

УДК 669.046

**Л.В. ТРИБУШЕВСКИЙ,**  
**Б.М. НЕМЕНЁНОК,** д-р техн. наук,  
**Г.А. РУМЯНЦЕВА,** канд. техн. наук,  
**А.В. АРАБЕЙ,** канд. техн. наук,  
**И.Б. САЛЕНКО** (БНТУ)

### **НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ВНЕПЕЧНОЙ ОБРАБОТКИ СТАЛИ ИЗ НИЗКОСОРТНЫХ ОТХОДОВ АЛЮМИНИЯ**

Разнообразие отходов алюминиевых сплавов, подлежащих переработке, требует их тщательной предварительной подготовки и сортировки с целью получения продукции с высокой добавленной стоимостью. Наиболее часто встречающиеся отходы алюминия и его сплавов содержат в своем составе промасленную бумагу, теплоизолирующую пену, пластик, керамику и стекло. С введением обязательной сортировки бытовых отходов возросла доля лома и отходов алюминия 4 сорта класса Г, содержащего бутылочные пробки, водочные дозаторы, металлические банки из-под напитков (рисунок 1), при производстве которых используются пищевые алюминиевые сплавы высокой степени чистоты. На рисунке 1 представлены образцы отходов 4 сорта класса Г.



Рисунок 1 – Образцы отходов алюминия 4 сорта класса Г

Для переработки таких отходов на ООО «НПФ "Металлон"» была предложена схема их подготовки и плавки (рисунок 2), с получением алюминиевых гранул по «сухой» технологии.

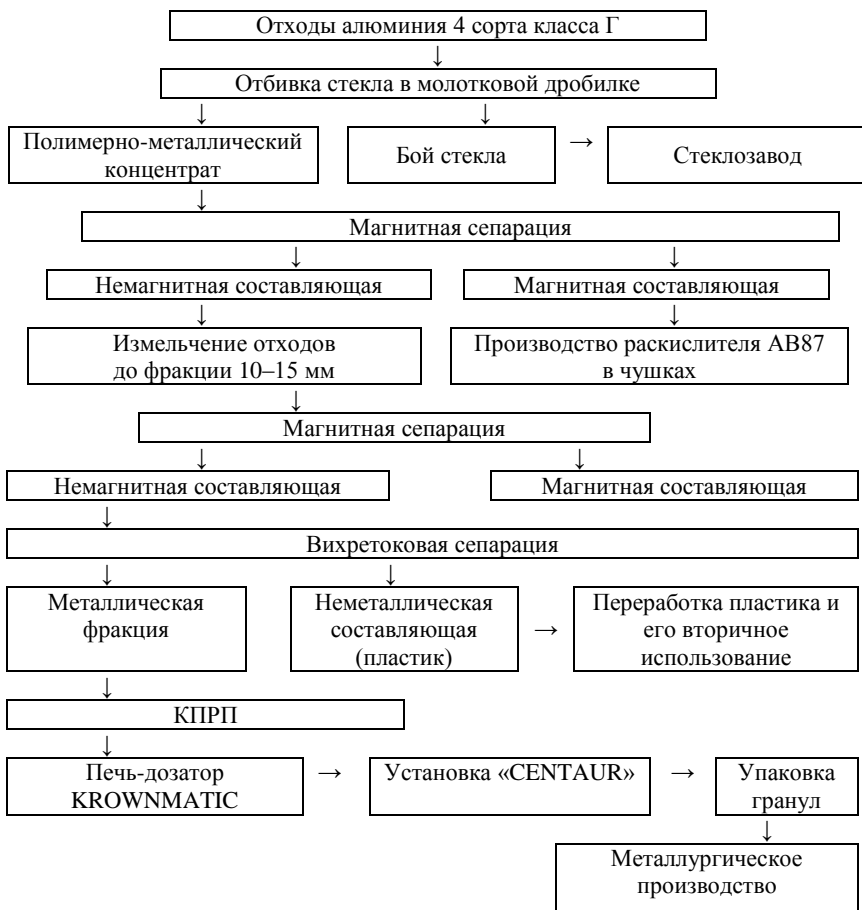


Рисунок 2 – Схема подготовки и переработки отходов алюминия 4 сорта класса Г по безотходной технологии

На первой стадии подготовки отходы алюминия подвергали обработке в молотковой дробилке для отбивки стекла. В дальнейшем полимерно-металлический концентрат проходил магнитную сепарацию.

рацию на установке с постоянными магнитами, отсортированную магнитную составляющую использовали в составе шихты при производстве чушкового раскислителя. Немагнитная часть отходов поступала в шредерную установку для измельчения до фракции 10–15 мм, которую в дальнейшем подвергали магнитной и вихревой сепарациям. Вихревую сепарацию проводили с использованием ленточного конвейера с многополюсным магнитным ротором. При вращении многополюсной магнитной системы в металлических частицах индуцировались вихревые токи, которые, в свою очередь, создавали магнитное поле, противоположное по направлению роторной магнитной системе. В результате взаимодействия магнитных полей металлические частицы, содержащиеся в немагнитной фракции, выбрасывались из движущегося потока и отделялись от неэлектропроводящей фракции. Извлеченную металлическую немагнитную фракцию использовали в дальнейшем в качестве компонента шихты при плавке в короткопламенной роторной печи (КРП), Немагнитная фракция, состоящая преимущественно из пластика, подлежала переработке с получением гранул вторичного пластика, реализуемого потребителям.

После расплавления измельченного и очищенного алюминия в КРП, расплав переливали в печь-дозатор «KROWN MATIC», где выдерживали при температуре 740–760 °С в течение 3-х часов, а потом по подогретому лотку металл подавали в металлоприемник установки «CENTAUR», в нижней части которого размещались специальные отверстия для вытекания расплава. Образование капель, то есть обрыв струи расплава, происходил за счет ударного механизма. В зависимости от интенсивности его работы размеры получаемых гранул изменяли в диапазоне 5–10 мм. Гранулы из капель расплава формировались на поверхности вращающегося водоохлаждаемого стола, а удаление готовых гранул производили потоком сжатого воздуха [1].

Алюминиевые гранулы, отлитые по «сухой» технологии из отходов 4 сорта, соответствовали по составу АВ87 и имели несколько большие размеры по сравнению с алюминиевой дробью, полученной охлаждением капель расплава в воде [2]. На рисунке 3 показана завершающая стадия получения «сухих» гранул и образцы готовой продукции.



*a*



*б*

Рисунок 3 – Завершающая стадия получения «сухих» гранул (*a*) и алюминиевые гранулы, готовые к отгрузке (*б*)

С использованием такой схемы подготовки отходов алюминия была изготовлена опытная партия алюминиевых гранул АВ87 по «сухой» технологии массой 5 т для поставки на Молдавский металлургический завод, где были проведены производственные испытания данных гранул.

Сравнительная информация с указанием качественных характеристик предлагаемого ООО «НПФ "Металлон"» гранулированного алюминия марки АВ 87 и применяемых в действующей технологии Молдавского металлургического завода (ММЗ) алюминиевых гранул приведена в таблицах 1 и 2.

Таблица 1 – Сравнительная характеристика алюминиевых гранул

Материал	НТД	Фракционный состав, мм	Химический состав, %						
			Al+Mg (не <)	Mg	Cu	Zn	Si	Pb	Sn
Алюминиевые гранулы (используемые)	ЗТУ.001-01-2009	4–6	87	3,0	3,8	3,3	5,0	0,3	0,2
	Протокол № 347 от 25.07.17 г.	н/д	93,1	0,4	1,1	0,9	4,4	0,1	0,03
			90,5	1,0	1,0	1,2	6,2	0,1	0,03
Алюминиевые гранулы АВ 87 (опытные)	Сертификат качества	5–8	96,8–97,58	0,02–0,07	0,12–0,32	0,11–0,25	0,58–0,94	0,02–0,03	0,01–0,02
	Протокол № 704 от 13.10.17 г.	–	97,1	0,1	–	–	–	–	–

Таблица 2 – Фракционный состав алюминиевых гранул

Диаметр сита, мм	Проход через сито, %	Остаток на сите, %
8,0	83,2	16,8
5,6	0	83,2

При визуальном осмотре опытного материала работниками ММЗ отмечено, что гранулы преимущественно имеют сферическую форму. Наличие в опытном материале вытянутых гранул с нитями алюминия и спаяк гранул, что является характерным для применяемого дробленого алюминия, не зафиксировано.

Опытный материал загружался в силос инжекционной установки «ASIS» при помощи крана печного пролета. Алюминиевые гранулы марки АВ87 инжестировали в струю металла в момент выпуска из ДСП, в соответствии с требованиями действующей технологии. Опытный материал использовали взамен применяемого аналогичного материала (Al дробл.) при производстве низкоуглеродистого сортамента стали с расходным коэффициентом 0,96 относительно нормы на используемый материал.

Процесс выплавки и внепечной обработки стали на установке «печь-ковш» (УПК) опытных серий плавков с использованием гра-

нулированного алюминия марки АВ87 осуществляли в соответствии с требованиями действующей технологии.

В ходе проведения работы контролировали следующие параметры:

- температуру и окисленность металла перед выпуском из ДСП;
- расход опытного материала в момент выпуска из ДСП;
- расход легирующих элементов;
- температуру металла в начале обработки опытных плавок на

УПК;

- содержание алюминия в металле перед обработкой на УПК;
- коэффициент усвоения основных легирующих элементов;
- замечания по работе инжекционной установки «ASIS»;
- качество литых заготовок опытных серий плавок.

Опытные алюминиевые гранулы использовали в действующей технологии предварительного раскисления металла на выпуске из ДСП при выплавке низкоуглеродистого сортамента стали. При загрузке опытного материала в силос инжекционной установки «ASIS» замечаний не выявлено.

В качестве сравнительных данных использовали информацию по производству аналогичного сортамента стали в январе-феврале 2018 года. Сравнительные технологические показатели процесса производства опытных и контрольных плавок при использовании в технологии предварительного раскисления стали на выпуске из ДСП гранулированного алюминия марки АВ87 и А1 дроб. приведены в таблице 3.

Из данных таблицы 3 следует:

- близкие технологические показатели на выпуске из ДСП металла контрольных и опытных плавок (температура стали, окисленность, удельный расход алюминийсодержащих материалов для предварительного раскисления стали и FeSi 65);

- близкие показатели температуры жидкого металла в начале процесса внепечной обработки на УПК контрольных и опытных плавок, а также при непрерывном литье заготовок (НЛЗ);

- близкий расчетный удельный расход чистого алюминия, отданного в стальной ковш с раскислителями (А1 шлак, А1 пор., А1 дробл., гран. алюминий АВ 87) при производстве контрольных и опытных плавок, который соответственно составил – 0,88 и 0,87 кг/т;

- близкие по величинам содержания углерода, кремния, алюминия и серы в НЛЗ контрольных и опытных плавков;

- более низкий расход MnC 17 при внепечной обработке на УПК опытных плавков по сравнению с контрольными (на 0,8 кг/т), полученный по причинам:

1) более низкое содержание Mn в НЛЗ опытных плавков (на 0,01 %, что соответствует расходу MnC 17  $\approx$  0,16 кг/т стали);

2) применение в период испытаний опытного материала MnC 17 с меньшим содержанием Mn (71,7 % вместо 73,2 % для контрольных плавков);

- более высокий общий расход FeSi 65 на опытных плавках по сравнению с контрольными (на 0,26 кг/т), что связано с повышенным расходом MnC 17 и большим количеством внесенного с ним в металл Si;

- близкие коэффициенты усвоения Mn и Si в металле контрольных и опытных плавков.

Таблица 3 – Сравнительные технологические показатели плавков

Наименование показателя	Значение		
	Контрольные	Опытные	$\Delta$ (опытные – контрольные)
1	2	3	4
Количество плавков, шт.	23	16	
Средний вес плавки (годный), т	117,7	117,5	-0,2
Выпуск металла из ДСП:			
- температура стали, °С	1614	1635	+21
- окисленность металла, ppm	1134	1186	+52
- удельный расход Al дроб., кг/т	0,83	–	–
- удельный расход Al дроб. Бел., кг/т	–	0,79	–
- удельный расход FeSi 65, кг/т	2,17	2,20	+0,03
- удельный расход MnC, 17, кг/т	3,98	4,46	+0,48
Обработка на УПК:			
- температура стали в начале обработки, °С	1556	1563	+7
- содержание Al в первой пробе, %	0,0024	0,0025	+0,0001
- содержание Mn в первой пробе, %	0,309	0,318	+0,009
- содержание Si в первой пробе, %	0,057	0,049	-0,008
- удельный расход материалов, кг/т, в т.ч.:			

Окончание таблицы 3

1	2	3	4
- Al шлак	0,04	0,14	+0,1
- Al порошок	0,47	0,26	-0,21
- FeSi 65	0,87	1,1	+0,23
- MnC 17	1,28	0,48	-0,8
Общий расход материалов, кг/т, в т.ч.:			
- FeSi 65	3,04	3,30	+0,26
- MnC 17	5,26	4,94	-0,32
Расчетный удельный расход чистого Al, отданного с материала в ковш (Al дроб. $\approx$ 92 %, Al дроб. Бел. $\approx$ 97 %, Al шлак $\approx$ 37 %, Al порошок $\approx$ 21 %), кг/т	0,88	0,87	-0,01
Содержание основных элементов в готовой стали, %, в т.ч.:			
- C	0,054	0,058	+0,004
- Mn	0,360	0,351	-0,009
- Si	0,070	0,067	-0,003
- Al	0,0025	0,0025	0
- S	0,006	0,006	0
Коэффициент усвоения основных элементов (ДСП-НЛЗ), %, в т.ч.:			
- Mn	84,7	86,9	+2,2
- Si	21,5	19,4	-2,1

Таким образом, при условии экономической целесообразности (с учетом полученного расчетного коэффициента замены), опытный гранулированный Al марки АВ87 может быть использован в действующей технологии предварительного раскисления металла на выпуске из ДСП при производстве низкоуглеродистого сортамента стали, а реализация безотходной технологии переработки низкосортных отходов алюминия позволит получить значительный экономический и экологический эффект.

### Список литературы

**1. Трибушевский, Л.В.** Гранулирование алюминия по «сухой» технологии / Л.В. Трибушевский // *Литье. Металлургия 2019: материалы XV Междунар. науч.-практ. конф.*, Запорожье, 21–23 мая



2019 г / Запорож. торг. пром. палата: под ред. О.И. Пономаренко. – Запорожье: А.А. Тандем, 2019. – С. 203–205.

**2. Особенности** раскисления стали алюминием / В.Л. Трибушевский [и др.] // *Металлургия: Респ. межвед. сб. науч. тр.* – Минск: БНТУ, 2014. – Вып. 35. – С. 3–8.

*УДК 661.888.1*

**Б.М. НЕМЕНЁНОК**, д-р техн. наук,  
**А.Г. СЛУЦКИЙ**, канд. техн. наук,  
**Н.В. ЗЫК**, канд. хим. наук,  
**В.А. ШЕЙНЕРТ**,  
**В.О. ЛИСОВСКИЙ** (БНТУ)

## **ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ВАНАДИЯ ИЗ СОЕДИНЕНИЙ**

Анализ литературных и интернет источников показывает тенденцию более широкого использования ванадия как легирующего элемента при получении качественных литейных железоуглеродистых сплавов. Ранее выполненные исследования показали перспективность использования в качестве легирующего материала отходов, содержащих в своем составе ванадий (шлакометаллическая фракция и отходы дробеочистки котлов ТЭЦ) [1, 2]. Так как в рассмотренных вторичных материалах ванадий находится в оксидной фазе, то был проведен анализ вариантов его восстановления в процессе получения сплавов и лигатур.

Известно [3], что ванадий, например, в шлаках существует в зависимости от температуры и концентрации компонентов в виде  $V_2O_3$ ,  $VO_2$  и др. При этом он находится в виде трехвалентного оксида, большая часть которого входит в состав сложного шпинелида.

Был проведен термодинамический анализ различных методов восстановления ванадия.

В общем виде процесс восстановления газами (косвенное восстановление) протекает по следующей реакции:

