

**УЛУЧШЕНИЕ КАЧЕСТВА РАСПЛАВА АЛЮМИНИЯ НА ВЫХОДЕ ПЕЧИ С ПОМОЩЬЮ СИСТЕМЫ
ВНУТРИПЕЧНОГО РАФИНИРОВАНИЯ IRMA
(IMPROVED MOLTEN METAL QUALITY AT THE OUTLET OF THE FURNACE THROUGH THE
IRMA TREATMENT)**

Pierre Le Brun¹, Alain Mathis¹

¹PECHINEY CRV (Centre de Recherches de Voreppe), 725 rue Aristide Bergès, BP 27, F-38341 Voreppe cedex, FRANCE

О данной статье

В 80х годах XX века, компания Pechiney (в настоящее время Novelis PAE) разработала технологию рафинирования алюминия для повышения качества выплавляемых алюминиевых сплавов. Технология основана на основании техники дегазации с помощью вращающихся роторов. Данная технология получила широкое распространение на многих литейных производствах компании Pechiney. В настоящей статье рассматриваются основы данной технологии. Улучшение качества расплава алюминия, получаемые в результате внедрения данной технологии представлены в деталях: по показателям удаления (снижения) количества водорода, включений, количества щелочи или щелочноземельных элементов. Экологические преимущества использования технологии IRMA также показаны в данной статье.

Введение

Необходимость получения высокого качества расплава алюминия требуется для многочисленных областей использования алюминиевых сплавов.

Необходимые критерии качества расплава алюминия включают в себя следующие показатели: содержание водорода в расплаве, содержание примесей или содержание щелочи или щелочноземельных элементов.

Для повышения качества расплавов были разработаны разные процессы. Среди прочих, обработка расплава флюсом использовалась в течение длительного времени, но использование некоторых флюсов в Европе в настоящее время запрещено (флюсы содержащие гексахлорэтан, C_2Cl_6 запрещены к использованию в Европе). Обработка расплава с помощью копий очень популярна из-за простоты реализации. Они имеют недостаток связанный с локализацией обработки расплава (образованные действием копий пузырьки рафинирующего газа не рассеиваются в расплаве), что иногда приводит к опасным газообразным выбросам (часто содержащим хлор, когда он используется для рафинирования), кроме того сами копия являются нежелательными расходными материалами.

В последние годы получили признание пористые пробки, благодаря увеличенному сроку службы по сравнению с первоначально доступными продуктами {1}. Тем не менее, требуется, чтобы они были установлены во время техобслуживания печи, делает их реализацию сложной. Кроме того, шлейф пузырей также локализован в расплаве. В конце 90х годов был разработан новый вид внутripечной обработки расплава, который основывается на введении одного ротора как с помощью портативного (ввод ротора осуществляется через дверь печи), или ротор устанавливается на печи {2,3}.

В конце 80х годов Pechiney разработали новую технологию внутripечного рафинирования, называемую IRMA (Injecteur Rotatif en four de Maintien) {4,5}. Данная технология основана на основе успешной технологии Alpur, обеспечивающей эффективное воздействие на удаление водорода, включений и щелочных и щелочноземельных элементов. Настоящая статья представляет результаты работы системы IRMA полученные с литейных цехов Pechiney.

IRMA: принцип действия и описание оборудования

В 80х годах казалось, что обычные методы рафинирования, используемые для внутripечного улучшения качества расплава, таких как обработка расплава копиями или обработка расплава гранулированным флюсом не были оптимальными. В то время технологии дегазации расплава не были достаточно надежными, часто поступали претензии заказчиков по высокому количеству посторонних включений в металле и рабочие условия были часто не удовлетворительные. Эти движущие силы ускорили внедрение новых природоохранных законодательных мер (по уровню выбросов, запреты на использование гексахлорэтана, ограничения по запасам хранения хлора). Для улучшения качества расплава алюминия в печах при условии использования более безопасных условий работы Pechiney разработала технологию IRMA.

Технология IRMA обеспечивает введение пузырьков газа в расплав алюминия с использованием вращающихся роторов, которые

вводятся внутрь печи через крышу. Оборудование системы IRMA может быть установлено как на плавильные, так и на раздаточные печи. Система IRMA смонтирована на моторизованной раме (рис. 1), поддерживающей роторы, которые находятся в верхней части печи. Рама может устанавливаться на печи или может быть мобильной для обслуживания двух печей. В процессе работы роторы вводятся в печь через моторизованные люки в верхней части печи. Газ панель позволяет ввести необходимую газовую смесь в правильной пропорции. Все последовательности внутривспечного рафинирования полностью автоматизированы: погружение роторов с опусканием рамы, открытие люков, предварительный нагрев роторов, установки режима рафинирования, последовательность операций по выводу роторов из печи. Во время рафинирования дверь печи всегда остается закрытой, что гарантирует максимальную безопасность работы.

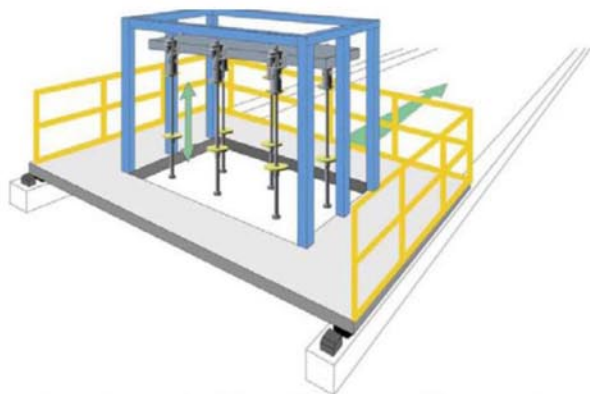


Figure 1. Principle of the mobile gantry used for the moving IRMA assembly

Рис. 1 Принцип действия мобильных рам для перемещения системы IRMA

Рафинирование расплава алюминия по технологии IRMA основано на использовании роторов для распределения пузырьков газа (рис.2). Данная технология гарантирует:

- Формирование пузырьков газа малого размера. Большинство пузырьков газа имеет диаметр менее 6 мм, оцениваемые с помощью рентгеновского наблюдения [6].
- Постоянное перемешивание в расплаве, в результате чего увеличивается вероятность реакции металл – пузырек газа и следовательно, высокий уровень очистки металла вместе с однородным распределением температуры. Обычно используется смесь газа-носителя и химически активного газа, наиболее часто смесь аргона и хлора. Учитывая высокое качество распределения газа, количество хлора в используемой смеси очень низкое, обычно менее

10%, а в большинстве случаев менее 7%. Использование хлора полезно как для удаления щелочей и щелочноземельных материалов, так и для удалений посторонних включений. Рис. 2 иллюстрирует взаимодействие между пузырьками газа и расплавом металла.

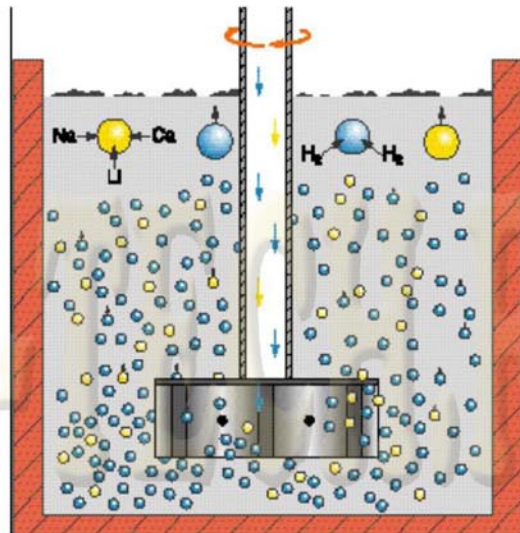


Figure 2. Principle of the gas dispersion treatment

Как правило, один ротор способен обеспечить рафинирование 10-15 тонн металла и только 20-35% расплава металла “вентилируется” газом в течение процесса рафинирования. Длительность процесса рафинирования составляет порядка 20-60 минут. Компания Reshiney ввела в эксплуатацию более чем 15ть установок IRMA на начало 2004г., установки имели от 1го до 6ти роторов. На Рис. 3 и 4 показаны роторы в рабочем положении и 70 тонная печь с системой IRMA имеющей 6ть роторов.



Figure 3. Close view of the treatment area during the IRMA process.



Figure 4. 6 rotor IRMA assembly in a 70 T furnace. Note: in normal operation, the door is closed.

Рис. 4 Система IRMA с 6-тью роторами в 70 т печи.
Примечание: в рабочем положении двери ввода роторов закрыты.

Результаты, полученные после рафинирования с использованием системы IRMA представлены ниже, с точки зрения качества и экологии.

Результаты

Удаление водорода

Содержание водорода в расплаве алюминия на выходе из печи часто очень высокое и может варьироваться в значительной степени, в зависимости от используемого процесса. Как правило, содержание водорода выше в операциях переплавки, чем при первичной плавке металла. Процесс рафинирования по технологии IRMA отличается высокой эффективностью по удалению водорода, учитывая высокую площадь контакта между пузырьками газа и расплавом металла, большая часть расплава азрируется пузырьками газа.

Дегазирующая кинетика была зафиксирована на испытаниях в нескольких печах по переплаву алюминия из отходов, где осуществляется внутрипечное рафинирование, замеры произведены с помощью прибора Alscan™ (рис. 5). Измерения были проведены внутри печи с использованием телескопического удлинителя. До проведения внутрипечного рафинирования уровень водорода в разных печах находился в пределах 0,35 - 0,60 ml/100g, спустя 30 мин. после осуществления рафинирования уровень водорода снижался до значения не более 0,20 ml/100g. Дегазация расплава свыше 30 мин. обеспечивает незначительное снижение водорода, при дегазации свыше 60 мин. уровень водорода падает, очевидно, до равновесного состояния. Это равновесие показывает слабую связь с окружающим давлением воздуха водяного пара, подтверждая, что расплав находится в равновесном состоянии (рис. 6). Учитывая соотношение между растворимостью водорода и составом расплава было обнаружено, как и с другими методами, чем выше содержание магния в расплаве, тем выше содержание водорода после дегазации.

Как правило, уменьшение водорода в расплаве с использованием технологии IRMA составляет 40-70% от исходного уровня.

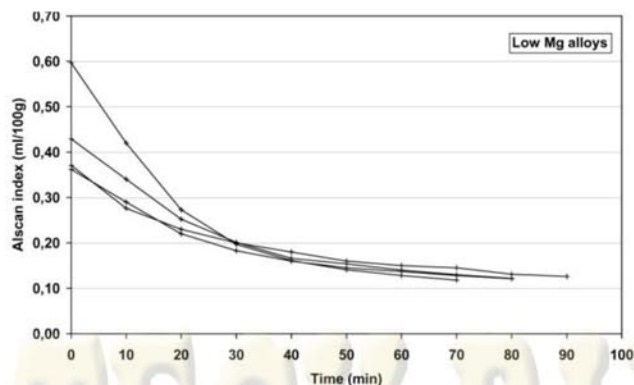


Figure 5. Degassing kinetics measured during the IRMA treatment in a holding furnace (Low Mg alloys, containing typically 2 wt % Mg).

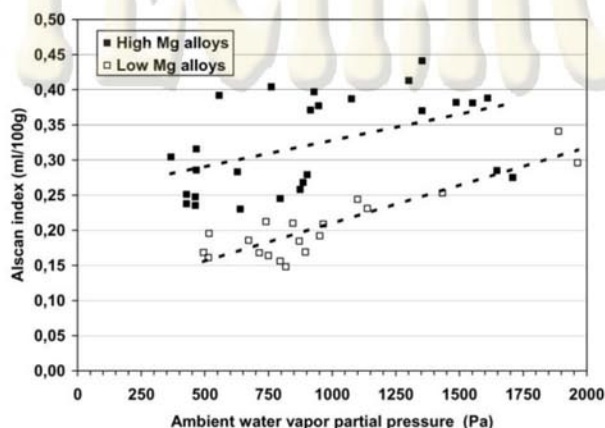


Figure 6. Relation between the hydrogen content at the outlet of a holding furnace after IRMA treatment and the ambient water vapor partial pressure, for low Mg alloys (2 wt%) and high Mg alloys (5 wt%).

Удаление посторонних включений

Удаление посторонних включений из расплава чаще всего осуществляется путем фильтрации. Тем не менее, процесс флотации (всплытия) включений может быть эффективным для их удаления из расплава, если мелкие пузырьки распределены по всему расплаву.

Учитывая эффективное распределение газа обеспечиваемое в ходе рафинирования по технологии IRMA, будет обеспечена высокая эффективность для удаления включений. Две ситуации описаны ниже.

Замена IRMA на рафинирование с помощью копий

Заводы, использующие копия для внутрипечного рафинирования обычно добиваются только локального распределения пузырьков, что приводит к низкой вероятности захвата включений в течение

процесса рафинирования. IRMA, наоборот, распределяет газовые пузырьки в большом объеме расплава металла, в результате чего значительно выше вероятность захвата посторонних включений во время рафинирования.

На рис. 7 показаны данные с литейного цеха, заменившего внутрипечное рафинирование с копий на использование технологии IRMA. Измерения LiMCA сделаны на выходе печи и показывают снижение количества включений в расплаве, причем видно, что два набора измерений не пересекаются, т.к. это доказывает отличные уровни по эффективности обеих технологий.

В другом литейном цехе наоборот система IRMA была внедрена вместо системы рафинирования с копиями. Эволюция по качеству количества посторонних включений измерялась по PoDFA. Было показано, что содержание посторонних включений в расплаве снизилось на 55% на выходе из печи.

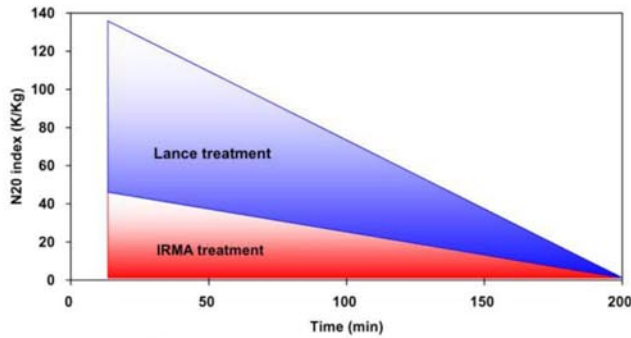


Figure 7. LiMCA measurements done at the outlet of a holding furnace. A furnace treatment has been done previously (lance, or IRMA). Comparison of LiMCA N20 indexes (number of inclusions larger than $20\mu\text{m}/\text{Kg}$ of metal). Same low Mg alloy in both sets of measurements.

Хлор наиболее часто используется в газовых смесях в операциях внутрипечного рафинирования. Хлор, как было показано ранее, значительно улучшает эффективность по удалению посторонних включений из расплава в нескольких процессах {7}. Были проведены экспериментальные исследования с целью подтверждения этого свойства для рафинирования по IRMA. Рафинирование по IRMA проводится как с использованием аргона, так и с использованием смеси из аргона и хлора. Результаты представлены на рис. 8, показывающие LiMCA включения по двум классам размеров 20-25 μm (A) и классу 30-35 μm (B). Результаты подтверждают, что использование хлора в процедуре помогает в удалении больших включений, которые почти отсутствуют при рафинировании с хлором. Для того чтобы добиться снижения количества посторонних включений необходимо низкое количество хлора в смеси, менее 10% по объему.

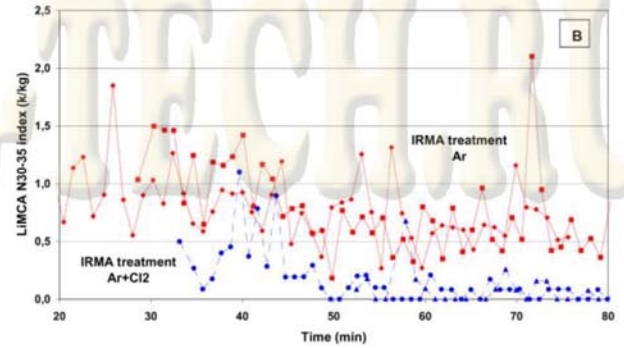
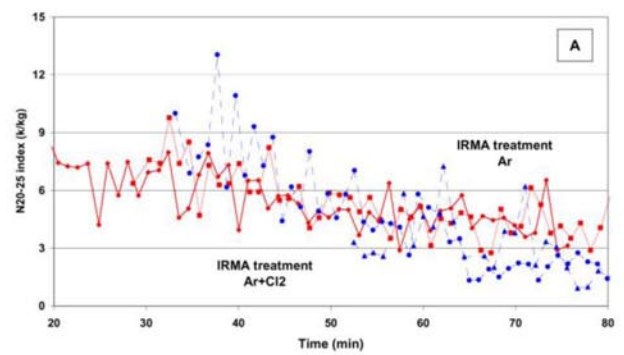


Figure 8. LiMCA measurements done at the outlet of a holding furnace, with the same Mg-containing alloy. Comparison of the LiMCA inclusion counts obtained when IRMA was done with or without chlorine in the mix (2 casts in each situation).

- A. N20-25 index
- B. N30-35 index

Замена IRMA на систему рафинирования с использованием флюса

На другом заводе, IRMA была введена в эксплуатацию для замены установки внутрипечного рафинирования с использованием гранулированного флюса. Эффективность процессов между двумя системами оценивалось на основе измерений по PoDFA. В сравнении с эталонным качеством металла, улучшение качества металла при рафинировании с использованием флюса составило 35%, при использовании для внутрипечного рафинирования IRMA качество металла улучшилось на 80%.

Экологические преимущества, получаемые при использовании рафинирования по IRMA

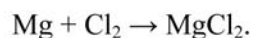
Большинство литейных цехов перешедших на использование IRMA ранее использовали внутрипечное рафинирование флюсами, для которых сравнение может быть сделано лучше всего.

В системах рафинирования флюсом используется газовая смесь, содержащая 40% хлора или более. Для сравнения, рафинирование с IRMA использует менее чем 10% хлора в газовой смеси. В IRMA срок

процесса рафинирования много короче чем при использовании флюсового рафинирования и расход газа в IRMA много меньше. Т.к. процентное содержание хлора в газовой смеси, то снижается общее потребление хлора. Для большинства заводов использующих IRMA снижение расхода хлора уменьшилось в 5-10 раз и как следствие заводы уменьшили размеры хранилищ хлора. В тоже время в Европе ввели новые жесткие правила, иногда требуя Seveso квалификации завода (1ая Директива). Снижение хранилищ заводов привело к тому, что некоторым заводам стало не нужно обращаться для получения Seveso квалификации. Этот факт имеет прямое следствие по сокращению количества хлора в газовой смеси и меньше газа $AlCl_3$ образуется в пузырьках и следовательно, меньший объем HCl находится в газовых выбросах.

Значительная экологическая и стоимостная выгода была также выявлена в снижении потерь расплава. Снижение чистых потерь расплава на 20% было определено по результатам внедрения IRMA.

Хлор должен использоваться как можно эффективнее. Чтобы проиллюстрировать тщательность перемешивания хлора в расплаве, динамика содержания Mg в расплаве была измерена в расплавах с низким содержанием Mg (рис. 9). Хлорид магния образуется в расплаве:



Скорость, с которой снижается значение Mg есть прямое указание на эффективное использование введенного хлора, который непосредственно связан с формируемой эмиссией {8}.

До 100 $\mu g/g$, реакция между хлором и магнием полная. При более низком содержании Mg в расплаве, эффективность реакции начинает падать, сама эффективность реакции связана с расходом хлора в расплаве (меньше расход хлора, ниже концентрация Mg при которой начнется реакция). Для рафинирования по IRMA, реакция может быть полностью эффективной при содержании Mg не ниже 50 $\mu g/g$. Это значение является крайне низким по сравнению с другими технологиями {9}, что связано с малым размером пузырей и высоким качеством дисперсии газа по технологии IRMA.

Выводы

Внутрипечная обработка с использованием технологии IRMA широко используется и имеет следующие основные преимущества:

- Пониженное содержание водорода на выходе печи

- Снижение количества примесей в расплаве на выходе печи
- Низкий расход хлора, эффективное использование инжесктированного хлора
- Низкая эмиссия, из-за высокого качества смеси газов

На 2004г. более 15 установок IRMA эксплуатируются по всему миру

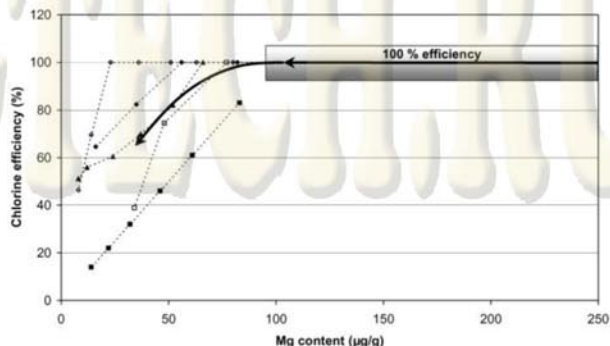


Figure 9. Efficiency of the chlorine used during a demagging process. The arrow indicates the progress of the process with time.