогого и дефицитного металлического кальция. В условиях Украины металлический кальций не производится, и поэтому приходится рассчитывать только на импорт данного металла.

2. Хлоридный (натриетермический) способ. Хлоридный способ использовался в бывшем СССР для производства кальциевых баббитов, применяемых для заливки вкладышей подшипников железнодорожных вагонов, и сохранился на некоторых российских заводах. Способ основан на обменной реакции, протекающей в присутствии свинца как растворителя:



Технология натриетермического получения свинцово-кальциевых сплавов включает три операции:

- 1) заливка жидкого свинца в расплавленный натрий (из расчета 50 кг Na на 1 т Pb) для образования двойного сплава Pb-Na;
- 2) обезвоживание и расплавление хлористого кальция;
- 3) выпуск расплавленного хлористого кальция в жидкий двойной сплав и перемешивание расплава в течение 10–15 мин при 700–750 °С.

Все операции проводятся в стальных котлах, а обезвоживание и расплавление хлористого кальция осуществляется также и в отражательной печи.

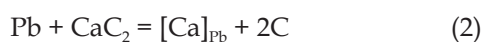
Получаемый конечный сплав обычно содержит 0,8–3 % Ca и 1–1,5 % Na. На 1 т сплава с 3 % Ca расходуется 50–55 кг металлического натрия и 320–340 кг хлористого кальция.

Недостаток этого способа заключается в относительно высоком расходе дорогого и дефицитного металлического натрия и его больших потерях (15–30 %) в результате улета и окисления при сплавлении со свинцом. В Украине, где отсутствует производство натрия, хлоридный способ практически не применяется.

3. Электролитический способ. Способ основан на электролитическом разложении расплавленного хлористого кальция в ванне с жидким свинцовым катодом. Электролиз проводится при 700–800 °С с использованием в качестве электролита расплавленной смеси состава, %: CaCl₂ 80-85, KCl 15-20. Электролиз хлористого кальция осуществляется в электролизере с жидким катодом и графитовым анодом. На катоде выделяется кальций, растворяющийся в жидком свинце, а на аноде – хлор. Содержание кальция в электролитическом сплаве составляет 2–8 %. В процессе электролиза сплав перемешивается мешалкой и выпускается в изложницы через летку.

На 1 кг кальция в сплаве расходуется 6,5–8 кг CaCl₂ и 50–80 кВт ч электроэнергии. Выход по току для процесса не превышает 40 %. По сравнению с натриетермическим способом электролиз исключает расход металлического натрия и сокращает расход CaCl₂. Однако электролитический способ имеет следующие недостатки: низкий выход кальция, высокий расход хлористого кальция и электроэнергии, низкая производительность, большие капитальные затраты. С учетом указанных недостатков этот способ малоперспективен, хотя и применяется в Японии и США.

4. Карбидотермический способ. Согласно патенту, полученному В. Кроллем [1], свинцово-кальциевые сплавы получают при карбидотермическом способе путем взаимодействия свинца с карбидом кальция при 1200–1400 °С в восстановительной атмосфере по реакции:



Для улучшения растворения кальция в свинце Кроль рекомендовал применять при плавке флюсы из хлоридов щелочных и щелочноземельных металлов. Для предотвращения взаимодействия кальция с кислородом и азотом необходима защитная газовая фаза (H₂, Ar, Co) или вакуум, что позволяет снизить рабочую температуру плавки до 700–1000 °С. При плавке в защитной атмосфере и перемешивании реагентов в течение 1 ч при 800 °С получают сплав, содержащий 2 % Ca.

Карбидотермический процесс применяется в Польше, США, Германии. Например, на одном из польских заводов для получения сплавов Pb-Ca используют два чугунных котла. В первом котле расплавляется и нагревается до 900 °С смесь хлористого кальция и флюорита, которая затем выливается в котел со свинцом, нагретым до такой же температуры. Во второй котел добавляется 1–1,5 % Al и 7–8 % CaC₂. Содержимое котла перемешивается механической пропел-

лерной мешалкой в течение 8 ч при одновременном повышении температуры к концу процесса до 1150 °С. При этом содержание кальция в сплаве составляет 2–4 %.

На свинцовых заводах бывшего СССР, в том числе и в Украине, карбидотермический способ не применяется и не используется до сих пор, несмотря на его простоту и экономичность. Процесс исследовался в 60-е годы XX в. В. В. Родякиным, А. Я. Фишером и А. Я. Нашельским [2–4], которые установили основные закономерности легирования свинца карбидом кальция. Ранее нами также исследовались физико-химические закономерности этого процесса [5–6]. В настоящей работе изучено влияние параметров карбидотермического процесса на степень перехода кальция из карбида в сплав с целью оптимизации процесса. В качестве основных параметров процесса выбраны расход карбида кальция и его фракция, расход хлористого кальция и алюминия, температура и длительность перемешивания.

Методика исследования. Проведенные нами лабораторные опыты по получению свинцово-кальциевого сплава карбидотермическим способом проводили в стальном котле емкостью 5 кг. Котел накрывали стальной крышкой с отверстиями для вала мешалки, для загрузки шихты и для термопары.

В расплавленный свинец в котле загружали обезвоженный хлористый кальций, а при достижении температуры 900 °С – алюминиевую стружку. Затем устанавливали крышку и включали мешалку со скоростью 250 об/мин. Загрузку карбида кальция производили небольшими порциями в течение всей плавки при постепенном повышении температуры до 1000 °С. По окончании перемешивания из котла удаляли слой флюса, и сплав разливали в изложницу.

Исходными материалами процесса являлись мягкий свинец (99,9 % Pb), технический карбид кальция (78 % CaC₂, 17 % CaO), технический хлорид кальция (62 % CaCl₂), чистый алюминий (99,8 % Al). Карбид и хлорид кальция использовали в виде порошка фракции 3–10 мм, а алюминий – в виде дробленой стружки той же фракции.

Контроль процесса осуществлялся путем определения концентрации кальция в сплаве и путем расчета степени перехода (выхода) кальция из карбида в сплав. Степень перехода определяли как отношение массы кальция в сплаве и в карбиде.

Изложение основных результатов исследования. Ниже приведены результаты исследования влияния отдельных параметров процес-

са на содержание кальция в сплаве и на выход кальция.

4.1. Влияние расхода карбида кальция. Расход карбида кальция для карбидотермического процесса зависит от требуемого содержания кальция и определяется из расчета 4 кг CaCl_2 на 1 кг Ca в сплаве. Проведенные опыты при расходе карбида кальция в пределах 5–30 % от массы свинца (при 900 °С и длительности перемешивания 1 ч) показали, что содержание кальция в сплаве растет прямо пропорционально расходу карбида в пределах 5–25 %, а выход кальция из карбида в сплав остается практически постоянным на уровне 20–22 %. При этом увеличение расхода CaC_2 до 30 % от массы свинца вызывает резкое снижение выхода кальция, так как смесь свинца и карбида сильно густеет. Следует отметить, что относительно малая величина выхода кальция соответствует процессу без специальных добавок (флюс, алюминий).

Оптимальный расход карбида составляет 20 % от массы свинца или 40 % от массы флюса. При меньшем расходе резко уменьшается выход кальция в сплав, так как кальций растворяется в большой массе флюса.

4.2. Влияние крупности карбида кальция. Эффективность карбидотермического процесса сильно зависит от крупности кусков карбида. Обычно карбид кальция, выплавляемый в электропечах, поставляется в виде фракции 10–50 мм. По нашим данным оптимальный размер частиц карбида составляет 3–10 мм, что соответствует отсеvu при дроблении электропечного карбида. Отсев в основном состоит из частиц размером 3–5 мм. С уменьшением размера частиц содержание в них CaO возрастает. Это вызывает загустевание флюса из-за повышенного содержания в нем извести. С другой стороны, увеличение крупности кусков карбида более 10 мм уменьшает его суммарную площадь поверхности, что замедляет основную реакцию процесса на границе двух фаз карбид – жидкий свинец.

4.3. Влияние расхода и состава флюса. Одним из необходимых реагентов карбидотермического процесса является флюс из хлорида кальция CaCl_2 . Этот флюс предохраняет кальций от окисления и «шлакует» известь на кусках карбида.

Растворимость извести в CaCl_2 составляет около 20 %, а содержание извести в техническом карбиде достигает 30 %. Поэтому масса хлорида кальция для ошлакования содержащейся в карбиде извести должна минимум в 1,5 раза превышать массу карбида. С учетом потерь флюса его расход должен быть в 2 раза больше, чем расход карбида.

Проведенные нами опыты с использованием хлоридного флюса при 800 °С при расходе карбида 20 % от массы свинца и расходе флюса в пределах 10–50 % от массы свинца показали, что зависимость содержания кальция в сплаве и выхода по кальцию от расхода флюса имеет экстремальный характер. Максимум выхода по кальцию (40–50 %) обеспечивается при расходе флюса 30–40 % от массы свинца. Такой расход флюса следует считать оптимальным.

Необходимо отметить, что с точки зрения использования реакционного объема котла увеличение расхода CaCl_2 свыше 40 % от массы свинца нецелесообразно, так как плотность CaCl_2 (2 г/см³) почти в 5 раз меньше, чем у свинца (10,3 г/м³).

На польских заводах в качестве добавки к карбиду и хлориду кальция используют плавленый шпат и хлорид натрия. При этом возможны два варианта состава флюса: 80–85 % CaCl_2 + 15–20 % NaCl и 88–90 % CaCl_2 + 10–12 % CaF_2 . Добавки NaCl и CaF_2 способствуют снижению температуры процесса (на 50–100 °С) и вязкости флюса, но не оказывают влияния на содержание кальция в сплаве и выход по кальцию.

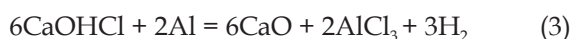
Основное назначение флюса – растворение пленок CaO, присутствующих в карбиде, и защита растворенного кальция от окисления. Следует отметить, что CaO образуется также при плавке за счет гидролиза CaCl_2 и из-за прямого окисления кальция кислородом воздуха.

Операция обезвоживания CaCl_2 занимает много времени и связана с большим расходом корродирующих котлов. Поэтому в качестве заменителя хлористого кальция был испытан более дешевый и легкоплавкий природный карналлит $\text{MgCl}_2 \cdot \text{KCl} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$.

Установлено, что при замене хлорида кальция карналлитом при температуре 750 °С содержание кальция в сплаве достигает 5 % против 2,5 %, полученных при CaCl_2 . При расходе карналлита выше 50 % от массы свинца увеличение расхода карбида свыше 20 % нецелесообразно, так как расплав загустевает, образуются комки и степень использования карбида кальция и содержание кальция в сплаве снижаются. С увеличением расхода карналлита до 50 % от массы свинца, так же, как и при работе с хлористым кальцием, содержание кальция в сплаве и выход по кальцию повышаются. При этом магний переходит в сплав в незначительном количестве (не более 4 %).

4.4. Влияние расхода алюминия. Присадка алюминия во флюс предназначена для дегидратации флюса. Расплавленный хлористый кальций, взаимодействуя с парами воды воздуха, всегда содержит определенное количество ок-

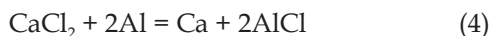
сихлорида CaOHCl , который является сильным окислителем для кальция. Алюминий ускоряет диссоциацию оксихлорида по реакции:



Расход алюминия на дегидратацию флюса обычно принимается из расчета 1–2 % от массы флюса.

Серия опытов при различном расходе алюминия при 800 °С в течение 1 ч и расходе карбида и хлорида кальция 20 и 40 % от массы свинца соответственно показала, что присадка алюминия во флюс в количестве 1–3 % от массы свинца повышает выход по кальцию до 40–60 % и позволяет получить сплав с 3–5 % Ca. Этот оптимальный расход алюминия соответствует в пересчете на флюс 10 % от массы флюса и отношение Al/карбид равняется 0,25.

Алюминий, не израсходованный на дегидратацию флюса, по-видимому, реагирует с хлоридом кальция по реакции:



Алюминий может также восстанавливать содержащийся во флюсе оксид кальция:



В сплав переходит около 10 % алюминия, и содержание его в сплаве не превышает 0,1 %. Этот алюминий снижает угар кальция при разливке.

4.5. Влияние температуры. Диссоциация карбида кальция требует затрат энергии, равных 89 кДж/моль. В то же время процесс растворения кальция в свинце является экзотермическим.

Опыты, проведенные в интервале температур 700–1200 °С при расходе карбида и хлорида кальция 20 и 40 % от массы свинца и длительности перемешивания 1 ч, показали, что зависимость эффективности процесса от температуры процесса имеет экстремальный характер. Максимальные значения содержания кальция в сплаве и выходе по кальцию соответствуют температуре 750–800 °С.

Относительная тугоплавкость флюса из хлорида кальция ($t_{\text{пл}} = 782$ °С) не позволяет снижать температуру процесса ниже 800 °С. Более легкоплавкий флюс образуется при присадке во флюс CaF_2 и NaCl для получения эвтектического состава. В системе $\text{CaCl}_2 - \text{CaF}_2$ эвтектика с температурой плавления 644 °С образуется при 10–12 % CaF_2 , а при 20 % NaCl смесь $\text{CaCl}_2 + \text{NaCl}$ плавится при 600 °С.

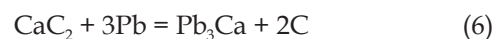
Использование легкоплавких эвтектических флюсов, не влияя на величину выхода по кальцию, позволяет снизить температуру процесса.

По сравнению с флюсом из чистого CaCl_2 , флюс $\text{CaCl}_2 + \text{CaF}_2$ обеспечивает ту же величину выхода по кальцию уже при 750 °С, а флюс $\text{CaCl}_2 + \text{NaCl}$ – даже при температуре 700 °С.

Увеличение температуры процесса выше 800 °С вызывает значительное снижение как содержания кальция в сплаве, так и выхода по кальцию за счет потерь кальция в виде угара. В опытах при температурах 1000–1200 °С наблюдается сгорание паров кальция с пироэффектом.

4.6. Влияние длительности перемешивания. Серия опытов по исследованию кинетики карбидотермического процесса при 800 °С, расходе карбида и хлорида кальция 20 и 40 % от массы свинца соответственно при расходе алюминия 1–3 % показала, что процесс легирования свинца кальцием из карбида завершается в основном в течение 1 ч. (Выход кальция из карбида в сплав на уровне 50 %.) Увеличение длительности перемешивания свыше 1 ч нецелесообразно, так как не обеспечивает более высокий выход кальция за счет увеличения угара кальция.

4.7. Механизм карбидотермического процесса. Карбидотермический процесс производства свинцово-кальциевых сплавов основан на термической диссоциации карбида кальция в жидком свинце под хлоридным флюсом с добавкой алюминия. Образующийся при диссоциации карбида кальций растворяется в свинце с образованием интерметаллида Pb_3Ca по реакции:



Необходимыми условиями процесса являются вмешивание частиц карбида в жидкий свинец и непосредственный контакт карбида со свинцом. Вмешивание карбида в свинец обеспечивается механическим перемешиванием.

Прямому контакту карбида кальция со свинцом препятствует пленка извести на зернах карбида и выделение углерода в виде графита на поверхности раздела карбид-свинец. Удаление извести и графита обеспечивается путем их «шлакования» с помощью хлоридного флюса. Для предотвращения окисления образующегося кальция необходима дегидратация флюса с помощью алюминия.

Термическая диссоциация твердого карбида кальция при температуре процесса (800 °С) связана с его кристаллохимическим превращением $\alpha \rightarrow \beta - \text{CaCl}_2$ с изменением типа решетки. Это превращение вызывает появление дефектов на поверхности зерен карбида.

Перенос реагирующих веществ к межфазной границе обеспечивается механическим перемешиванием смеси карбид-свинец после удаления

пленки извести с зерен карбида. Акт химического взаимодействия представляет собой растворение выделившегося кальция в свинце с образованием интерметаллида. Это растворение ускоряет диссоциацию карбида, так как обеспечивает отвод кальция из реакционной зоны. Отвод другого продукта реакции – графита – обеспечивается с помощью флюса и за счет потока жидкого свинца при перемешивании. Лимитирующими стадиями процесса, по-видимому, являются подвод реагирующих веществ в зону реакции и отвод продуктов реакции.

4.8. Предлагаемая технология карбидотермического процесса.

1. Процесс осуществляется в стальном или чугунном котле с крышкой и механической мешалкой.

2. В нагретый котел заливают жидкий свинец и задают флюс состава, %: CaCl_2 80, NaCl 10, CaF_2 10 в количестве 30–40 % от массы свинца.

3. После расплавления флюса на него при 800 °С вводят алюминий – стружку или отходы штамповки – в количестве 1–3 % от массы свинца при перемешивании в течение 15–20 мин для обезвоживания флюса.

4. В обезвоженный флюс при перемешивании постепенно загружают карбид кальция фракции 3–10 мм в количестве 4,0 кг на 1 кг кальция, вводимого в сплав.

5. Флюс с карбидом перемешивают в течение 1 ч при 700–800 °С.

6. Отработанный флюс удаляют из котла, а готовый сплав разливают по изложницам.

7. Основные технологические параметры процесса:

– расход карбида кальция – 20 % от массы свинца;

– фракция карбида – 3–10 мм;

– расход флюса – 30–40 % от массы свинца;

– состав флюса, %: CaCl_2 80, NaCl 10, CaF_2 10;

– расход алюминия – 1–3 % от массы свинца;

– температура – 750–800 °С;

– длительность перемешивания – 1 ч.

Для промышленного осуществления карбидотермического процесса на свинцовых заводах Украины не требуется больших капитальных затрат. На имеющихся рафинировочных котлах необходимо смонтировать мешалку и крышку и предусмотреть механизмы для подъема мешалки и крышки. Кроме того, необходимо соорудить печь или котел для обезвоживания хлористых солей и печь или сушильный шкаф для сушки карбида кальция при 120–150 °С. Приведенное в настоящей работе сравнение технико-экономических показателей различных способов получения свинцово-кальциевого сплава с 3 % Ca показало, что наиболее дешевым спо-

собом является электролитический. Среди трех остальных способов наименьшие затраты на производство 1 т сплава соответствуют карбидотермическому процессу, а наибольшие – способу плавания.

Проведенное исследование позволяет рекомендовать карбидотермический способ получения свинцово-кальциевых сплавов для внедрения в производство.

Выводы

1. Способ сплавления, основанный на растворении металлического кальция в жидком свинце, является в настоящее время наиболее распространенным. Однако угар кальция достигает 30 %, а в условиях Украины дорогой и пожароопасный кальций необходимо импортировать.

2. Хлоридный (натриетермический) способ, основанный на вытеснении кальция из его хлорида жидким натрием в присутствии свинца как растворителя, отличается высоким расходом дорогого и дефицитного металлического натрия и большими его потерями в результате улета и окисления.

3. Электролитический способ, основанный на разложении расплавленного хлористого кальция в ванне с жидким свинцовым катодом, является относительно дешевым, но характеризуется высоким расходом хлористого кальция и электроэнергии, низкой производительностью и большими капитальными затратами.

4. Указанных выше недостатков лишен карбидотермический способ. Способ основан на легировании свинца кальцием, получаемым при термическом разложении карбида кальция, и предусматривает вмешивание порошка карбида в жидкий свинец при перемешивании под хлоридным флюсом с добавкой алюминия. Использование как источника кальция технического карбида кальция, получаемого на украинских предприятиях, обеспечивает высокую экономичность процесса.

5. Определены оптимальные параметры карбидотермического процесса: расход карбида кальция, флюса (хлорида кальция) и алюминия составляет соответственно 20, 40 и 1 % от массы свинца, фракция карбида кальция – 3–10 мм, температура – 800 °С, длительность перемешивания – 1 ч. При оптимальных параметрах выход кальция из карбида в сплав составляет 50 % и обеспечивает получение сплава с содержанием кальция до 6 %.

6. Способ рекомендован для замены принятой технологии легирования свинца металлическим кальцием. При этом на свинцовых заводах Украины не требуется больших капитальных

затрат. На имеющихся рафинировочных котлах необходимо лишь смонтировать мешалку и крышку и предусмотреть механизмы для подъема мешалки и крышки. Кроме того, необходимо соорудить печь для обезвоживания хлористых солей и печь для сушки карбида кальция.

Библиографический список / References

1. Кроль В. Патент США, № 381577, 1956.
Krol' V. Patent USA, no. 381577, 1956.
2. Родякин В. В. Цветные металлы. – 1958. – № 4. – С. 43–49.
Rodyakin V. V. Tsvetnye metally, 1958, no. 4, pp. 43-49.
3. Фишер А. Я. Металловедение и обработка цветных металлов и сплавов. – 1963. – Вып. 2. – С. 153–164.
Fisher A. Ya. Metallovedenie i obrabotka tsvetnykh metallov i spлавov, 1963, issue 2, pp. 153-164.
4. Нашельский А. Я. Известия вузов. – 1958. – № 6. – С. 72–75.
Nashel'skiy A. Ya. Izvestiya vuzov, 1958, no. 6, pp. 72-75.
5. Игнат'ев В. С., Знайко А. М. Металургія: зб. наук. праць. – Запоріжжя: ЗДІА, 2006. – Вип. 13. – С. 36–41.
Ignat'ev V. S., Znayko A. M. Metalurgiya. Zaporizhzhya, ZDIA, 2006, issue 13, pp. 36-41.

6. Игнат'ев В. С., Знайко А. М. Теория и практика металлургии. – 2005. – С. 38–43.

Ignat'ev V. S., Znayko A. M. Teoriya i praktika metallurgii, 2005, pp. 38-43.

Purpose. A comparative study of applied methods of production lead-calcium alloy.

Methodology. Processing of published data and conducting of its own laboratory experimental studies.

Findings. The optimal parameters has been determined and technology of carbide thermal process of production lead-calcium alloys has been elaborated.

Originality. The effect of carbide thermal process on the degree of extraction of calcium carbide in liquid lead has been studied.

Practical value. The economical technology of alloying lead by calcium using technical calcium carbide instead of accepted technology of alloying lead by metal calcium was developed.

Key words: lead, calcium, alloy, production method, carbide thermal process.

Рекомендована к публикации
д. т. н. М. И. Гасиком

Поступила 05.12.2016

