DOI: 10.17117/na.2016.10.03.110

Поступила (Received): 24.10.2016

<http://ucom.ru/doc/na.2016.10.03.110.pdf>**Дьяков В.Е.****Окисление металлической пены на поверхности при центробежной фильтрации расплавленного олова****Dyakov V.E.****Oxidation of the metal foam on the surface when the centrifugal filtration of molten tin**

Из анализа способов рафинирования олова от мышьяка выявлены условия образования пен примесей на поверхности олова. Приведена оценка толщины пленки олова на кристаллах соединений примесей. Проведены исследования расхода марганца и показан оптимальный вариант окисления пены с древесными опилками для повышения заполнения фильтра и снижения выхода олова в сѐмы

Ключевые слова: олово, рафинирование, мышьяк, марганец, окисление пены, центробежная фильтрация

From the analysis of the methods of refining tin from arsenic identified conditions for the formation of foams of impurities on the tin surface. The assessment of the thickness of the tin film on the crystals of compounds of impurities. The consumption of manganese and shows the best option oxidation foam with sawdust to improve the filling of the filter and reduce the output of tin in releases

Key words: tin, refining, arsenic, manganese, oxidation, foam, centrifugal filtration

Дьяков Виталий Евгеньевич

Кандидат технических наук, консультант
Центральный научно-исследовательский институт олова
г. Новосибирск, ул. Аникина, 6

Dyakov Vitali Evgenievich

Candidate of Engineering Sciences, Expert device
Central research institute of the tin
Novosibirsk, Anikina st., 6

Введение

В металлургии олова после восстановительной плавки оловянных концентратов получают черновое олово, содержащее растворенные сопутствующие примеси. Для рафинирования олова от сурьмы, мышьяка и остаточного железа традиционно [1], использовалось связывание их с алюминием в тугоплавкие нерастворимые соединения $SbAl$, $AsAl$, Al_2Fe . Соединения всплывают на поверхность олова в виде объемистой пены со значительными потерями олова.

Для снижения потерь олова предложен способ [2] рафинирования олова от сурьмы, который включает вмешивание алюминия, добавку гудрона, обработку хлоридом щелочного металла и отделения сурьмянистой пены от расплава олова. Пену возвращают на рафинирование следующей партии олова от мышьяка, а затем совместный расплав мышьяковистой и сурьмянистых пен окисляют сульфатом аммония. Способ не получил распространение из-за трудоемкости ручного труда по отделению пены.

По другому варианту [3] с целью повышения эффективности очистки перед обработкой хлористым аммонием расплав при 320-400°C окисляют кальцинированной содой. Однако окисление пены реагентами приводило к образованию сухих пылевидных съёмов и не снизило трудоемкость операций. Для снижения потерь олова в съёмы предложен способ [4], заключающийся в том, что после введения алюминия расплавленный металл обрабатывают карналлитом в окислительной среде при 350-410°C.

Для снижения расхода реагентов в качестве Al-сплава используют силумин SiAl, содержащим 3-15%Sn, а для обработки флюсом при 470-540°C в качестве флюса применяют флюсовой скрап, содержащий $ZnCl_2$ [5]. Получение зернистых съёмов позволило использовать центробежную фильтрацию. Однако съёмы рафинирования олова, содержащие мышьяк и алюминий при взаимодействии с влагой воздуха выделяют высокотоксичный газ [1] AsH_3 , что требовало особых условий их контроля, хранения и переработки. В работе, [6], показан перечень материалов на способность выделения мышьяковистого водорода. Подтверждена целесообразность мероприятия замены использования алюминия для удаления мышьяка. Проблема безопасного вывода остаточного мышьяка из олова решена связыванием его в нерастворимые соединения $AsMn$ [7].

Для вмешивания в расплав тугоплавкого марганца с получением лигатуры разработан аппарат [8], включающий цилиндрическую камеру с перфорированным перекрытием и снабженную патрубком в верхней части камеры направленной вниз по спирали вдоль корпуса. Для циркуляции расплава через камеру насос соединен выходным патрубком с нижней частью камеры. Мышьяк с растворенным марганцем образует тугоплавкое малорастворимое в олове соединение $MnAs$, которое всплывает на поверхность в виде металлической пены. Этим обеспечивается выделение мышьяка в безопасный полупродукт и процесс рафинирования сводится к общей задаче отделения съёмов с поверхности олова.

Для отделения съёмов с повышением эффективности рафинирования описаны [9] результаты вакуумной фильтрации через пористые материалы и при этом в отфильтрованном металле содержалось 0,006% Fe. Метод вакуумной фильтрации металла от твердых фаз усовершенствован путем использования центробежных сил [10]. Аппарат центробежной фильтрации твердых примесей из расплавленного олова представлял собой фильтр погружаемый в ванну с расплавленным металлом и выполнен в виде двух конусообразных тарелей, соединенных основаниями, а верхняя тарель снабжена заборными окнами.

Однако, марганец-мышьяковистая пена в отличие от железистых съёмов мало задерживается в фильтре из за высокой дисперсности. Для повышения эффективности использования аппарата центробежной фильтрации одновременно с отделением остаточного железа предложено [11] в металл вмешивать марганец и обрабатывать мышьяк – марганцевую пену кальцинированной содой при 320-400°C с последующей обработкой хлористым аммонием. Центробежная фильтрация мышьяк-марганцевистых съёмов показало, что выход олова в съёмы более высокий, чем при удалении мышьяка, связанным с железом.

Поэтому авторы [12] предложили в рафинируемое олово перед фильтрацией вводить железо-оловянный сплав, а затем металл обрабатывают измельченным сульфидом железа при температуре 350-450 °С. Одновременно с удалением железа из чернового олова удаляется и мышьяк на 90%. Подобно этому варианту, с целью снижения расхода марганца, предложено [13], перед центробежной фильтрацией в марганец-мышьяковую пену вводить исходное черновое олово с высоким содержанием железа и выдерживать в течение 0,5-2 ч при температуре 360-450°С для кристаллизации примесей. Однако такая кристаллизация снижает производительность рафинирования.

При остаточном содержании мышьяка 0,04-0,2% в олово вводят при температуре 340-600°С марганец-оловянную лигатуру [14] олово обрабатывают воздухом в смеси с окислителем. В качестве окислителя используют кальцинированную соду или известь в виде порошка. Однако, воздух и порошковый окислитель увеличивают долю окисленного олова, повышая выход съёмов.

Более устойчивые результаты получены по варианту [15], когда рафинируемый металл покрывают древесными опилками и вводят марганцевый сплав вначале до соотношения марганца к мышьяку 0,5-0,9, а на конечной стадии рафинирования до соотношения 1,5 – 2,0.

Получаемые марганец-мышьяковые мелкодисперсные съёмы в смеси зернистыми опилками отфильтровывались погружаемым фильтром усовершенствованной промышленной центрифугой. Центрифуга [16] для фильтрации расплава состояла из плавильной ванны, рамы и траверсы, перемещаемой по ней, ротора с фильтром, образованным двумя с конусообразными тарелями, сжатыми большими основаниями с образованием фильтрующей щели и снабжёнными заборными отверстиями, механизмом раскрытия тарелей для выброса осадка, а ротор с фильтром снабжён приводом вращения и подвешен на вертикально подвижной траверсе между стойками рамы.

Описанные источники посвящены поиску технологии рафинирования и требуют дополнительных исследований по обработке пены удаляемых примесей в съёмы для обеспечения фильтрации и снижения потерь олова.

Методика опытов

Опыты по рафинированию олова от железа и мышьяка проводили на лабораторной центрифуге с погружаемым фильтром (Рис 1).

Фильтр в виде двух конических тарелей диаметром 150мм, обращенных друг к другу основаниями с зазором 0,1-0,2мм и с образованием полости для накопления осадка. Фильтр погружался в олово, расплавленное в котле ёмкостью 10л. Фильтр в расплаве приводился во вращение двигателем постоянного тока в течение 1-5мин со скоростью 300об\мин. Периодически фильтр с кристаллами съёмов поднимали над поверхностью расплава и увеличили скорость его вращения до 1500об\мин на 20-30 сек. Происходила очистка осадка от жидкого металла. После этого останавливали вращение фильтра и верхнюю тарель освобождали и удаляли из полости фильтра съёмы для взвешивания и анализа. Цикл повторяли до полного удаления твердой фазы в расплаве, что определялось визуально по отсутствию осадка в тарелях.

**Рис. 1. Лабораторная центрифуга ЦП 100: 1-Котел 2-Верхняя тарель;
3-Нижняя тарель; 4-Фильтрующая щель; 5-заборные окна; 6-Стопор
раскрытия тарелей и разгрузки осадка из фильтра; 7-механизм подъема
фильтра; 8-двигатель вращения фильтра; 9-съемный конус сбора дроссов;
10-съемный конус сбора брызг из фильтра; 11-Уровень подъема
фильтра для раскрытия тарелей и разгрузки осадка**

Пробы анализировались на атомно-эмиссионном спектрометре с индуктивно связанной плазмой IRIS Intrepid компании INTERTECH Corporation. Образцы пористых кристаллов съёмов из фильтра с разным содержанием олова исследованы на удельную поверхность методом адсорбции аргона.

Результаты и обсуждение

На лабораторной центрифуге с погружаемым фильтром рис 1 проведены плавки по фильтрации олова с разным соотношением содержания железа и мышьяка. В таблице 1 показан состав отфильтрованных съёмов из металла с разным соотношением Fe/As. Высокий выход олова в съёмы объясняется не только связыванием его в соединения с примесями SnAs и FeSn₂, но и в виде жидкой пленки по поверхности кристаллов. Цель центробежной фильтрации полнее отделить жидкое олово, не связанное в соединения. В таблице 1 приведен расчет толщины пленки жидкого олова на кристаллах примесей на основе анализов удельной поверхности образцов съёмов по методу адсорбции аргона.

Таблица 1. Влияние удельной поверхности кристаллов съёмов

№ проб	анализ % съёмов			Fe/As mol	S, м ² /г	Вес, % кристаллов	Sn% в кристалл	Sn% металл	$\delta_{пл}$ микрон
	Fe	As	Sn						
1	13	6,8	80	2,56	0,2	53,8	34	46	0,33
2	2,43	4,28	84,6	0,76	0,2	20,1	2,39	82	0,6
3	0,1	25,8	70,3	0,005	0,37	87,3	60,9	9,4	0,04
4	0,28	0,77	89,5	0,49	0,33	3,26	0,93	89	0,39

Примечание: S- удельная поверхность образца съёмов по методу адсорбции аргона;
 $\delta_{пл}$ -толщина пленки олова, микрон

Расчеты в таблице показали, что толщина пленки жидкого олова на кристаллах отфильтрованных съёмов составляет 0,04-0,6 микрон. Перегибы на графиках рис 2 показывают, что удельная поверхность снижается, а толщина пленки сначала увеличивается, затем при соотношении (Fe/As)= 0,76 толщина пленки уменьшается.

Рис. 2. Влияние избытка железа на величину удельной поверхности кристаллов съёмов и толщины пленки олова на них

Это по-видимому объясняется тем, что при высокой концентрации железа при соотношении (Fe/As)>0,76, увеличивается доля железа связанного в более крупные соединения FeAs и в FeSn₂.

Для снижения удельного выхода олова в съемы целесообразно прекращать фильтрацию после удаления основной массы железа. Остаточное железо удалять одновременно с мышьяком, связывая его с марганцем в малорастворимое соединение MnAs. Для этого в расплавленный металл при соотношении Fe/As<0,7 загружалась марганец оловянная лигатура.

После вмешивания в олово марганец-оловянной лигатуры мышьяк взаимодействует с марганцем с образованием малорастворимого соединения MnAs по реакции:

Ничтожная толщина пленки олова на кристаллах не позволяет достаточно полно очистить съемы от олова фильтрацией. Центробежная фильтрация отделяют капли олова в слоях между частицами съёмов.

После охлаждения расплава от 550°C до 500°C в шлифе под микроскопом кристаллы FeSn₂ имеют средний размер 0,08 мм. После охлаждения расплава от

550°C до 300°C средний размер кристаллов FeSn_2 увеличивается до 0,32 мм. Это показывает, что для полноты удаления железа существенно влияет охлаждение расплава до минимальной температуры.

Суспензия мелкодисперсных кристаллов MnAs и MnSn покрыта пленкой олова и на вид представляется как пена, которая не задерживается в щели фильтра. Пена соединений мышьяка растекается по поверхности расплавленного олова с матово коричневым оттенком.

Таблица 2. Влияние окисления мышьяковистой пены в съемы перемешиванием на воздухе перед фильтрацией

№	ТоС	Исх олово		Fe/As	кг/час	Анализ съемов		Sn/(	степ.очист	
		Fe%	As%			Fe%	As%		Fe	As
1	350	0,61	1,01	0,60	11,1	6,9	6,65	5,91	96,7	56,3
2	400	0,46	0,76	0,61	8,2	6,86	6,2	5,48	81,2	44,4
3	450	0,64	1,22	0,52	45	6,36	7,85	4,68	98,1	63,5
4	450	0,79	0,96	0,82	8,4	13,7	7,1	2,84	92,2	39,3
5	500	0,64	1,18	0,54	26,1	4,74	4,94	7,11	84,8	47,9
6	550	0,39	1,63	0,24	29,6	3,29	9,43	5,91	82,1	56,3

В таблице 2 приведены опыты по окислению суспензии (пены) примесей в съемы перемешиванием черного олова на воздухе перед фильтрацией.

При окислении пена становится вязкой, расслаивается от олова, затем становится пористой и при дальнейшем перемешивании даже возгораться и превращаться в черный порошок.

Такие порошкообразные съемы заполняют фильтр тонким слоем, так как не проницаемы для циркуляции расплава. Фильтрация протекает с многократными циклами, что снижает производительность.

С увеличением длительности перемешивания увеличивается выход сухих съемов, т.е. увеличивается производительность окисления. С увеличением температуры перемешивания также увеличивается производительность окисления съемов.

Таблица 3. Ситовая характеристика образца съемов центробежной фильтрации

фракция, мм	среднее, мм	Дасчетная удельная поверхность $S, \text{см}^2/\text{г}$	доля фракции, %	Интегральное содержание, %
-0,074мм	0,05	58,0	35,3	35,3
-0,1+0,074мм	0,08	2,7	2,6	37,9
-0,14+0,1мм	0,12	12,1	17,65	55,55
-0,2+0,14мм	0,16	3,4	6,7	62,25
-0,45+0,2мм	0,35	4,0	17,2	79,45
-1+0,45мм	0,75	1,6	14,3	93,75
-2+1мм	1,5	0,15	2,65	96,4
+2мм	2,2	0,13	3,6	100

Для снижения содержания олова в съемах, т.е. уменьшения смачивания кристаллов FeSn_2 оловом суспензию кристаллов, расплав перемешивают на воздухе для окисления поверхности кристаллов.

В таблице 3 приведена ситовая характеристика съёмов после окисления на воздухе.

Состав съёмов: 7,24% As; 0,72% Fe; 9,9% Mn; 16,8% MnSn_2 ; 17,1% MnAs; 5,6% SnO_2 ; 45% $\text{Sn}_{\text{мет}}$; удельный выход олова составляет $\text{Sn}/(\text{As}+\text{Fe})=9$.

Рис. 3. Гистограмма образца окисленных съёмов

Гистограмма на рис 3 показывает, что пылевидной фракции меньше 0,1мм составляет 50% с удельной поверхностью около 73%. Поэтому производительность фильтрации съёмов занижена, а удельный выход олова в съёмы высокий.

При перемешивании черного олова в виде суспензии твердых кристаллов FeSn_2 и MnAs пленки олова на кристаллах окисляются с поверхности, становятся мало смачиваемые. Однако, выход олова зависит от степени окисления не только пленки на кристаллах но и основного металла.

Для наполнения полости фильтра кристаллами из пены в металл вместились навеска древесных опилок как зернистый материал. Металл при заданной температуре перемешивался пропеллерной мешалкой с образованием воронки, и фиксировался момент начала образования сыпучих схемов. После образования сыпучих съёмов в металл погружались тарели центрифуги и проводилось отделение съёмов. В таблице 4 приведены опыты по центробежной фильтрации олова от мышьяка после вместиливания марганцевой лигатуры и древесных опилок.

Таблица 4. Влияние расхода марганца на удаление мышьяка

№ оп	расход Mn\As	Длительность смешивания мин	скорость окисления кг\мин	выход% съёмов	анализ съёмов%		Анализ As %в металле	степень очистки%	Sn/As+Mn
					As	Mn			
1	0,25	15	0,08	3	0,51	1,1	0,05	27,8	61,1
2	0,53	13	0,07	2,37	0,47	1,92	0,05	20,3	40,8
3	1,13	23	0,04	2,1	1	2,3	0,03	41,0	29,3
4	1,82	7	0,11	2	2,18	3,02	0,01	79,3	18,2
5	2,55	7	0,29	5	1,33	2,2	0,01	86,9	27,3

Примечание: Исходная навеска металла-40кг, исходное содержание As-0,055%,

Расход опилок в 0,2кг, Температура 360°C.

Из таблицы 4 видно, что при удельном расходе марганца $Mn/As > 1,1$ резко снижается содержание As в металле после фильтрации, а при удельном расходе марганца $Mn/As > 1,7$ резко возрастает выход съёмов.

В условиях фильтрации расплава после обработки расплава с пеной древесными опилками обеспечивают накопление полости фильтра дисперсными частицами. Щель фильтра забивается обуглившимися частицами опилок, которые являются пористым фильтром для мелкодисперсных частиц. Кроме того, частицы сыпучих съёмов окислены и мало смачиваются по поверхности оловом. Окисление олова на поверхности кристаллов основано на том, что поверхностные пленки с большей скоростью окисляются, чем в объеме металла.

Вмешивание древесных опилок в металлическую пену на поверхности олова ведет к термической обработке древесных опилок с выделением влаги, смолистых веществ и окиси углерода. В результате пиролиза древесины выделяются летучие вещества. Продуктами пиролиза древесины являются в основном смола, уголь и газы с низким молекулярным весом. Также могут выделяться значительные количества окиси и двуокиси углерода.

Выход летучих веществ из древесины начинается при температуре 200°C, причем скорость их выделения увеличивается с повышением температуры. Сначала происходит разложение целлюлозы, а полное выделение большинства летучих веществ происходит при температуре 400°C [17].

Образующиеся при этом микропоры размером 2-50 нм соизмеримы с размерами адсорбирующихся молекул примесей [18]. С другой стороны выделяющиеся газы при термической обработке древесных опилок создают умеренно окисленную среду. Образцы съёмов после фильтрации при 350°C, содержащие 6,8%As, 13%Mn, 80%Sn, в том числе 4,4%SnO₂, имели удельную поверхность 0,2 м²/г, определенную методом адсорбции аргона.

Таблица 5. Результаты промышленных плавов фильтрации олова от мышьяка

	исходный Sn		Мышьяковистые съёмы				Выход%	Sn/
	Fe,%	As,%	%Sn	%Fe	%As		съёмов	Fe+As
Плавка								
1-9	0,33	1,64	66,1	4,7	20,6	22,9	6,9	2,6
1-11	0,26	1,06	70,3	4,1	12,7	15,8	6,1	4,2
1-12	0,17	0,96	71,0	3,3	13,8	19,6	4,8	4,1
1-28	0,2	1,3	68,6	2,4	14,3	16,6	7,9	4,1
1-2	0,25	1,13	64,7	3,4	12,3	15,0	7,0	4,1
1-3	0,27	1,58	69,3	3,5	17,8	20,9	7,5	3,3
1-40	0,14	2,73	65,0	0,7	12,9	15,9	19,5	4,8
1-43	0,05	4,1	65,5	0,2	18,5	23,2	21,0	3,5
2-5	0,74	3,65	57,4	4,1	19,4	19,6	17,8	2,4
1-27	0,45	1,07	67,5	5,8	10,9	9,8	7,6	4,0
1-1	0,18	2,55	65,9	1,4	18,9	23,3	12,2	3,2

Расчеты по этим данным показывают, что с 6,8% мышьяка связано 5% марганца. Остальной избыток марганца связан с 34,6% олова. Свободного олова на кристаллах съёмов остается по разности с анализом 45,4%. При среднем размере кристаллов 0,38 микрона при указанной удельной поверхности толщина пленки по расчету составит 0,33 микрона, в том числе толщина пленки окиси олова 0,03 микрона. В общем виде максимальная степень очистки и минимальный удельный выход олова в съемы достигается при нагреве металл до 450°C с последующим охлаждением и фильтрацией при 300°C.

В таблице 5 приведены результаты промышленных плавок фильтрации олова от мышьяка погружаемым центробежным фильтром.

Средний статистический состав отфильтрованных съёмов 3,1% Fe; 15,6% As; 18,4% Mn; 62,9% Sn; удельный выход олова в съемы на единицу удаленных примесей $Sn/(Fe+As)=3,5$. Эти результаты в целом подтверждают проведенные опыты.

Выводы: Анализ известных способов обработки мышьяк содержащих металлических пен выявил оптимальный вариант окисления. Исследование расхода марганца с введением его в олово с остаточным содержанием железа и после обработки пены древесными опилками при температуре 250-350°C обеспечивает получение зернистых съёмов для удаления из расплавленного олова центробежной фильтрацией погружаемым фильтром. Показаны оптимальные условия снижения удельного выхода олова в съемы.

Список используемых источников:

1. Мурач Н.Н., Севрюков Н.Н., Полькин С.И., Быков Ю.А- *Металлургия олова*, М, Metallurgizdat, 1964, 351.
2. Авт.св.СССР № 588762 Способ рафинирования олова от сурьмы и мышьяка- Дьяков В.Е., Лелюк В.Г., Корюкова Л.М., Степанов Г.И.; опуб Б.И., 1986, № 21.
3. Авт.св.СССР 921263, Способ рафинирования олова от примесей. Дьяков В.Е., Семенов А.Е., Соловьев Б.А., Селиванов И. М., Дутельный А.П., Зыкус М.Ю., Никитина В.Д., Галкин Е.А.; опубл.Б.И., 1986, № 21. с. 260.
4. Авт.св.СССР 784364 Способ рафинирования олова от примесей. Сутурин С.Н., Корюков Ю.С, Дьяков В.Е, Ду гельный А.П., опубл. Б.И: № 21-86.
5. Авт.св.СССР 840176, Способ переработки оловянных материалов. Дьяков В.Е. Сутурин С.Н., Долгов В., Черкасский Р.И., Климентов Б.В., Кувшинов В.А., Литовченко А.П., Кашарнов Н.П., Садыков З.Г., Сулаков В.П, опуб Би23-81-112.
6. Богданов В.А., Дьяков В.Е. Роднин Ю.Р. Об образовании мышьяковистого водорода в оловянном производстве и мероприятия по предотвращению его выделения. // Науч труды ЦНИИ Олово №1, 1973, с72-74
7. Пат Австралии 523907, Metod for removing arsenic from tin, Suturin S.N. Dyakov V.E. Dugelni A.P., Korukov J.S. Dvurechenskaya E.D. Semenov A.E. Leljuk V.G. Stepanov G.I. Kozhnova R.V. 21,02,83
8. Авт.св.СССР 479810 Аппарат для вмешивания в расплав цветных металлов, Сутурин С.Н, Долгов А.В., Дьяков В.е., Двуреченская Е.Д, Корюков Ю.С., Семенов А.е., Степанов Г.И., опуб БИ 29-75-86.
9. Мурач Н.Н. Некоторые вопросы теории и практики огневого рафинирования олова \ Журн. прикл. химии 1954, т32, №3, с556-563.
10. Pat GB (Англия) 1385799- Metod and apparatus to refine melt from solid impurities, Dolgov A.V., Dyakov V.E., Suturin S.N, Bauer E.T., Deev S.L., Semenov A.E., Perkis L.V., Konovalov L.V. 26,02,75.
11. Авт.св.СССР 923197, Аппарат центробежной фильтрации расплава от твердых примесей, Сутурин С.Н., Семенов А.Е., Бауэр Е.Т., Дьяков В.Е., Корюков Ю.С, опуб. Би №34-1996 с-251.
12. Авт.св.СССР 647942, Способ рафинирования олова от примесей, Дьяков В.Е., Ю.С. Корюков, С.Н. Сутурин, Е.Д. Двуреченская, В.Г. Лелюк, опуб №7-2012-380.
13. Авт.св.СССР 936630, Способ рафинирования олова от мышьяка: Сутурин С.Н., Дьяков В.Е., Корюков Ю.С., Семенов А.Е., Дугельный А.П., Двуреченская Е.Д., Степанов Г.И., Опуб №31-2011 с1126.

14. Авт.св.СССР 671410, Способ рафинирования олова от мышьяка, Сутурин С.Н., Корюков Ю.С., Дьяков В.Е., Дзуреченская Е.Д., Дугельный А.П., Лелюк В.Г., Оpub. №31-2011с.1128.
15. Авт.св.СССР 611539, Способ рафинирования олова от мышьяка, -Сутурин С.Н., Корюков Ю.С., Дьяков В.Е., Дзуреченская Е.Д., Семенов А.Е., Лелюк В.Г., Степанов Г.И Оpub №37-1992-с227
16. Пат РФ2075527, Центрифуга для фильтрации расплава, Дьяков-В.Е. Оpub БИН № 8-1997-с183.
17. Кислицин А.Н. Пиролиз древесины: химизм, кинетика, продукты, новые процессы. М.: Лесная промышленность, 1990. 311с.
18. Дубинин М.М. Пористая структура активных углей и кинетика адсорбции // сб «Углеродистые адсорбенты и их получение в промышленности, Наука, 1983, с116-125.

© 2016, Дьяков В.Е.

Окисление металлической пены на поверхности при центробежной фильтрации расплавленного олова

© 2016, Dyakov V.E.

Oxidation of the metal foam on the surface when the centrifugal filtration of molten tin