Пирометаллургические методы в аффинаже, очистке сплавов и изготовлении продукции из драгоценных металлов

Гущин Г.М., Республиканский Б.Л., Хлебников А.И., Черепов А.А., Штырлов А.С.,
АО «Екатеринбургский завод по обработке цветных металлов», г. В. Пышма, Свердловская обл.

Ключевые слова: драгоценные металлы и сплавы на их основе, индукционная плавка, дистилляция, хлорирование расплава, полунепрерывное литье, вакуумная плавка, электронно-лучевая плавка, метод Чохральского, вакуумное всасывание.

В статье представлены методы пирометаллургической переработки сырья, отходов, содержащих ДМ, а так же методы получения литой заготовки для изготовления продукции из ДМ, используемые в настоящее время в АО «ЕЗ ОЦМ». Вкратце обозначена суть процессов пирометаллургического аффинажа, используемое оборудование и вспомогательные материалы, их характеристики, в том числе и фотографии оборудования. Приведены примеры извлечения ДМ из сырья и их очистки от неблагородных примесей, указаны ориентировочные массы плавок, виды получаемых заготовок из того или иного сплава. Также в статье указано преимущество новых технологических решений по сравнению с применявшимися ранее.

АО «Екатеринбургский завод по обработке цветных металлов» (АО «ЕЗ ОЦМ»)

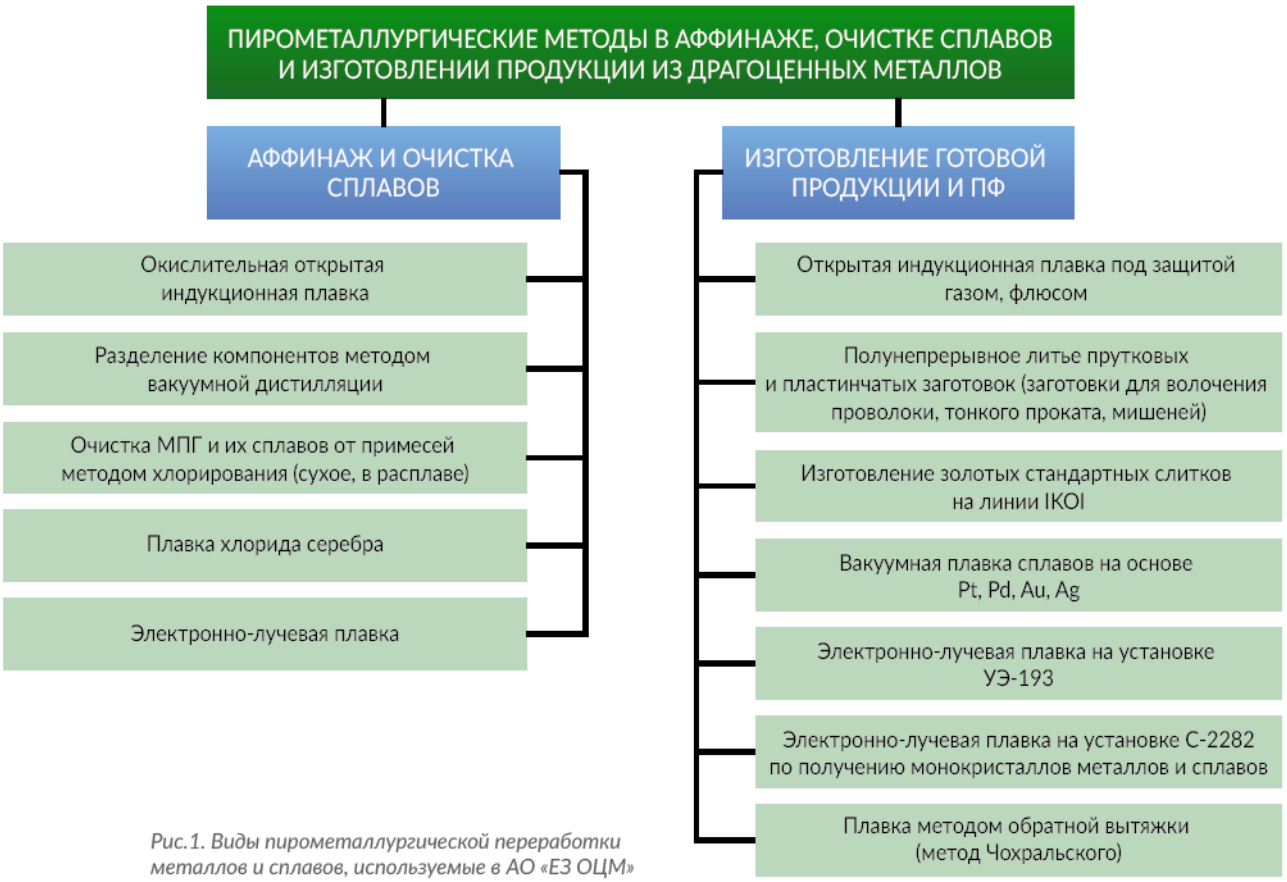


Рис.1. Виды пирометаллургической переработки металлов и сплавов, используемые в АО «ЕЗ ОЦМ»

Таблица 1. Изменение массы шлиховой платины в результате окислительной плавки и химический состав полученных слитков

Масса до сплавления, г	Убыль массы после сплавления		Химический состав пробы от слитка, %								
	г	%	Pt	Ir	Pd	Rh	Ru	Os	Au	Ag	Прочие
1334,5	188,3	14,11	77,5	3,1	0,37	0,46	0,08	0,87	0,26	0,02	17,3
1035	117,8	11,38	77,6	2,87	0,28	-	0,09	1,1	0,12	0,02	17,94
1007,3	96,3	9,56	74,7	2,5	0,31	0,47	0,06	2,2	0,11	0,01	19,64

Таблица 2. Химический состав консолидированного шлака, образовавшегося при сплавлении трех мест шлихов в табл. 1

Масса шлака, г	Масса материала, перешедшая из шлиха в шлак, г	Химический состав шлака, %								
		Pt	Ir	Pd	Rh	Ru	Os	Au	Ag	Прочие
672,3	402,4	0,36	0,025	0,029	0,005	0,0004	-	0,031	0,099	99,44

специализируется на переработке сырья, содержащего драгоценные металлы (ДМ), и изготовлении из извлеченных ДМ различных изделий, в основном технического назначения. В переработку поступает как первичное сырье в виде шлихового золота и платины, сплава золота с серебром (сплав Доре), так и различный лом изделий, содержащий ДМ: отработавшие катализаторные сетки, стеклоплавильные устройства, термопары, ювелирные изделия, электронный лом и т.д. Поступают также растворы и химические соединения.

В зависимости от вида поступающего сырья на заводе используются различные методы первичной обработки для отбора представительной пробы и определения содержания ДМ. Для шлихов, сплава Доре и ломов с большим содержанием ДМ используется сплавление с отбором пробы из расплава или от слитка. Для электронного лома и других ломов с низким содержанием ДМ, а также в случае присутствия компонентов, не смешивающихся в расплавленном состоянии, применяется растворение в кислотах с отбором пробы от раствора и нерастворимого остатка.

Уже на стадии сплавления сырья начинается его очистка от примесей. Пирометаллургической очистке подвергаются также и собственные отходы производства. Основные виды пирометаллургической переработки металлов и сплавов, используемые в АО «Екатеринбургский завод по обработке цветных металлов» в настоящее время, представлены на рис.1.

Окислительная открытая индукционная плавка

Для плавки используются индукционные плавильные печи мощностью 30-160 кВт, с частотой на индукторе 2,4-66 кГц. Масса плавки от 50 г до 200 кг. В зависимости от переплавляемого материала, плавку ведут в тиглях из графита, графитошамота, периклаза и оксида алюминия. При переплаве часть недрагоценных металлов, растворенных в сплаве, окисляется кислородом воздуха и всплывает на поверхность расплава вместе с оксидами, содержащимися в исходном сырье. При завершении плавки для очистки расплава от оксидов добавляют различные флюсы. Образовавшийся шлак снимают кварцевой трубкой или отбивают от полученного слитка. При окислительной плавке шлиховой платины убыль массы обычно составляет 5 - 20% за счет перехода до половины примесей в шлак (таблица 1). Некоторая часть драгоценных металлов также попадает в шлак, но их содержание в шлаке на несколько порядков ниже, чем в исходном шлихе (таблица 2).

Разделение компонентов методом вакуумной дистилляции

Давальческое сырьё, которое поступает на завод в виде шлихового золота, сплава Доре и отходов золотосеребряных сплавов в основном содержит от 10 до 60 % серебра. Повышенное содержание серебра вносит существенные ограничения и сложности в технологию аффинажа таких матери-

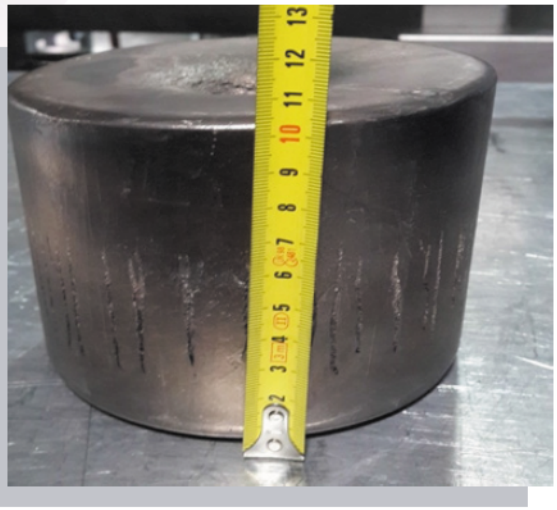


Рис.2. Золотой слиток после вакуумной дистилляции

алов. Традиционные способы аффинажа благородных металлов из такого сырья – гидрометаллургический, пирометаллургический, электрохимический. Способы эффективные, но достаточно продолжительные по времени, трудоёмкие, требующие проведения утилизации большого количества отработанных растворов и экологически не безопасные.

На заводе, в середине 90-х годов, на вакуумных индукционных установках, а также вакуумной печи с электронагревателями «Гном», был внедрён способ извлечения благородных металлов в высоком вакууме при нагревании, основанный на различном парциальном давлении насыщенных паров металлов.

Физико-химические основы дистилляционного метода основаны на разделении металлов при их испарении и последующей конденсации на охлаждаемых экранах



Рис.3. Серебряные возгоны после проведения вакуумной дистилляции

за счёт различия в давлениях насыщенных паров разделяемых металлов. Это различие определяется величиной относительной летучести ß отделяемого компонента. Применительно к процессу рафинирования эту величину называют коэффициентом разделения.

При молекулярном испарении в вакууме, когда испаряемые компоненты не возвращаются в расплав, а молярные концентрации компонентов пропорциональны их молярным скоростям испарения, степень разделения определяется выражением:

$$ß_e = \sqrt{M_в/M_а} \times (P^o_а \cdot N_а \cdot \gamma_а) / (P^o_в \cdot N_в \cdot \gamma_в), \text{ где}$$

$P^o_а$, $P^o_в$, $N_а$, $N_в$, $\gamma_а$, $\gamma_в$, $M_а$, $M_в$ – упругость пара, мольная доля, коэффициент активности и молярный вес основного вещества (А) и примеси (В). Чем дальше отстоит значение $ß_e$ от единицы, тем эффективнее разделение компонентов.

Самый чистый конденсат можно получить в начале вакуумной дистилляции. С течением времени возгоны загрязняются металлом основы. Скорость испарения легколетучего компонента тем выше, чем выше летучесть и активность его в сплаве.

На заводе было освоено получение золотосеребряного сплава из отходов ювелирной промышленности на основе пасты ГОИ. Содержание золота и серебра в отработанных полировальных пастах составляло от 0,01 до 10%, а в наиболее богатых от 10 до 40%. Технология предусматривала дистилляционную отгонку при нагревании из шлифовальных порошков благородных металлов и один индукционный переплав полученных возгонов. Процесс характеризовался высокой степенью извлечения благородных металлов из исходного сырья. Для золота степень извлечения составляла более 97%, для серебра – более 99%. В переплавленных возгонах содержание благородных металлов составляло от 70 до 90 %, что позволяло направить металл на подшихтовку ювелирных сплавов или традиционную схему аффинажа.

Одновременно была разработана технология отгонки серебра из отходов золотых и палладиевых сплавов, сплава Доре с содержанием серебра до 60 %. Максимальная загрузка по лигатуре – 35 кг. В зависимости от содержания различных металлических примесей в сплаве продолжительность процесса от 10 до 90 минут. После окончания отгонки образуется два продукта: слиток (рис.2) и возгоны (рис.3). После окончания процесса вакуумной дистилляции от одной партии вся масса слитков плавится

Таблица 3. Результаты вакуумной дистилляции от загруженного золотосеребряного сплава, с получением золотого слитка и серебра в виде возгонов, осевших на конденсаторе

Золотосеребряный сплав на вакуумную дистилляцию			Золотой сплав после вакуумной дистилляции			Серебряный сплав после вакуумной дистилляции		
Вес, г	Хим. состав сплава, %		Вес, г	Хим. состав сплава, %		Вес, г	Хим. состав сплава, %	
	золото	серебро		золото	серебро		золото	серебро
59 165,30	61,9	35,28	38 315,40	92,22	3,66	20 721,30	3,4	93,76
83 574,50	67,83	26,92	63 236,60	89,7	4,08	19 523,30	4,61	93,36
93 547,40	74,15	22,75	73 148,60	92,46	3,85	20 177,00	5,79	92,32

в гранулы с отбором огнежидкой пробы и направляется на кислотное растворение для получения золотой губки, а все возгоны плавятся в аноды, также с отбором огнежидкой пробы, и направляются на электролитический аффинаж серебра.

В таблице 3 приведены результаты вакуумной дистилляции от загруженного золотосеребряного сплава, с получением золотого слитка и серебра в виде возгонов, осевших на конденсаторе.

В зависимости от состава и массы загружаемого исходного сырья для переработки, весь технологический цикл может длиться в течении 40 – 90 минут, выход годного при этом составляет более 99,8 %.

Преимущества способа вакуумной дистилляции по сравнению с традиционными гидрометаллургическими методами:

- увеличение скорости процесса получения аффинированного золота и, как следствие, сокращение необходимой массы оборотного металла предприятия;
- низкая энергоёмкость процесса разделения золота и серебра;
- возможность наиболее полного разделения золота и серебра;
- высочайшая экологичность, весь процесс проходит в вакууме, в замкнутом объёме без использования каких либо токсичных и вредных материалов.

В 2014 году на основании предыдущего опыта вакуумной дистилляции совместно с компанией IECO keeps on improving была разработана и изготовлена новая вакуумная индукционная установка для разделения золотосеребряных сплавов производительностью 30 кг по лигатуре за один цикл (рис.4), которая в настоящее время успешно работает на заводе.

Плавка под хлором

В связи с необходимостью уменьшения количества собственного оборотного драгоценного металла и сокращения сроков изготовления готовой продукции, на АО «ЕЗ ОЦМ» остро встал вопрос о сроках переработки и аффинажа давальческого металла. Метод, который использовался ранее – аффинаж в расплаве солей - хоть и давал очень хорошие показатели по степени чистоты аффинированного металла, всё же имел очень существенный недостаток – большую продолжительность. Срок переработки давальческого металла (ломов СПА и катализаторных сеток) доходил до 45-60 дней. В новых экономических условиях это стало абсолютно неприемлемо.

Новым методом, который свёл к минимуму временные затраты, стал пирометаллургический метод окисления хлором вредных примесей непосредственно в расплаве.

Суть метода заключается в продувке расплавленного металла хлором в течение 20-60 минут в зависимости от содержания в металле вредных примесей, в основном железа (рис.5).

Данный способ очистки металлов и сплавов платиновой группы подразумевает процесс взаимодействия газообразного хлора с железом, находящемся в виде



Рис.4. Установка вакуумной дистилляции ALS

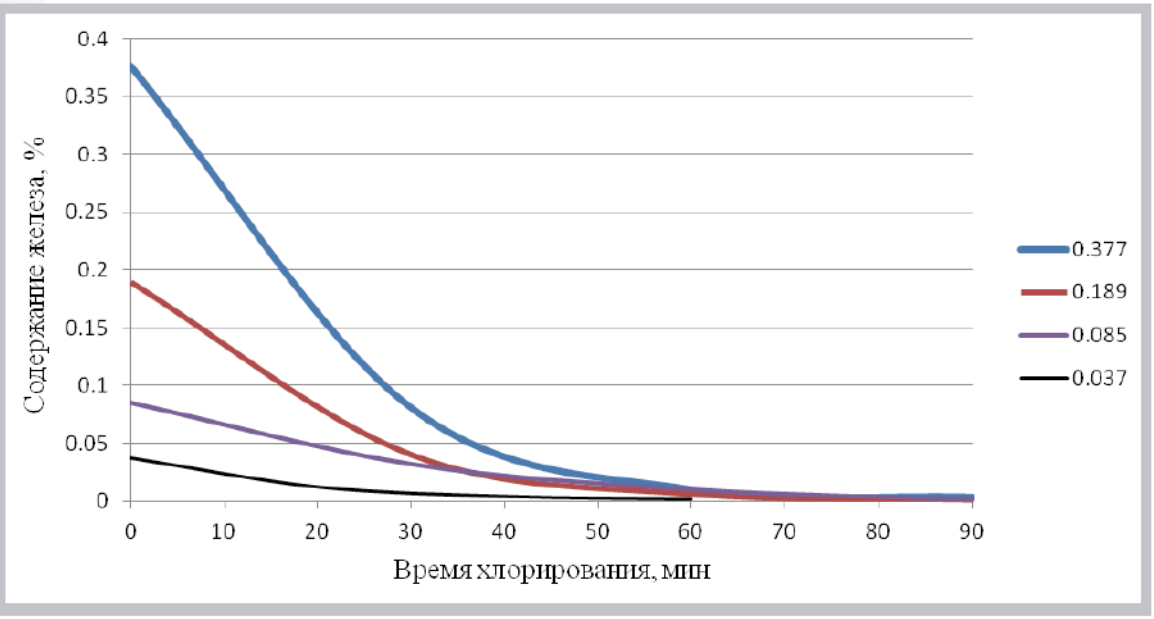


Рис.5. Изменение содержания железа в ломе катализаторных сеток в зависимости от продолжительности плавки в атмосфере хлора

вредной примеси в расплаве и имеющим большее сродство к хлору, чем Pt, Pd, Rh, Ru. В результате химической реакции:

$$2Fe+3Cl_2 \rightarrow 2FeCl_3$$

железо, находящееся в расплаве, переходит в хлорид железа и, в результате более высокого парциального давления, испаряется с поверхности расплава (рис. 6)

После завершения процесса хлорирования, металл отливается в изложницу, куётся, режется на части для подшихтовки, опробуется, подвергается проварке в кислоте для удаления с поверхности железа от бойков молота.

Внедрение данного метода позволило сократить время переработки и аффинажа давальческого металла (ломов СПА и катализаторных сеток) с 45-60 до 3-7 дней.

Плавка хлорида серебра

Сплавлением хлорида серебра с кальцинированной содой получают серебро. Реакция получения серебра при сплавлении хлорида серебра с содой:

$$4AgCl + 2Na_2CO_3 \xrightarrow{t^\circ} 4Ag + 4NaCl + 2CO_2 + O_2$$

Плавку ведут в индукционной печи мощностью 160 кВт, с рабочей частотой 2,4 кГц, в графитошамотовом тигле. Масса плавки 5-35 кг. Расплав серебра разливают в чугунные конические изложницы. После очистки слитка серебра от хлорида натрия проводят повторный переплав с последующим изготовлением анодов для электролитической очистки до серебра марки СрА-1.

Открытая индукционная плавка под защитой газом, флюсом

Выплавка металлов и сплавов, не требующих серьезных технологических решений (чистое золото и серебро, сплавы на основе серебра: СрПд80-20, СрМ925, и т.д.), отходов и т.д. производится в открытую – без использования разряжения и избыточного давления (рис.7). Плавку, в зависимости от переплавляемого материала, ведут в тиглях из графита, графитошамота, периклаза и оксида алюминия. Масса плавки может составлять 0,050-200 кг.

В качестве защиты и флюсующих добавок используют буру, криолит, соду, древесный уголь и березовые палочки, флюсы на основе оксидов алюминия и кальция, а также газы – пропанобутановую смесь, водород, аргон, азот. Отливку расплава производят через край тигля, через воронку из графитошамота и легковесного кирпича в графитовые, стальные, чугунные, медные водоохлаждаемые изложницы различных профилей. После выплавки сплавов заготовка проходит дальнейшую обработку – ковку, строжку. При сплавлении отходов слиток отделяется от шлака (при наличии) и подвергается дальнейшей переработке.

Полунепрерывное литье прутковых и пластинчатых заготовок (заготовки для волочения проволоки, тонкого проката, мишеней)

Заготовки для волочения проволоки, труб из сплавов на основе золота и серебра, таких как Ср99,99, СрМ925, СрМ90, припои

ПСр45, ПСрвчМ72-28 и др. изготавливают на установках полунепрерывного литья фирм IKOI и Peter Koch.

Принцип работы установок следующий: в графитовые тигли с профильными фильерами, расположенными в донной части, загружаются шихтовые материалы, под действием индукционного поля происходит расплавление металла. Далее с помощью специальных затравок и вытяжного механизма производят вытяжку заготовок требуемой формы. Масса плавки составляет от 5 до 30 кг с возможностью дозагрузки печи. На данных установках получают литые прутки Ø 10, 30 мм, пластинчатые заготовки 10×50×L мм, 15×115×L мм, 25×120×L мм.

Выплавка заготовок для тонкого проката, изготовления мишеней из сплавов на основе серебра - Ср99,99, СрМ97, СрЦМ1,8-0,9 и др. осуществляется на установке полунепрерывного литья собственного изготовления. На данной установке возможно получение заготовок максимальной массой 200 кг. Плавка металла осуществляется в графитошамотовом тигле, литье заготовки ведется через графитошамотовую воронку в медный водоохлаждаемый кристаллизатор Ø (96-100) мм, с последующей вытяжкой слитка специальными вытяжными валками вертикально вниз.

Полунепрерывным методом отливают и пластинчатые заготовки из сплавов на основе серебра, палладия и платины размером 35х(140-185)х(450-600) мм на разливочных машинах собственного изготовления с медным водоохлаждаемым кристаллизатором.

Полунепрерывный метод литья, благодаря направленной кристаллизации, позволяет получать качественные заготовки без инородных включений и загазованности, обеспечивается однородность свойств отливки, повышенная чистота и точность поверхности, что благоприятно сказывается на дальнейшей обработке и свойствах готовой продукции.

Изготовление золотых стандартных слитков на линии IKOI

В 2014 г. была введена в эксплуатацию линия по литью золотых стандартных слитков массой (11,0 -13,3) кг итальянской фирмы IKOI (рис.8). На данной установке исходное золото чистотой 99,99% в виде губки, шашек, слитков и др. переплавляется в гранулы, а затем в слитки. Плавки проводятся в защитной атмосфере азота, который вырабатывается в специальном генераторе.

Расплавление металла на гранулы производится в индукционной печи в графитовом тигле (объемом до 35000 г по золоту). Затем расплав разливается в дистиллированную воду через фильеру с отверстиями Ø (1-3) мм, расположенную в донной части тигля и перекрытую специальным стержнем. Плавка и литье ведутся в автоматическом режиме по заданной программе. Навески по 12,5 кг из просушенных гра-



Рис. 6. Процесс хлорирования расплава



Рис. 7. Открытая индукционная плавка



Рис. 8. Линия IKOI и стандартный золотой слиток, выплавленный на ней

нул загружаются в графитовые тигли-изложницы, имеющие форму стандартного слитка. Печь по выплавке слитков представляет собой конвейер, в котором происходит последовательное расплавление каждой навески металла с последующей кристаллизацией в тигле в автоматическом режиме, что позволяет обслуживать эту установку одному человеку. Производительность данной установки при непрерывной работе составляет 3 слитка/час (порядка 900 кг/сутки).

Вакуумная плавка сплавов на основе платины, палладия, золота и серебра

Выплавка высокотемпературных сплавов на основе платины и палладия, а также ряда сложных в производстве сплавов на основе золота и серебра осуществляется в вакуумных плавильных установках. Завод располагает двумя большегрузными вакуумными плавильными печами ОКБ собственного изготовления и одной печью немецкой фирмы PVA Tepla (рис.9) Масса плавки, в зависимости от требуемой заготовки, составляет от 1,5 до 25 кг по платине. Плавку проводят в тиглях из оксидов магния, циркония, алюминия (алундовый плазмокерамический) как в среде вакуума с остаточным давлением (2 – 8)•10-2 мбар, так и под давлением защитного газа до (400-600) мбар. Отливку металла проводят также в вакууме или защитной атмосфере в изложницы различных конфигураций и материалов – это может быть графит, медь, сталь. Печь немецкой фирмы PVA Tepla оснащена пультом управления с визуализацией технологического процесса на дисплее, что значительно облегчает работу оператора. Благодаря плавке и отливке в вакууме или под давлением защитного газа происходит дегазация металла и защита от окисления компонентов сплавов, имеющих большое сродство к кислороду.



Рис. 9. Вакуумная плавильная печь немецкой фирмы PVA Tepla

Электронно-лучевая плавка

В АО «ЕЗ ОЦМ» электронно-лучевой переплав используется с целью очистки иридия, платины, рутения и платинородиевых сплавов от примесей, неметаллических и оксидных включений, получения плотных слитков без пор, со структурой, благоприятной для дальнейшей обработки давлением, а также для легирования сплавов. Этот процесс осуществляется на электронно-лучевой установке УЭ-193 глубоком вакууме с остаточным давлением менее $2*10^{-5}$ мм рт. ст. в водоохлаждаемых медных изложницах. Масса одной плавки на печи составляет от 5 до 40 кг.

Источником нагрева на установке УЭ-193 являются 3 электронно-лучевые пушки мощностью по 100 кВт, при помощи которых в точке фокусировки луча достигается температура плавления и даже испарения металла. Благодаря управляемому фокусированию и возможности управления перемещением, электронный луч можно направлять на объекты различной формы. Поскольку при электронно-лучевой плавке нагревается только место контакта луча с металлом, происходит так называемое зонное расплавление, которое положительно влияет на структуру слитка относительно пористости, ликвации. Плавка в глубоком вакууме способствует избирательной возгонке металлических и неметаллических примесей с давлением пара выше, чем у основного металла (сплава),

что позволяет получить слиток высокой степени чистоты.

На установке электронно-лучевой плавки – УЭ-193 используются три варианта проведения плавки:

1. Электронно-лучевой переплав в медной водоохлаждаемой изложнице используется, в основном, для очистки иридия, платины, рутения и платинородиевых сплавов. Масса плавки составляет от 5 до 30 кг;

2. Электронно-лучевой переплав со стеканием расплава с заготовки в водоохлаждаемый кристаллизатор применяется для очистки иридия и получения качественной иридиевой заготовки для последующего изготовления проволоки и проката;

3. Электронно-лучевой переплав перетоком расплава с заготовки через промежуточную емкость в водоохлаждаемый кристаллизатор используется для очистки Пл и ПлРд сплавов (рис 10). По мере нахождения в промежуточной емкости металл подвергается усреднению, дополнительной очистке от примесей, дегазации. По мере наполнения кристаллизатора полученный слиток опускается с помощью нижнего штока.

Установка УЭ-193 позволяет получать иридий марок И99,9; И99,95; И99,99 и платинородиевые сплавы с заданным составом и остаточным содержанием таких примесей как Ag, Fe, Cu, Ni, Pb, Al, Si, Sb, Zn, Sn, Mg и т.д. не более 5 ppm.

На электронно-лучевой установке С-2282 бестигельной зонной плавки расплавленный металл не контактирует с огнеупорными материалами и отсутствует кристаллизатор. Расплав находится между переплавляемой заготовкой и закристаллизовавшимся слитком (рис. 11) и удерживается только силами поверхностного натяжения. Расплавленный металл стекает с заготовки и кристаллизуется сначала на затравке, а затем на уже образовавшемся слитке. Благодаря направленной кристаллизации происходит очистка сплава от различных примесей, которые вытесняются на поверхность расплава и затем слитка. При этом зерна прорастают от затравки через весь образовавшийся слиток. Причем их количество в поперечном сечении по высоте слитка убывает. Отсутствие контакта расплава с чем-либо кроме закристаллизовавшегося металла приводит к тому, что новые зерна не образуются. Если в качестве затравки использовать монокристалл, то при определенных режимах плавки получаем монокристаллическую заготовку диаметром 30-40 мм весом несколько ки-

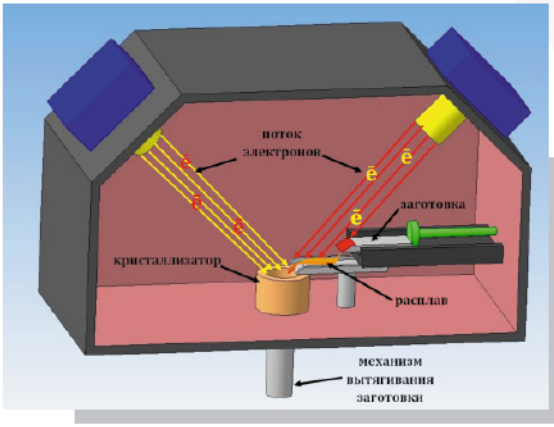


Рис. 10. Схема очистки Пл и ПлРд сплавов на установке УЭ-193

лограмм. Благодаря глубокой очистке металла, таким способом, кроме собственно монокристаллических образцов, удается получить качественную заготовку из иридия для изготовления бездефектной проволоки диаметром 0,1 мм и более.

Плавка методом обратной вытяжки

Для изготовления проволоки, применяемой в качестве резистивного материала в приборостроении и электронной промышленности, используется сплав палладия с вольфрамом марки ПдВ-20. Данный сплав характеризуется высокой твёрдостью и сложен в механической обработке (ковка, строжка и т.д.).

Одним из приемлемых способов получения заготовки для изготовления проволоки из данного сплава является метод обратной вытяжки, изобретателем которого был польский химик Ян Чохральский (рис.12).

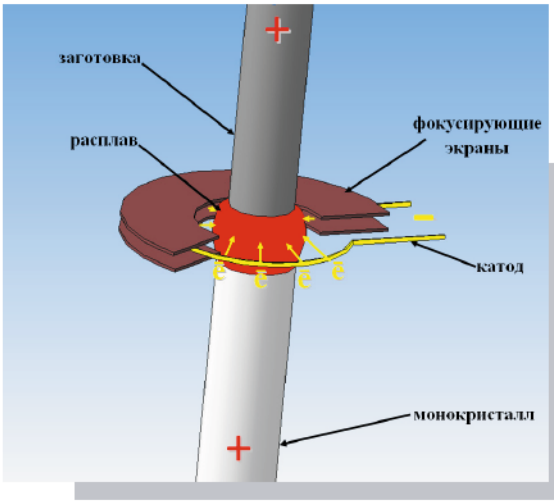


Рис. 11. Схема бестигельной зонной плавки

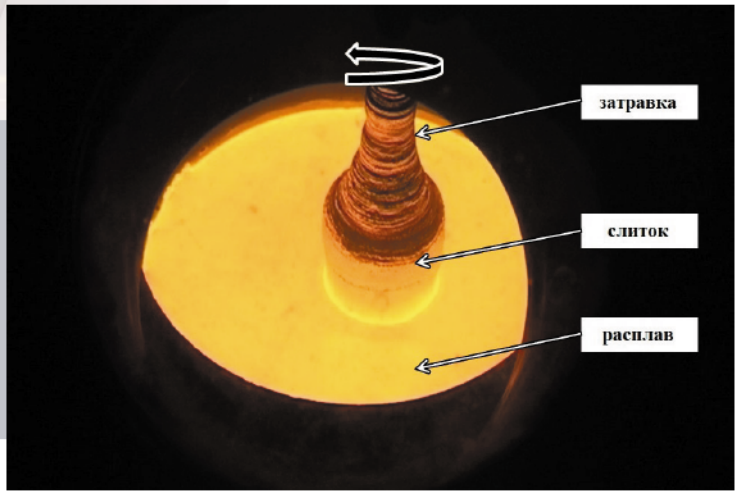


Рис. 12. Получение заготовки из расплава методом обратной вытяжки

В тигель загружается шихта, которая после плавления перегревается до определенной температуры. Затем в расплав вводится затравка из этого же сплава, выдерживается некоторое время и начинает подниматься, вращаясь и вытягивая закристаллизовавшийся на ней сплав с определенной скоростью. Весь процесс идет в восстановительной атмосфере, чтобы исключить окисление палладия и вольфрама. При совпадении скоростей вытягивания кристалла и скорости роста кристалла, создаются оптимальные условия, при которых фронт кристаллизации остается неподвижен относительно расплава.

Благодаря медленной направленной кристаллизации происходит вытеснение неметаллических примесей и растворенных газов из зоны кристаллизации. Это способствует получению плотной заготовки без инородных включений и пор. За счет эффекта зонной очистки происходит также снижение примесей в сплаве. Масса получаемого слитка порядка 4,0 кг. Аналогичным способом получают заготовки из золотопалладиевого сплава марки ЗлПд-2,5 и из серебра.

Заготовки, полученные методом обратной вытяжки, используются для изготовления микропроволоки диаметром от 0,02 мм.

Плавка методом вакуумного всасывания пластинчатых и прутковых заготовок

Для выплавки трудно деформируемых сплавов, необходим особый технологический подход. На заводе таковым является метод вакуумного всасывания, используя который получают как пластинчатые, так и прутковые заготовки.

В тигле из оксида алюминия, либо графитошамота (в зависимости от сплава) под действием индукционного поля проводят расплавление шихтовых материалов, при этом могут использоваться специальные флюсующие добавки для защиты расплава от окисления. После расплавления, изложницу, подключенную к вакуумной системе, подводят к расплаву и через специальный литник производят всасывание. Масса плавки составляет от 0,5 кг до 16 кг. Для маловесных плавок массой 100-500 г вместо изложницы используют кварцевые трубки диаметром 7-15 мм.

Заготовки, выплавленные подобным методом, благодаря направленной и быстрой кристаллизации имеют мелкозернистую, однородную структуру, не содержат инородные включения и хорошо обрабатываются.

Благодаря большому и разнообразному парку плавильного оборудования, использованию разнообразных методов плавки и разливки для получения качественных заготовок на заводе изготавливается продукция из 350 марок металлов и сплавов.