



<https://doi.org/10.21122/1683-6065-2021-1-38-42>
УДК 621.74

Поступила 27.01.2021
Received 27.01.2021

ТЕХНОЛОГИИ РАФИНИРОВАНИЯ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ ПРОДУВКОЙ ГАЗАМИ

М. А. САДОХА, Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Беларусь, пр. Независимости, 65. E-mail: cadoxa.m@gmail.com, тел. +375-29-778-84-65

А. А. АНДРУШЕВИЧ, Белорусский государственный аграрный технический университет, г. Минск, Беларусь, пр. Независимости, 99. E-mail: andru49@mail.ru, тел. +375-29-774-12-30

Представлены результаты анализа различных методов рафинирования алюминиевых сплавов от растворенных газов и неметаллических включений. Изучено влияние ряда технологических факторов каждого метода на качество расплава. Приведены примеры оборудования для реализации процессов. Для анализа эффективности применения разных вариантов технологий рафинирования алюминиевых сплавов проведено их ранжирование. Результаты анализа находятся в корреляции с тенденциями распространения в литейных цехах различных процессов рафинирования алюминиевых сплавов. Показано, что продувка расплава инертными газами через вращающийся импеллер по комплексу показателей наиболее эффективна по сравнению с другими методами.

Ключевые слова. Алюминиевый сплав, расплав, отливка, рафинирование, инертный газ, флюс, установка рафинирования, плазменная обработка, импеллер.

Для цитирования. Садоха, М. А. Технологии рафинирования алюминиевых сплавов продувкой газами / М. А. Садоха, А. А. Андрушевич // *Литье и металлургия*. 2021. № 1. С. 38–42. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2021-1-38-42>.

TECHNOLOGIES OF REFINING OF ALUMINUM ALLOYS BY GAS BLOWING

M. A. SADOKHA, Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus, 65, Nezavisimosti ave. E-mail: cadoxa.m@gmail.com, tel. +38 375-29-778-84-65

A. A. ANDRUSHEVICH, Belarusian State Agrarian Technical University, Minsk, Belarus, 99, Nezavisimosti ave. E-mail: andru49@mail.ru, tel. + 375-29-774-12-30

The results of the analysis of various methods of refining aluminum alloys from dissolved gases and non-metallic inclusions are presented. The influence of a number of technological features of each method on the quality of the melt has been studied. Examples of equipment for the implementation of processes are presented. To analyze the effectiveness of the use of various technologies for refining aluminum alloys, their ranking was carried out. The results of the analysis are in correlation with the trends in the spread of various processes for the refining of aluminum alloys in foundries. It is shown that blowing the melt with inert gases through a rotating impeller is the most effective in terms of a set of indicators in comparison with other methods.

Keywords. Aluminum alloy, melt, casting, refining, inert gas, flux, refining unit, plasma treatment, impeller.

For citation. Sadokha M. A., Andrushevich A. A. Technologies of refining of aluminum alloys by gas blowing. *Foundry production and metallurgy*, 2021, no. 1, pp. 38–42. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2021-1-38-42>.

Проблема приготовления алюминиевого расплава с пониженным содержанием газов и неметаллических включений актуальна по нескольким причинам: во-первых, стабильно получать качественные отливки с высокими физико-механическими свойствами без литейных дефектов при наличии неметаллических включений и растворенных газов практически невозможно; во-вторых, широкое применение вторичных алюминиевых сплавов сопряжено с нестабильностью содержания в них газов и неметаллических включений. Таким образом, в настоящее время технология производства отливок из алюминиевых сплавов обязательно должна включать в себя такую металлургическую подготовку расплава, как рафинирование [1, 2].

Известно много методов рафинирования алюминиевых сплавов, но большинство из них характеризуется выделением вредных веществ.

На многих предприятиях широко применяется двойное рафинирование алюминиевых сплавов: в плавильных печах их обрабатывают дегазирующими препаратами, а затем, после перелива, рафинируют в раздаточных печах флюсами на основе хлористых и фтористых солей различных металлов [1–3]. Недостатками обработки солями являются выделение в процессе рафинирования значительного количества вредных газообразных продуктов, быстрое зарастание тиглей и ковшей, дополнительное введение в расплав избыточного количества натрия.

Наиболее экологически чистым и экономически выгодным признана обработка расплава инертными газами, которые могут вводиться различными методами. Одним из наиболее простых эффективных методов является продувка расплава газами в раздаточных или плавильных печах, в том числе с использованием пористых элементов (рис. 1). Продувка расплава инертными и защитными газами через пористые элементы позволяет улучшить качество металла и исключить недостатки флюсового рафинирования [3].

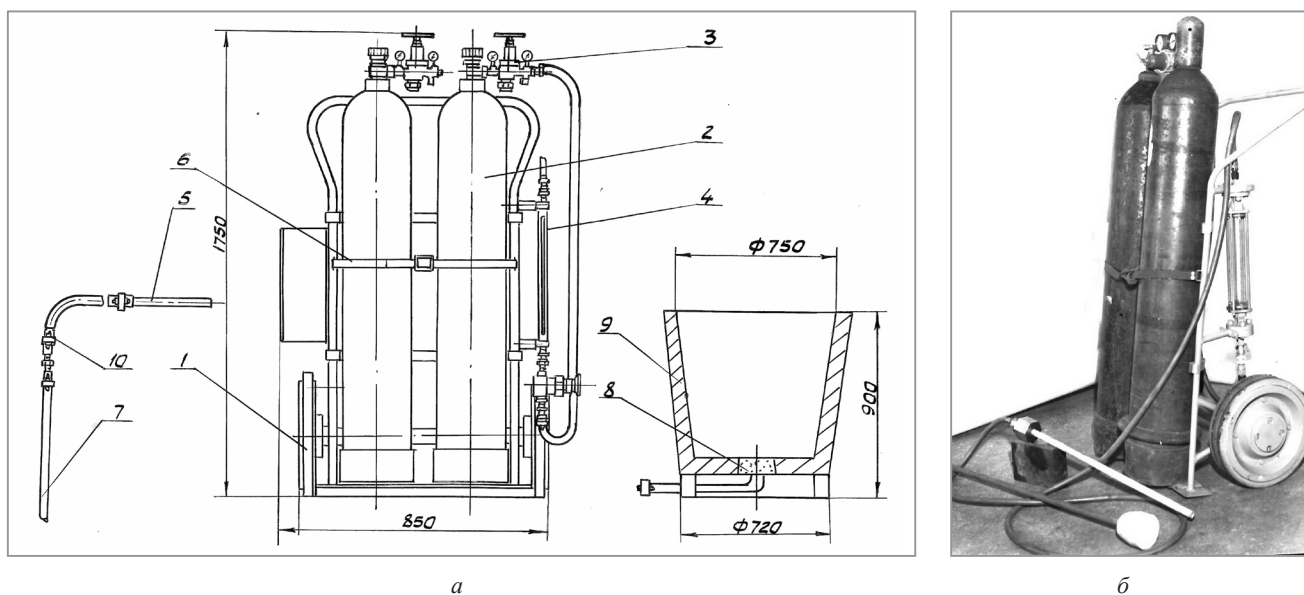


Рис. 1. Схема (а) и общий вид (б) установки для продувки расплава инертными газами в тигле раздаточной печи:
1 – тележка; 2 – баллон с технически чистым азотом; 3 – редуктор; 4 – ротаметр; 5 – футерованная трубка, погружаемая в расплав; 6 – стяжка; 7 – газопровод; 8 – пористый элемент; 9 – ковш; 10 – переходной штуцер

Главные недостатки данного способа обработки заключаются в невозможности обеспечения равномерной продувки газа по сечению тигля, что влечет за собой необходимость в увеличении длительности обработки и может привести к чрезмерному падению температуры расплава. При этом возможно засорение пор керамической вставки (пористого элемента) и потеря эффективности процесса. Достоинством является простота способа и низкие затраты на его реализацию.

В последние десятилетия получила развитие технология плазменной обработки расплавов металлов струей аргоновой плазмы, имеющей температуру 1800–2000 °С [4]. По сравнению с технологией рафинирования холодным потоком инертного газа плазменная обработка алюминиевого расплава высокотемпературной струей обеспечивает эффективность удаления водорода и неметаллических включений без снижения температуры расплава. Характер взаимодействия такого холодного потока газа и плазменной струи с жидким металлом существенно различается. Глубина проникания плазменной струи в расплав в 2–3 раза больше, чем у холодного потока. Дробление потока газа на отдельные мелкие пузырьки, являющиеся абсорбентами водорода и неметаллических включений, начинается при меньших по сравнению с обычной продувкой давлениях и расходах газа (соответственно для аргона в 2,5–3,0 и 1,6–1,8 раза). Эффективность перемешивания жидкого металла за счет интенсификации тепло- и массообмена для плазменной струи также в 3–4 раза выше. При плазменной обработке значительно интенсифицируются процессы рафинирования и модифицирования.

Имеются передвижные и стационарные установки для плазменной обработки алюминиевых расплавов в печах и ковшах различного объема (рис. 2).

Источником питания таких установок служит сварочный выпрямитель или аналогичный с напряжением холостого хода не менее 70 А и падающей вольтамперной характеристикой. Плазменная установка

может располагаться непосредственно возле раздаточной печи или заливочного ковша, в удобном для обслуживания месте литейного цеха.

Ход вертикального перемещения позволяет обрабатывать расплав в тиглях глубиной до 2 м. Система снабжения плазмообразующим газом обеспечивает расход газа до 1,5–2,0 м³/ч.

Эффективность плазменной обработки проверена на сплаве АК9ч (ГОСТ 1583-93) при производстве алюминиевого литья в кокиль, под низким давлением и в песчано-глинистые формы. В качестве плазмообразующего газа применялся аргон. При этом степень удаления водорода обеспечивалась в пределах 70–75% от первоначального, содержание неметаллических включений до 60%. Пористость снижается с 2–3 баллов до 1 балла. Высокая эффективность достигается за счет увеличения энергетических параметров плазменной струи в сравнении с холодным потоком.

После обработки происходит изменение размеров включений α -твердого раствора, эвтектической и интерметаллидной фаз. Повышение сопровождается ростом производительности процесса (не более 8–10 мин) и сокращением на 40–60% флюсовых материалов, идущих на обработку расплава. Относительное удлинение сплава АК9ч возрастает в 1,5–1,6 раза с сохранением прочностных характеристик.

Наряду с преимуществами плазменной обработки ей присущи и недостатки: техническая сложность в реализации; относительно небольшой срок службы плазмотрона; необходимость специальной подготовки персонала.

В последние годы развитие и широкое применение получила технология обработки алюминиевого расплава инертными газами с использованием вращающегося импеллера [2].

Используется ряд установок различного конструктивного исполнения для металлургической обработки расплава инертными газами при помощи вращающегося импеллера. На рис. 3 показан общий вид переносимой цеховым краном установки мод. 46161 (конструкция ОАО «БЕЛНИИЛИТ»), а в табл. 1 приведена ее техническая характеристика.

Таблица 1. Техническая характеристика установки мод. 46161

Наименование параметра	Величина, характеристика
Время обработки не более, мин	15
Режим работы	Полуавтоматический
Применяемые рабочие газы	Азот, аргон (газообразные)
Давление газа, МПа (кгс/см), не более	0,63 (6,3)
Система управления	Электрическая
Частота вращения импеллера, мин ⁻¹	473/533/600
Скорость перемещения каретки, м/с	0,079
Ход каретки не более, мм	780
Установленная мощность, кВт	1,5
Габаритные размеры (д×ш×в), мм:	1022×997×1849
Масса, кг, не более	680

Опыт эксплуатации установки мод. 46161 в условиях ОАО «Сухоложский завод «Вторцветмет» (Россия) свидетельствует о высокой эффективности обработки вторичных алюминиевых сплавов аргоном. Обработка в течение 10 мин расплава, имеющего изначально 4-й балл пористости по шкале ВИАМ, позволяет гарантированно снизить пористость до 1-го балла без применения флюсов.

На рис. 4 показана схема установки, предназначенной для обработки расплава непосредственно в раздаточной печи (тигле) мод. П1873, а в табл. 2 приведена ее техническая характеристика. Установка мобильна в передвижении от одного рабочего места к другому и может быть использована также для комплексной обработки расплава инертными газами с одновременным введением в расплав порошковых флюсов.



Рис. 2. Плазменная установка для рафинирования в работе



Рис. 3. Установка для рафинирования алюминиевых сплавов мод. 46161

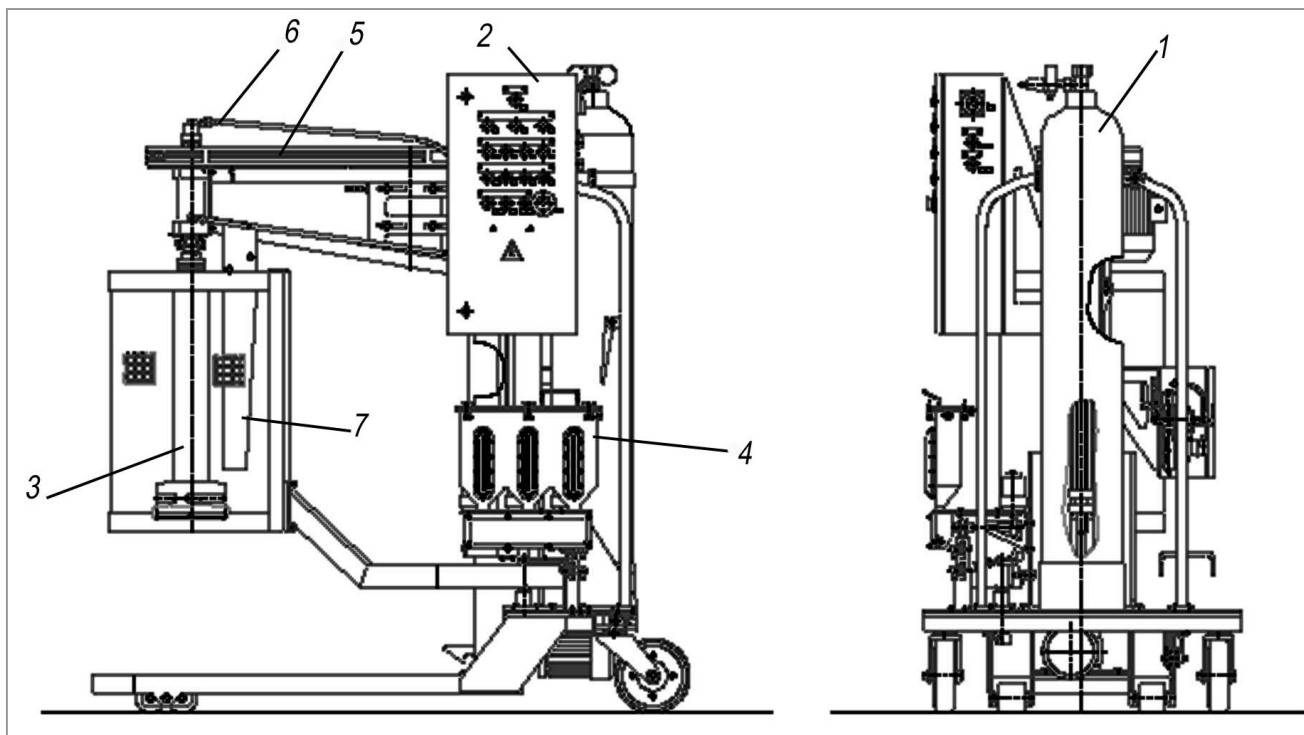


Рис. 4. Схема установки продувки расплава П1873:
1 – баллон инертного газа; 2 – пульт управления; 3 – импеллер; 4 – бункер для загрузки флюса;
5 – привод вращения; 6 – трубопровод подачи газа; 7 – рассекатель

Т а б л и ц а 2. Основные технические параметры установки П1873

Параметр	Величина, характеристика
Система управления	Электрическая
Режим работы	Пооперационный / полуавтоматический
Время обработки, мин, не более	22,5
Применяемый для обработки газ	Аргон, азот
Частота вращения импеллера, об/мин	466
Скорость перемещения каретки, м/с	0,05
Ход каретки, мм, не более	700
Масса установки, кг	295
Габариты установки (д×ш×в), мм	1613×860×(1746–2304)
Установленная мощность, кВт, не более	1,5

Для анализа эффективности применения различных вариантов технологий рафинирования алюминиевых сплавов проведено их ранжирование (табл. 3).

Т а б л и ц а 3. Показатели эффективности применения методов рафинирования

Параметр	Метод рафинирования			
	флюсовая обработка	простая продувка	плазменная обработка	продувка через импеллер
Стоимость обработки	3	1	2	1
Простота реализации	2	1	3	2
Стоимость оборудования	1	1	3	2
Длительность обработки	3	2	1	1
Частота замены рабочих органов	1	2	3	2
Качество обработки	2	3	1	1
Экология и условия труда	3	1	1	1
ИТОГО	15	11	14	10

Примечание. 1 – наилучший показатель; 2 – средний показатель; 3 – наихудший показатель.

Таким образом, из таблицы видно, что по совокупности показателей наиболее приемлемой и экологически чистой технологией рафинирующей обработки алюминиевого расплава является продувка инертным газом с применением вращающегося импеллера. Затем идет вариант простой продувки через трубку или пористые вставки в ковше. Варианты обработки флюсом и плазменной обработки, несмотря на хорошее качество получаемого сплава, в силу разных причин находятся на последних местах.

Все технологии рафинирования инертными газами оказывают положительное влияние на расплав и в разной степени позволяют:

1. Снизить в расплаве содержание газов и неметаллических включений (до 40%).
2. Усреднить и стабилизировать химический состав и температуру расплава за счет перемешивания его инертным газом.
4. Сократить расход рафинирующих, модифицирующих и легирующих добавок за счет их более полного усвоения и равномерного распределения.

5. Дополнительно повысить механические и эксплуатационные свойства алюминиевых отливок.

Данный анализ находится в корреляции с тенденциями распространения в литейных цехах в последнее время технологических процессов рафинирования алюминиевых сплавов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гохштейн М. Б., Морозов Я. И. Рафинирование первичного алюминия от окисных включений и газов. М.: Metallurgija, 1979. С. 45–48.
2. Волочко А. Т., Садоха М. А. Алюминий: технологии и оборудование для получения литых изделий. Минск: Беларуская навука, 2011. 387 с.
3. Андрушевич А. А., Барбарич Е. Н., Шуляк П. Н. Рафинирование алюминиевых сплавов продувкой азотом // Технология автомобилестроения. 1983. № 11. С. 1–3.
4. Андрушевич А. А. Рафинирующая обработка алюминиевых сплавов // Литейное производство. 1995. № 3. С. 12–13.

REFERENCES

1. Gohshtejn M. B., Morozov Ja. I. *Rafinirovanie pervichnogo aljuminija ot okisnyh vkljuchenij i gazov* [Refining of primary aluminum from oxide inclusions and gases]. Moscow, Metallurgija Publ., 1979, pp. 45–48.
2. Volochko A. T., Sadoha M. A. *Aljuminij: tehnologii i oborudovanie dlja poluchenija lityh izdelij* [Aluminum: technologies and equipment for producing cast products]. Minsk, Belaruskaja navuka Publ., 2011, 387 p.
3. Andrushevich A. A., Barbarich E. N., Shuljak P. N. *Rafinirovanie aljuminievyh splavov produvkoy azotom* [Refining of aluminum alloys by blowing with nitrogen]. *Tehnologija avtomobilestroenija = Automotive technology*, 1983, no. 11, pp. 1–3.
4. Andrushevich A. A. *Rafinirujushhaja obrabotka aljuminievyh splavov* [Refining treatment of aluminum alloys]. *Litejnoe proizvodstvo = Foundry*, 1995, no. 3, pp. 12–13.