

## **Выводы**

Таким образом, разработанная технология изготовления литых деталей для почвообрабатывающей сельхозтехники на примере лемехов позволяет значительно повысить их ресурс эксплуатации при стоимости в 5 – 8 раз ниже стоимости сменных деталей зарубежных производителей.

## **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Волощенко С.М. Дослідження властивостей високоміцного чавуну для лемешів в залежності від хімічного складу та режимів термічної обробки. / С.М. Волощенко, К.О. Гогаєв, О.К. Радченко, М.Г. Аскеров // Темат. зб. наукових праць «Вісник Донецької державної машинобудівної академії» №1 (11) – Краматорськ, 2008. – С.56-61.
2. Волощенко С.М. Изучение возможности и перспективы использования бейнитного чугуна при изготовлении лемехов по результатам полевых испытаний. / С.М. Волощенко, А.С. Волощенко, А.И. Виноградский // Процессы литья. – 2007, №4. – С.64-71.
3. Волощенко М.В. Молотки из бейнитного высокопрочного чугуна для помола абразивных материалов. / М.В. Волощенко, А.П. Пшениный, И.А. Сычевский, С.М. Волощенко // Тез. докл. Всеукраинской конф. "Повышение физико-механических и служебных свойств чугунов в отливках путем их легирования, модифицирования, термической и высокоэнергетической обработки". - Киев: ИПЛ НАН Украины. - 1995. – С.40-41.

Надійшла до редакції 14.05.2011

Рецензент д.т.н., проф. О.М. Смірнов

**© Волощенко С.М., Гогаєв К.А., Миропольский А.М.,  
Аскеров М.Г., Непомнящий В.В.**

**УДК 669.711**

**В.А. Попов, Н.А. Маняк, В.Н. Бредихин**

## **ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПРОИЗВОДСТВА АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ**

Рассмотрены организационные и технологические аспекты, влияющие на производство алюминиевых литейных, деформируемых сплавов из первичного и вторичного алюминиевого сырья. Представлены плавильные агрегаты, их технические и экономические характеристики и возможные пути их использования для различных алюминиевых сплавов, а также схемы оборота шихтовых материалов при различных видах производства.

Ключевые слова: сплав, литейный, деформируемый, вторичный, печь, схема, оборот металла.

## Введение

Алюминий и его сплавы находят широкое применение в быту и в промышленности, поэтому их производство постоянно растет. В зависимости от назначения и химического состава алюминиевые сплавы подразделяют на литейные, деформируемые и антифрикционные, а по видам и качеству материалов шихты и ассортименту готовой продукции сплавы подразделяют для производства литья, для проката и вторичные алюминиевые сплавы.

Технология приготовления сплавов и применяемые плавильные агрегаты для каждого из этих видов производства имеет специфические особенности. Наибольшее влияние на выбор плавильных агрегатов для отдельных предприятий оказывают следующие факторы: состав шихтовых материалов, объемы производства и номенклатура выпускаемых сплавов, технологические ограничения по использованию отходов собственного производства, а также необходимость обеспечения технологических требований по качеству выпускаемых полуфабрикатов и рентабельности их производства, наличие энергетических источников.

## Основная часть

Рассмотрим особенности приготовления алюминиевых сплавов.

### 1. Производство литья

Мировое производство отливок из алюминиевых сплавов достигло более 16,0 млн. т/год, в том числе из вторичных сплавов около 12,0 млн. тонн. В Украине насчитывается более 180 цехов, участков для производства отливок из алюминиевых сплавов общей мощностью около 100,0 тыс. т/год. Из этого количества только восемь цехов имеют мощность до 15 тыс. т/год. Понятие алюминиевые сплавы из первичных металлов и вторичные алюминиевые сплавы условно, если они по физическим, механическим и эксплуатационным свойствам отвечают требованиям машиностроителей.

Трудно утверждать, что литейные сплавы, полученные из первичных металлов, одинаковые по химическому составу с аналогичными сплавами из вторичного сырья и обладают одинаковыми механическими свойствами. Скорее всего, отливки из сплавов первичных металлов будут иметь более высокие показатели относительного удлинения (примерно в 2,5 раза) чем из вторичных сплавов, так как в последних присутствует большое количество микропримесей металлов.

Однако, для многих отливок из алюминиевых сплавов, получаемых на машинах литья под давлением вполне достаточно иметь относительное удлинение ( $\delta\%$ )  $\sim 1\%$ , а не 2,5%, как при использовании первичных алюминиевых сплавов.

При производстве литья широкое применение нашли индукционные тигельные печи вместимостью от нескольких килограмм до нескольких десятков тонн. Индукционные тигельные печи имеют высокий КПД, в них

отсутствуют потери металла с отходящими газами и перегрев футеровки печи выше температуры расплава. Обеспечение равномерного перемешивания металла и незначительные потери металла из-за угара ( $0,6 \div 1,0\%$ ) делают эти печи более предпочтительными при производстве литья из чистых шихтовых материалов.

В последнее время все более широкое применение при производстве алюминиевого литья находят средне- и высокочастотные индукционные тигельные печи, снабженные современными преобразователями частоты (теристорные, транзисторные), автоматической системой регулирования режимов плавки, выдержки. Система "JOKS" представляет процессор, который обеспечивает автоматическое управление плавкой по заранее заданной программе [1].

Канальные индукционные печи широко используют для плавки и в качестве миксеров. Эти печи работают в непрерывном режиме с «болотом». КПД канальных печей выше, чем тигельных. Электрические канальные печи вместимостью 16 т имеют следующие показатели:

- удельный расход электроэнергии –  $350 \text{ кВт} \times \text{час} / \text{т}$ ;
- безвозвратные потери (угар) –  $0,5 \div 0,8\%$ .

В производстве фасонного литья появились новые разработки. Например, комплекс установок горизонтального непрерывного литья (УГНЛ) для отливки тавровых заготовок ( $876 \times 20 \text{ мм}$ ) из алюминиевых литейных сплавов с содержанием кремния  $7 \div 11\%$  [2]. На фирме "VAW Aluminium AG Innwerk" эксплуатируется две печи-миксера вместимостью 38 тонн, две вакуумные раздаточные печи по 16 тонн, одна УГНЛ с двумя кристаллизаторами. Одновременно разливается 20 заготовок сечением  $75 \times 54 \text{ мм}$  при средней производительности 6 т/час [1].

На рис. 1 представлена схема оборота металла при производстве отливок. Чистые «оборотные отходы», используют повторно. Структура оборотных отходов практически идентична и включает элементы литниковой системы. Производственный брак составляет значительную долю оборотных отходов (до 10%). Все загрязненные отходы: стружка, съемы, сплески, облой и др. в целях снижения брака нецелесообразно повторно использовать в производстве отливок и их реализуют на сторону. Таким образом, для получения одной тонны готовых отливок необходимо расплавлять более двух тонн шихтовых материалов.

## 2. Рафинирование алюминиевых сплавов

При расплавлении шихтовых материалов происходит взаимодействие жидкого металла с атмосферой печи, влагой и оксидами, вносимыми с шихтой, с футеровкой печи и материалом тигля.

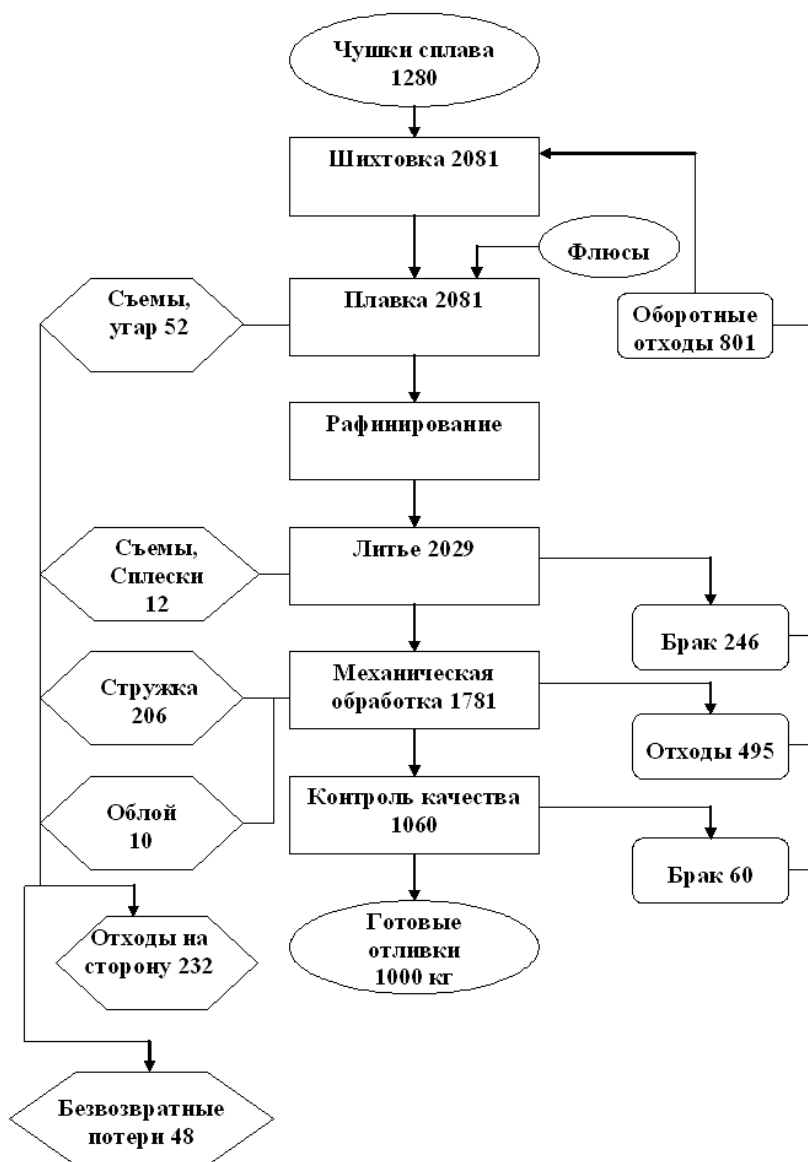


Рисунок 1 – Схема оборота металла при производстве отливок из алюминиевых сплавов.

Все это приводит к загрязнению сплавов твердыми неметаллическими и газовыми включениями, очистка от которых является одной из важнейших операций технологического процесса производства отливок. Указанные загрязнения оказывают отрицательное влияние на свойства и качество отливок из алюминиевых сплавов, такие как: однородность и точность состава, пористость, прочность, склонность к образованию трещин, структура отливок и др.

Литейщики уделяют постоянное внимание мероприятиям по рафинированию расплавов. Наиболее эффективным способом очистки расплавов оказались комбинированные методы рафинирования, включающие продувку инертными газами и фильтрация их через пористые керамические фильтры.

В сочетании с системой управления качеством продукции, особенно применение модифицирования, использование современных методов анализа плотности отливок позволяют обнаружить мельчайшие дефекты, что гарантирует эксплуатационные характеристики отливаемых полуфабрикатов.

### 3. Производство полуфабрикатов из деформируемых алюминиевых сплавов

В практике производства полуфабрикатов из деформируемых алюминиевых сплавов применяют терминологию «Заводы алюминиевого проката» или "Производство проката". При этом подразумевается производство заготовок методом деформации: прокаткой, прессованием, волочением, ковкой и штамповкой. Основные формы полуфабрикатов: листы, ленты, трубы, прутки, проволока, прессованные профили. В 2007 году мировое производство проката составило более 25,0 млн. тонн. В Украине отсутствует выпуск плоского проката. Общая мощность заводов по выпуску экструзионных полуфабрикатов оценивается примерно в 25,0 тыс.т/год и осуществляется на шести предприятиях. Наиболее крупным предприятием является Донецкий завод алюминиевых профилей (~12,0 тыс. т/год).

На раннем этапе развития производства проката из алюминиевых сплавов (сороковые и пятидесятые годы XX столетия) основными плавильными агрегатами были электрические печи сопротивления САН-7 и САН-9 вместимостью 7÷10 т и мазутные отражательные печи вместимостью 10÷15 т.

Но уже в первой половине шестидесятых годов XX ст. появляются отражательные газовые или мазутные печи вместимостью 20÷40 т и электрические индукционные канальные печи вместимостью 12÷16 т.

Для определения наиболее эффективного плавления и литья учитываются два основных фактора: качество полуфабрикатов и себестоимость тонны литья. Однако на качество полуфабрикатов ответственного назначения оказывает влияние не только тип плавильного агрегата, но и конструкция миксера, способы рафинирования расплава и устройство передачи его из миксера в литейный агрегат. Газовые плавильные отражательные печи имеют такие показатели: удельный расход газа 130 нм<sup>3</sup>/т, безвозвратные потери (угар) – 0,8÷1,3% в зависимости от качества шихтовых материалов (возвратных отходов без стружки, шлака и мелких отходов).

Совершенствование конструкции отражательных пламенных печей продолжается. Так, фирмой "Пешинэ" (Франция) был пущен в эксплуатацию плавно-литейный агрегат производительностью 180 т/сутки, который включал в себя стационарную отражательную печь вместимостью 60 т. Загрузка шихты производится из контейнеров объемом 3 м<sup>3</sup> через два боковых окна шириной 2,5м. Продукты сгорания с температурой 1150÷1200°С поступают в радиационный металлический рекуператор, ко-

торый подогревает воздух для горелок до  $600\div 650^{\circ}\text{C}$ , тем самым экономится до 15% топлива [2].

Фирма "Hertly metallurgie" разработала плавильно-литейный агрегат производительностью 80 т/сутки, состоящий из печи со съёмным сводом вместимостью 32 т. Печь загружается тремя кубеями вместимостью 10 т. Печь снабжена рекуператором, обеспечивающим подогрев подаваемого в горелки воздуха до  $450^{\circ}\text{C}$  [2].

Несмотря на применение рекуператоров для подогрева воздуха, КПД этих печей едва достигало  $30\div 35\%$ . Поэтому продолжают поиски более эффективных конструкций печей и топливно-сжигающих устройств – горелок. Одним из таких направлений во многих странах стали разработки шахтных и шахтно-ванных печей.

Фирмой "IST Industriefen+stranggieb-Technik GmbH" разработана плавильно-раздаточная печь производительностью 22 т/час с площадью пода  $64\text{ м}^2$  и водоохлаждаемой дверью размером  $9,2\times 1,95\text{ м}$  [2]. К особенностям агрегата относятся:

- регулирование давления внутри печи;
- герметизация и уплотнение двери;
- оптимизация горелок с регулированием направления факела и системы теплопереноса;
- обеспечение контроля температуры во всем рабочем пространстве печи.

Печь с выносным карманом получила довольно широкое распространение для переплавки мелкой, не сильно окисленной шихты. Преимущества таких печей состоит в том, что плавка производится в жидкой ванне без присутствия агрессивных газов, что уменьшает потери металла от окисления. Вместимость таких печей достигает 40 т. Однако, в последние годы наиболее широкое применение находят поворотные подовые печи вместимостью до 100 т, которые одновременно служат для корректировки химического состава сплава, т.е. выполняют функции миксера.

При производстве алюминиевого проката в качестве шихтовых материалов используют первичные металлы и чистые собственные оборотные отходы. Из оборотных отходов исключаются: стружка, сильно окисленные, промасленные пресс остатки от производства труб и профилей, съемы, сплески. Эти, так называемые деклассированные отходы после предварительного переплава используют для производства полуфабрикатов не ответственного назначения. На рис. 2 представлена схема оборота металла при производстве проката из алюминиевых сплавов.

#### 4. Производство алюминиевых сплавов из лома и отходов

Производство алюминиевых сплавов из лома и отходов на плавильных заводах отличается от их производства с использованием первичного алюминия и оборотных отходов на машиностроительных предприятиях.

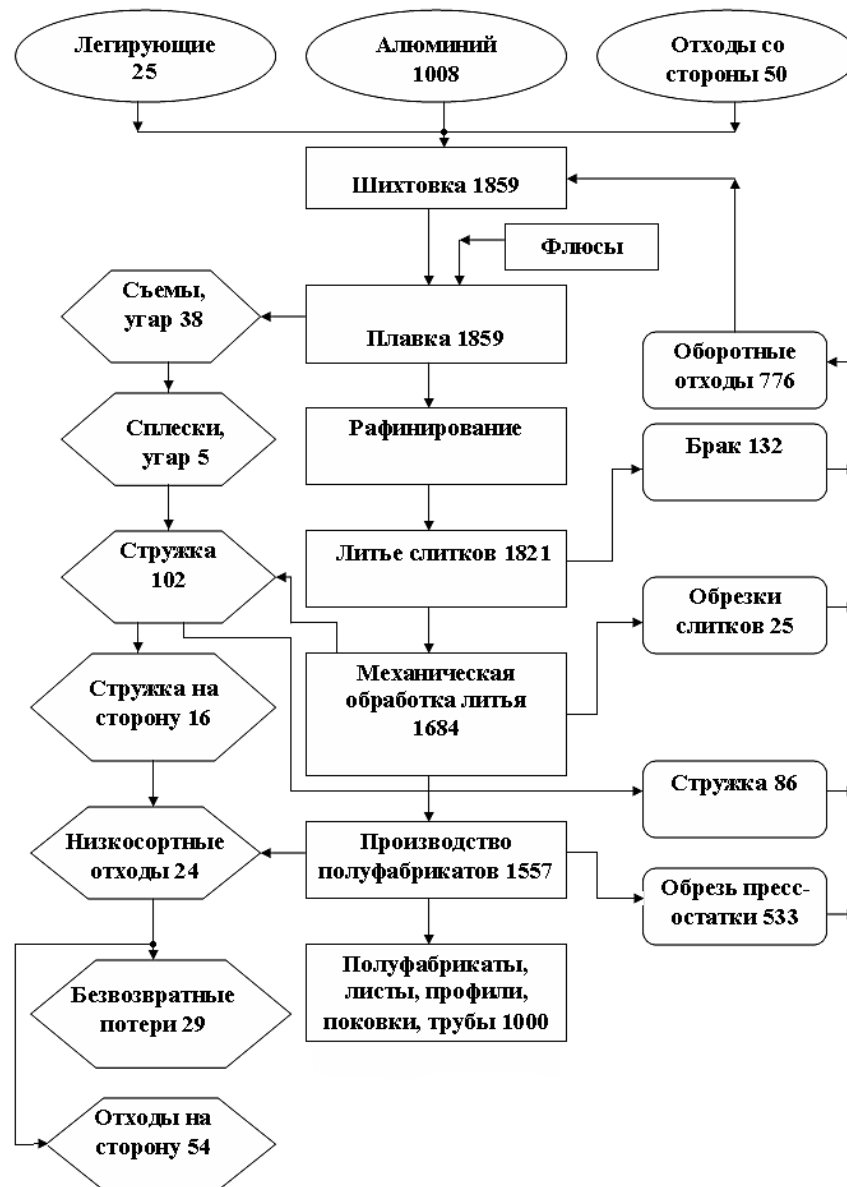


Рисунок 2 – Схема оборота металла при производстве проката из алюминиевых сплавов.

Это обусловлено широким диапазоном составляющих алюминиевого сырья, как по химическому составу, так и по физическому состоянию лома и отходов, наличию железных приделок и/или других цветных металлов.

Таким образом, количество неметаллических включений, которые вносятся вместе с шихтой в печь, оказывает решающее влияние на объемы образования шлаков или съёмов (безфлюсовая плавка), повышают затраты на строительство мощных газоочистных сооружений, увеличивает расход топливно-энергетических ресурсов, снижает эффективность переработки, резко уменьшает производительность печных агрегатов.

Многообразие видов перерабатываемых лома и отходов алюминиевых сплавов предопределяет для их переработки большой набор плавильных

агрегатов: пламенные отражательные, шахтные печи, индукционные канальные и тигельные печи, а также отражательные электропечи сопротивления, ограниченное применение имеют солевые печи сопротивления.

Основным типом плавильного агрегата в СНГ являлась пламенная отражательная печь, имеющая несколько разновидностей.

В Украине для плавки лома и отходов широкое применение получили двухкамерные пламенные подовые печи, удачно сочетающие в себе функции плавильного агрегата и миксера для доведения до определенной марки и хранение в процессе разлива в готовую продукцию. Двухкамерная печь позволяет наиболее рационально компоновать в одном агрегате плавильную камеру и миксер, а также дает возможность переплавлять сырье с железными приделками, которые после слива металла выгребаются с пода печи.

Мобильность двухкамерной печи при переплавке сложного не подготовленного к плавке лома, в том числе и негабаритного, простота в обслуживании, возможность механизации операций загрузки, перемешивания, скачивания шлака и чистки печи от настывшей, небольшие затраты на ремонт и определили их широкое распространение на заводах вторцветмета.

Однако пламенные двухкамерные печи имеют существенные недостатки, которые сдерживают создание нормальных санитарно-гигиенических условий труда обслуживающего персонала и тормозят дальнейшее увеличение производительности труда.

Основные недостатки этих печей:

- низкий термический КПД (20÷30%), обусловленный недостаточным использованием тепла отходящих газов;
- высокие безвозвратные потери, достигающие 3÷6% от загрузки металла.

В мировой практике в последние десятилетия используются преимущественно роторные барабанные печи, отапливаемые природным газом или дизельным топливом [3]. В роторной барабанной печи можно перерабатывать практически все виды лома и отходов, в том числе и такие как ссымы с содержанием металла менее 20%, сильно окисленные отходы от дробления и пакетирования пищевых банок, фольгу, мелкую стружку, которые в иных типах печей плавить неэффективно.

В роторной барабанной печи осуществляется:

- очищение расплава от газовых и неметаллических включений в результате непрерывного перемешивания расплава, жидким флюсом и обмывание расплавом загруженной шихты;
- обеспечение удаления магния из расплава за счет реакции с составляющими флюса;
- снижение потерь металла в печи за счет интенсивного обмывания шихтовых материалов солевым раствором, что способствует удалению оксидных включений из расплава;



- интенсификация тепло- и массообмена между факелом и жидкой ванной вследствие увеличения контактирующей поверхности, что увеличивает КПД печи как теплотехнического агрегата;
- полная механизация операций загрузки шихтовых материалов, контроль температурного режима плавки, выдачи расплавленного металла и удаления из печи шлака;
- полное исключение настыеобразования на футеровке печи, так как она непрерывно очищается расплавленным металлом и флюсом;
- герметичность рабочего пространства печи, исключение выбивания газов в помещение цеха.

Балансовые плавки по определению потерь металлов при плавке различных отходов производства проката и литья представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Потери металлов при производстве проката, литья, чушек и слитков вторичного алюминия в чушках (% от металлозавалки)

Основные статьи потерь металлов	Производство проката*)		Производство литья*)		Производство чушек и слитков из лома и отходов**)		
	Отражательные пламенные печи	Электрические печи	Отражательные пламенные печи	Электрические печи	Солевая плавка в роторных печах	Отражательные пламенные печи	Электрические печи***)
Окисление (угар)	0,76÷1,1	0,5÷0,8	0,75	0,38	2,9	3,9	2,5
Металлические корольки в шлаках	0,502	0,4	1,1	0,95	2,8	3,0	2,5
Металл в сплесках, съемах при переливах, литье и рафинировании	0,173	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Металлизация кладки, наросты	0,33÷0,62	0,2	0,32	0,3	0,3	0,6	0,7
Вынос с газами из печи, испарение	0,01	-	0,01	-	0,2	0,1	0,01
Другие потери	0,1	0,1	0,4	0,3	0,4	0,4	0,5
Общие потери	1,96÷2,5	1,6÷1,9	3,06	2,43	7,1	8,5	6,71

Прим.:\*) шихтовые материалы: чушки, компактные оборотные отходы;

\*\*) шихтовые материалы: смешанный лом и отходы, в т.ч. стружка, шлаки;

\*\*\*) шихтовые материалы: подготовленный лом и отходы, кроме шлака.

Схема оборота металла при производстве вторичного алюминия представлена на рис. 3.

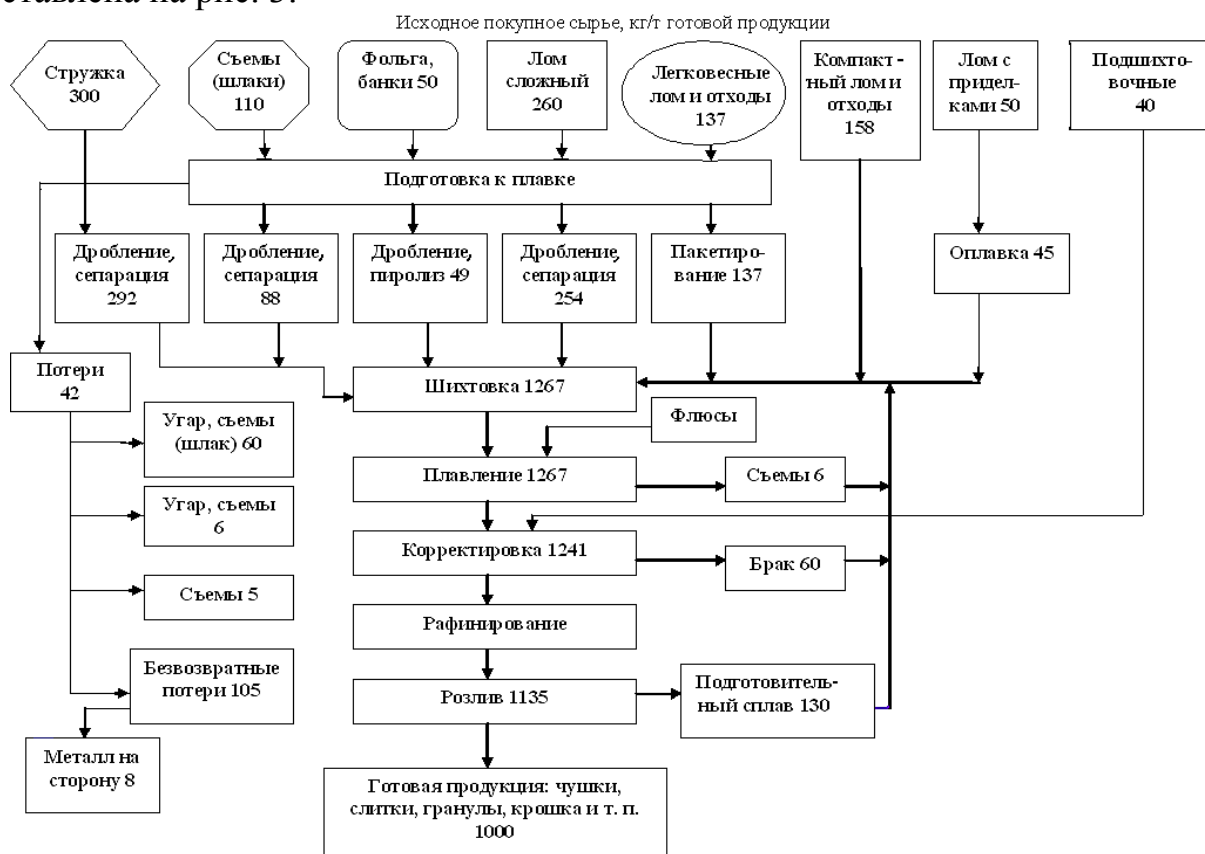


Рисунок 3 – Схема оборота металла при производстве вторичного алюминия

Амортизационный лом и отходы подвергают первичной переработке, которая предусматривает следующие операции: сортировку, разделку, пакетирование (брикетирование), дробление, сушку, магнитную сепарацию и другие виды обработки.

Общая засоренность алюминиевого лома неметаллическими включениями до 6 % от общей их массы, что приводит к повышению потерь металла. В последние годы при производстве вторичных алюминиевых сплавов широкое применение находят наклоняющиеся роторные вращающиеся печи. В результате повышения глубины ванны и уменьшения поверхности соприкосновения шихты и соли с продуктами сгорания расход солей в таких печах сокращается на 20÷30%, а коэффициент соли составляет 0,3÷1,0 ед. Такой процесс получил название "малосолевая плавка". В наклоняемой роторной печи продукты сгорания совершают петлеобразное движение, что улучшает теплообмен и повышает КПД печи.

## Выводы

1. Выполнен анализ оборота металла при производстве алюминиевых литейных, деформируемых и сплавов из вторичного сырья.

2. Представлены рациональные схемы набора шихтовых материалов при различных производствах алюминиевых сплавов.

3. Проанализированы печные агрегаты, используемые в настоящее время и перспективные виды оборудования, показаны их достоинства и недостатки при производстве различных алюминиевых сплавов.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Виноградов О.Н. Производители литья в 2005 г. / О.Н. Виноградов, В.М. Езжев – К.: Союз-литье, 2005. – 688с.
2. Гогин В.Б. Развитие технологии и оборудования литейного производства алюминия / В.Б. Гогин, Д.А. Шадаев // Технология легких сплавов. ВИЛС. – 2007, № 4. – С.83-85.
3. Бредихин В.Н. Современные печные агрегаты по переработке лома и отходов цветных металлов / В.Н. Бредихин, Б.И. Демедюк // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2002, № 4. – С.34–39.

Надійшла до редакції 06.06.2011

Рецензент к.т.н., доц. Є.В. Штепан

© Попов В.А., Маняк Н.А., Бредихин В.Н.

УДК 669.187.56:669.295

А.Д. Рябцев, А.А. Троянский, С.Н. Ратиев, О.А. Снижко, Ф.Л. Леоха

### РАФИНИРОВАНИЕ И ЛЕГИРОВАНИЕ ТИТАНА В ПРОЦЕССЕ КАМЕРНОГО ЭЛЕКТРОШЛАКОВОГО ПЕРЕПЛАВА

Приведены результаты рафинирования титана от кислорода и азота, а также легирования титана кислородом в процессе камерного электрошлакового переплава (КЭШП). Экспериментально установлено, что введение в шлаки КЭШП металлического кальция обеспечивает рафинирование титана от азота и кислорода на 10÷15 и 20÷25% соответственно. В работе рассмотрена возможность использования газообразного кислорода как легирующего компонента. Показано, что переплав в аргонокислородной атмосфере позволяет равномерно вводить кислород в титан. Результаты химического анализа, исследования структуры и замеров твердости показали, что КЭШП обеспечивает хорошую химическую и структурную однородность титановых слитков и позволяет повышать содержание кислорода в 2÷7 раз по сравнению с исходным (до уровня 0,27 %O).

Ключевые слова: титан, камерный электрошлаковый переплав, рафинирование, легирование.

#### Введение

К числу основных примесей технически чистого титана наряду с другими относятся и газы: кислород и азот, которые в большинстве случаев