

3. Электронный ресурс: <http://7universum.com/ru/nature/archive/item/7486>
4. Электронный ресурс: <http://biznesprost.com/otkryt-biznes/pererabotka-shin.html>
5. Sadhan K. De and Jim R. White «Rubber Technologists Handbook» 2011. P. 559.
6. Sh.T. Juraev, A.S. Ibodullaev, B.F. Mukhiddinov. Investigation of The Properties Of Rubber Compositions Filled With Carbon Material// International Journal of Recent Advancement in Engineering & Research. Volume 04, Issue 04; April – 2018.
7. Ибодуллаев А.С., Тешабаева Э.У., Сейдабдуллаев Я.О., Исследования углеродистого материала и его влияние на свойства кабельных резин // Журнал «Композиционные материалы» - Ташкент, - 2015. - №3. - С.25-28.
8. Babayevskiy P.G. Practical work on Polymer materials [Text]/ ed.P.G.Babayevskiy.-M..Chemistry. 1980.-256 p.
9. Уральский М.Л., Горелик Р.А., Буканов А.М. Контроль и регулирование технологических свойств резиновых смесей.-М.: Химия, 1983.-126 с.
10. Востракнутов Е.Г., Новиков М.И., Новиков В.И., Прозоровская Н.Я. Переработка каучуков и резиновых смесей (реологические основы, технология, оборудование).- М.: Химия, 1980. - 280 с.
11. Рентгонофазный анализ методом Риевельда производится на программном обеспечении “Profex-Open source XRD and Reitveld Refinement”, Dobelin, N Kleeberg, R., “Profex : a graphical user interface for the Rietveld refinement program BGMN”, Journal of Applied Crystallography 48 (2015), 1573-1580.

ИССЛЕДОВАНИЯ ХЛОРИДНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ ЗОЛОТОСОДЕРЖАЩЕЙ МАГНИТНОЙ ФРАКЦИИ

DOI: [10.31618/ESU.2413-9335.2020.2.72.623](https://doi.org/10.31618/ESU.2413-9335.2020.2.72.623)

Хужакулов Н.Б.

доцент кафедры «Металлургия»

Навоийского государственного горного института,

г.Навои, Узбекистан,

Пулатова Ш.Б.

магистрант кафедры «Металлургия»

Навоийского государственного горного института,

г.Навои, Узбекистан

Бозоров М.Ф.

студент кафедры «Металлургия»

Навоийского государственного горного института,

г.Навои, Узбекистан

RESEARCH OF CHLORIDE TECHNOLOGY FOR PROCESSING GOLD-CONTAINING MAGNETIC FRACTION

Khuzhakulov N.B.

Associate Professor, Department of Metallurgy,

Navoi State Mining Institute,

Navoi, Uzbekistan

Pulatova Sh.B.

master student of the "Metallurgy" department

of the Navoi State Mining Institute,

Navoi, Uzbekistan

Bozorov M.F.

bachelor student of the "Metallurgy" department

of the Navoi State Mining Institute,

Navoi, Uzbekistan

АННОТАЦИЯ

В данной статье приведены результаты исследования хлоридной технологии переработки золотосодержащей магнитной фракции. Изучен вещественный состав исходного сырья, из которого следует, что среднее содержание общего железа в МФ составляет 75,5 %, содержание золота колеблется от 9 до 15 г/т.

ANNOTATION

This article presents the results of a study of the chloride technology for processing a gold-containing magnetic fraction. The material composition of the feedstock has been studied, from which it follows that the average total iron content in MF is 75.5%, and the gold content ranges from 9 to 15 g / t.

Ключевые слова: хлоридовозгонка, гидрохлорирование, магнитная фракция, рентабельность, хлорирующий обжиг, хлоринатор

Key words: chloride sublimation, hydrochlorination, magnetic fraction, profitability, chlorine firing, chlorinator

Магнитная фракция (МФ) – продукт, который получается в процессе измельчения золотосодержащей руды за счет истирания металлических шаров, отделяемый магнитной сепарацией.

На основании литературных данных, анализа МФ и предварительных опытов по извлечению благородных металлов из МФ исследования проводились по двум наиболее приемлемым способам переработки МФ – это гидрохлорирование и хлоридовозгонка.

Изучено влияние концентраций NaCl и NaClO и продолжительности процесса на степень извлечения золота при гидрохлорировании золота из МФ. Выявлено негативное влияние железа на селективность выделения золота из МФ в процессе гидрохлорирования, выраженное обратным восстановлением золота из раствора железом, перешедшим в раствор, что приводит к снижению извлечения золота. Степень перехода золота в раствор составила 65 % при этом серебро не растворяется и остается в кеке, на его извлечение необходимо дополнительно разрабатывать технологический процесс.

В связи с нерентабельностью извлечения золота процессом гидрохлорирования дальнейшие исследования проводились хлоридовозгонкой МФ.

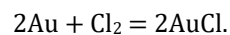
Одним из наиболее перспективных направлений развития и коренного совершенствования металлургии цветных и благородных металлов, активно разрабатываемых в последнее время и способных решить задачу эффективной переработки различных видов сырья, является хлоридовозгоночный обжиг. Эффективность и перспективность этого метода как средства извлечения ценных элементов из бедных, труднообогатимых, особо упорных руд, промпродуктов обогащения, вторичного сырья и др. показана целым рядом исследований и процессов [1].

Сущность хлоридовозгоночного обжига заключается в образовании и отгонке в газовую фазу летучих хлоридов извлекаемых металлов, при взаимодействии содержащихся в сырье различных соединений последних с хлоринатором. При этом происходит превращение всех соединений извлекаемых металлов в один класс хлоридов, обладающих высоким давлением паров при температурах 600-1100 °С, что позволяет осуществлять процесс без расплавления всей массы

перерабатываемого сырья. Извлечение металлов из хлоридов после их конденсации производится известными, освоенными промышленностью методами. Хлоридовозгоночный обжиг основан на избирательном хлорировании соединений цветных металлов с оставлением железа и вмещающих пород сырья в исходном состоянии и селективной отгонке хлоридов извлекаемых металлов. Определяющими параметрами являются свойства хлоридов, состав газовой фазы и температура обжига.

Хлорирование проводится или с помощью газообразного хлора, или хлоринаторов, в качестве которых используются различные хлориды – поваренная соль, карналлит, сильвинит, хлористый кальций и другие, а также пары соляной кислоты.

Хлоридовозгонка [2], так же как и окислительно-хлорирующий обжиг, заключается в том, что золотосодержащий продукт смешивают с хлористым натрием (или кальцием) и обжигают в окислительной атмосфере. Однако в отличие от окислительно-хлорирующего обжига, хлоридовозгонка предусматривает полный перевод металлического золота в летучий хлорид AuCl и последующее улавливание его из газов в виде продукта, весьма концентрированного по металлу. Такой эффект достигается лишь при высокой температуре, примерно 900 - 1100 °С. Образующийся по приведенным выше реакциям хлор вступает во взаимодействие с золотом, давая летучий AuCl:



В присутствии порообразующих минералов образование AuCl возможно и без участия сернистых соединений: $2\text{Au} + 2\text{NaCl} + 0,5\text{O}_2 + \text{SiO}_2 = 2\text{AuCl} + \text{Na}_2\text{SiO}_3$.

Одновременно с золотом хлорируются и переходят в газовую фазу серебро и цветные металлы. Хлоридовозгонка может осуществляться в трубчатых вращающихся печах, шахтных печах (после окомкования материала), печах кипящего слоя.

Исследования проводились в лабораторном масштабе на порошкообразных и гранулированных материалах, основным критерием степени протекания процесса служило остаточное содержание металла в огарках (рис. 1).

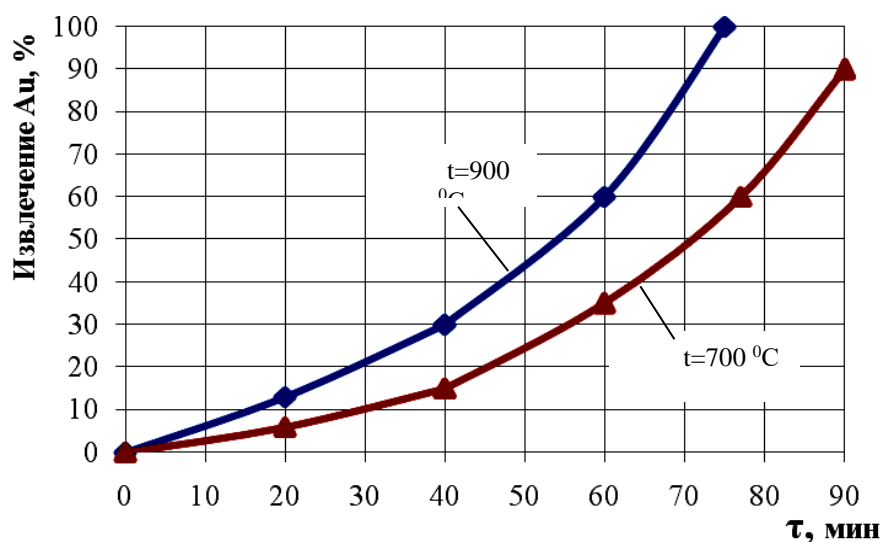


Рис. 1. Зависимость остаточного содержания Au в огарке при хлоридовозгонке от времени

Из полученной зависимости видно, что содержание Au в огарке уменьшается по мере повышения температуры и продолжительности процесса, так при $t=900\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $\tau=80$ мин. содержание Au в огарке близко к десятым процентам.

Наиболее часто в качестве хлоринатора применялся Cl_2 (рис. 2). Исследована кинетика процесса при использовании Cl_2 , HCl с воздухом и NaCl .

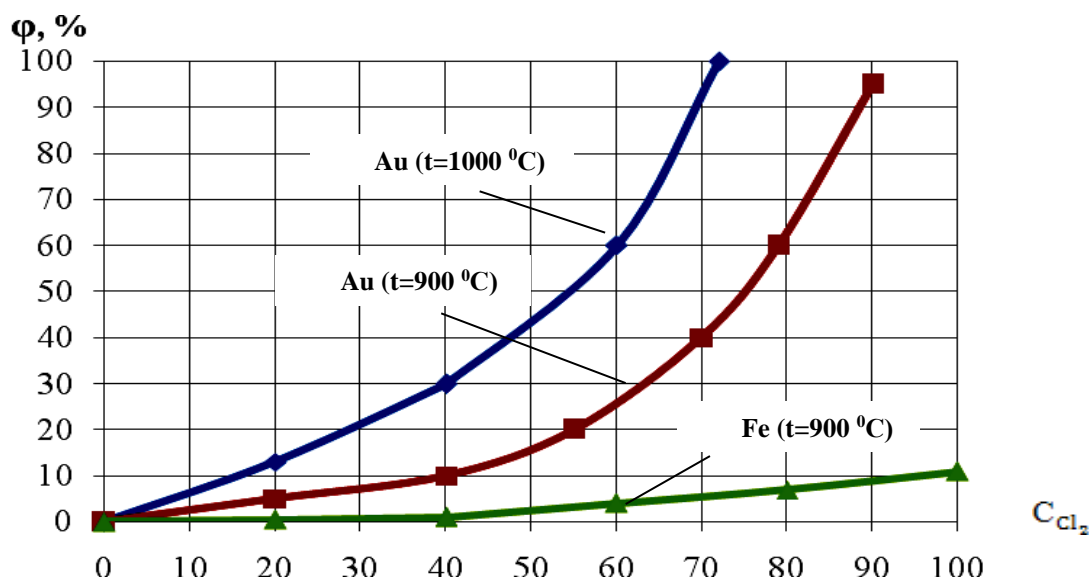


Рис. 2. Зависимость извлечения Au и Fe в газовую фазу от концентрации Cl_2

При температурах 900-1000 $^{\circ}\text{C}$ номинальной концентрацией Cl_2 для извлечения Au является 70-80 %, при концентрации Cl_2 -100 % степень извлечения Fe в газовую фазу составляет 10 %.

Анализ полученных результатов показал, что наиболее полное извлечение Au (98,8 %) достигается при осуществлении процесса в следующем режиме: $t=1000\text{ }^{\circ}\text{C}$, концентрация $\text{Cl}_2=72\text{ }%$, продолжительность процесса- 1,5 ч.

Переход Fe в газовую фазу составляет всего лишь – 10 %.

Тип хлоринатора оказывает существенное влияние на показатели процесса, его протекание и способ осуществления. Выбор хлорирующего агента определяется его химической активностью, физическими и эксплуатационными свойствами, стоимостью, способом осуществления обжига и регенерации хлоринатора, возможностями поставки. Наиболее часто, особенно на начальной

стадии исследования и разработки процессов хлорной металлургии цветных металлов, использовали хлор и хлориды щелочных металлов. Применение Cl_2 обусловлено большой реакционной способностью, широкой распространенностью как реагента в ряде металлургических производств и возможностью изучать собственно реакцию хлорирования металлов и их соединений, не осложненную побочными процессами. Твердые хлоринаторы отличаются доступностью, простотой

эксплуатации, низкой ценой, хорошими вяжущими свойствами (что весьма существенно в процессах с грануляцией сырья) и возможностью относительно глубокой регенерации. Наиболее широко применяются хлориды Ca, Na, K в виде чистых солей и природных соединений, а также NH_4Cl , FeCl_3 и др. По убывающей активности, наиболее широко применяемые хлоринаторы образуют ряд: Cl_2 , HCl (при температурах более 800°C их активность практически одинакова), NH_4Cl , CaCl_2 , NaCl, KCl, MgCl_2 (рис. 3).

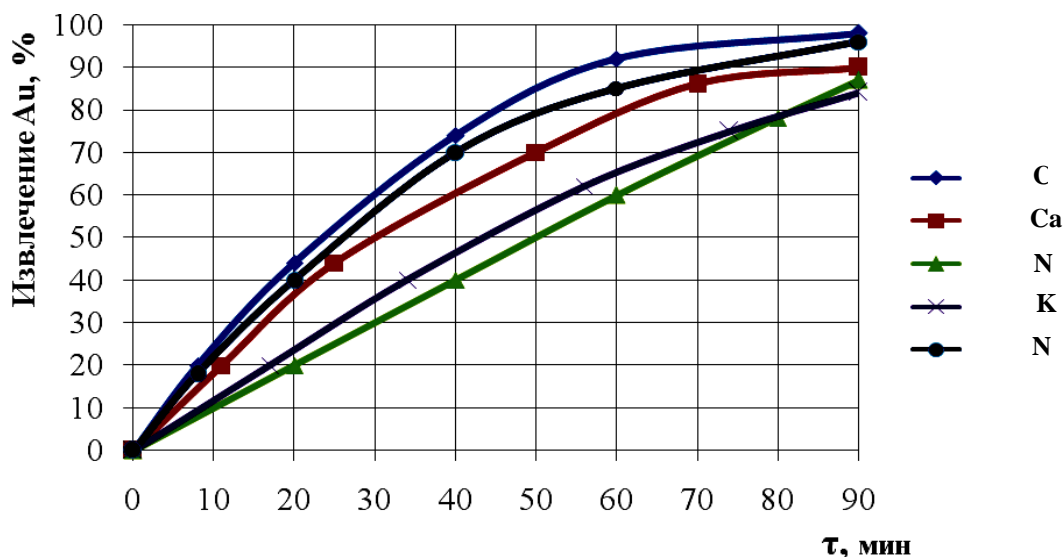


Рис. 3. Зависимость степени извлечения золота из МФ от времени хлоридовозгонки различными хлоринаторами, при 1050°C

Применение Cl_2 и HCl в процессе хлоридовозгоночного обжига, возможно, при любом способе его осуществления без ограничения содержания извлекаемых металлов в перерабатываемом сырье. Твердые хлоринаторы (CaCl_2 , NaCl) могут быть использованы в основном для хлоридовозгоночного обжига относительно бедного по содержанию благородных металлов

сырья (рис. 4) при осуществлении процесса в аппаратах с активным перемешиванием перерабатываемых материалов (печах кипящего слоя, трубчатых печах и др.).

В результате исследований установлено действие различных хлоринаторов на извлечение Au в процессе хлоридовозгонки (табл. 1).

Таблица 1

Хлоридовозгонка золотосодержащей МФ различными хлоринаторами

Хлорирующий агент	Содержание Au в исходном сырье, г/т	Основные режимные параметры				Результаты хлоридовозгонки	
		расход хлорагента, % (Cl_2 , кг/т)	t, $^\circ\text{C}$	τ , ч	расход воздуха или соотношение хлора и воздуха	содержание Au в остатке, г/т	извлечение Au, %
NaCl	20	5	1020-1050	3	7	0,25	91,5
CaCl_2	20	5	1020-1050	3	7	0,3	94,1
$\text{NaCl}+\text{CaCl}_2$	20	2,5 + 2,5	1020-1050	3	7	0,2	99,0
Cl_2	20	50	950-1050	2	1:40	0,25	97,2

* Избыток воздуха необходимого на реакцию разложения хлоридов натрия и кальция.

Таким образом, извлечение Au зависит от типа хлорирующего агента. Наибольшее извлечение Au достигается при применении смеси $\text{NaCl}+\text{CaCl}_2$.

Исследования сравнительной активности HCl и хлоридов Na, Ca проводили на лабораторной установке периодического действия. В качестве объектов исследования применяли:

золотосодержащую МФ <0,16 мм, NaCl и CaCl₂ марки ЧДА и HCl марки ОСЧ из баллонов. Эксперименты проводили в два этапа: на первом исследовали эффективность применения NaCl и CaCl₂ для хлоридовозгоночного обжига, на втором HCl. Режим обжига на основании предварительных опытов был принят следующий: температура для твердых хлоридов 1040-1050 °С, для HCl-940-960 °С; сухое дутье состава 95 % N₂ и 5 % O₂, расход NaCl и CaCl₂ - 15% от веса сырья; расход HCl-0,65 л/мин; навеска огарка -200 г; производительность по огарку - 300 г/час, среднее время пребывания

материала в слое - 20-25 мин; расход хлоринатора-15 % от веса сырья. Соотношение NaCl и CaCl₂ в хлорирующем агенте варьировали в ходе исследований от 100 % NaCl до 100 % CaCl₂.

Реакционную способность хлоринатора оценивали по остаточному содержанию золота и серебра в огарке и, соответственно, степени отгонки металлов в газовую фазу. Результаты исследований активности хлоридов на степень извлечения Au и Ag в зависимости от размера частиц приведены в таблице 2.

Таблица 2

Влияние типа хлоринатора на степень хлоридовозгонки Au и Ag от размера частиц

Тип хлоринатора	Температура хлоридовозгонки, °С	Коэффициент избытка хлоринатора	Размер частиц МФ, мм					
			0,16-0,1		0,1-0,04		-0,04	
			Степень отгонки, %					
			Au	Ag	Au	Ag	Au	Ag
NaCl + CaCl ₂	1050	2	91	90	84	80	81,9	84
NaCl	1050	2	83	84	65	68	65	65
CaCl ₂	1050	2	87,5	86	81,5	82	80,8	82,3
HCl	950	2	90	88	83	81	81,5	83

С ростом содержания NaCl в хлорирующем агенте полнота отгонки Au и Ag падает, особенно из мелких частиц. Так отгонка Au из частиц размером 0,1-0,16 мм снижается ~ в 1,45 раза, а из частиц ≤ 0,074 мм - в 1,7÷1,8 раза. Это можно объяснить существенно меньшим по сравнению с другими временами пребывания этих частиц HCl является более эффективным хлоринатором в нейтральной среде в окислительной. Процесс устойчиво протекает при температуре 950 °С. Повышение избытка HCl с 1,1 до 1,5 существенно в окислительной среде для всех исследованных металлов и менее значимо в нейтральной. Сопоставление данных по влиянию типа хлоринатора на извлечение благородных металлов при хлоридовозгоночном обжиге показывает, что в

аналогичных условиях NaCl является наименее активным хлоринатором. Степень отгонки благородных металлов при применении CaCl₂ значительно выше и меньше зависит от размера частиц и времени пребывания их в зоне обжига, чем для NaCl. HCl обеспечивает при том же коэффициенте избытка более высокую степень извлечения из частиц всех размеров, чем CaCl₂. Полученные результаты могут быть объяснены, как одной из причин, недостаточной скоростью разложения твердых хлоридов и, соответственно, более низкой концентрацией хлорирующего агента в газовой фазе, что особенно сильно проявляется при малой продолжительности обжига (рис.4).

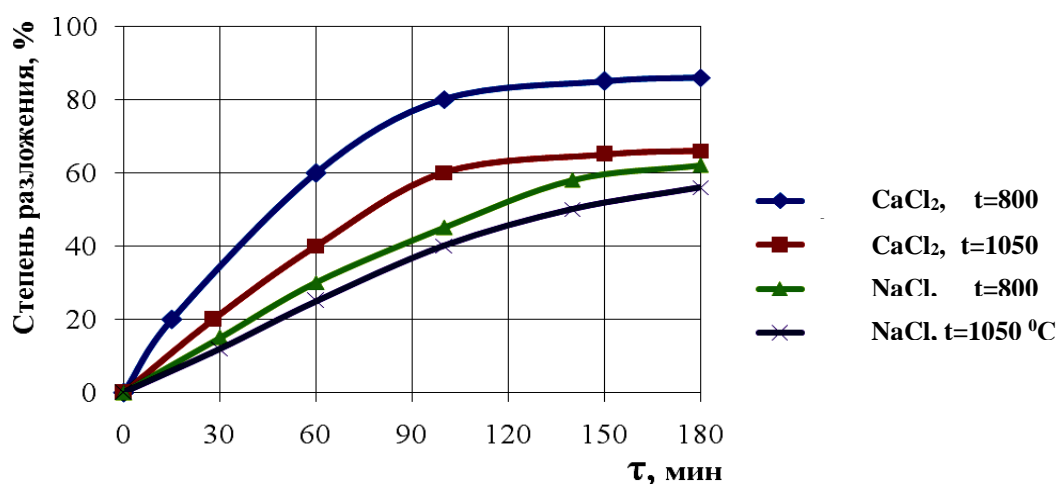


Рис. 4. Зависимость степени разложения хлоринатора от времени хлоридовозгоночного обжига

Применение хлоридовозгонки в трубчатой вращающейся печи несколько повысило степень разложения этих хлоридов вследствие улучшения гидродинамической обстановки процесса сравнительно с осуществлением его в неподвижном слое (в лодочке, в частности). Степень разложения, рассчитанная по остаточному содержанию хлоридов *Ca* и *Na* в огарках после обжига, составила: для $CaCl_2$ - 80-90% вместо 65-67%, полученных при более жестких условиях (температура 1050 °С продолжительность обжига - 2 часа); для $NaCl$ - 60-70% вместо 55-59% (при содержании в газовой фазе до 10% сернистого газа).

Полученные данные о большей эффективности $CaCl_2$ (по сравнению с $NaCl$) как хлоридатора в процессе хлоридовозгоночного обжига хорошо согласуются с **литературными данными**. Аналогичные результаты **по расходу твердых** хлоридаторов и их активности были получены на полупромышленной установке.

Результаты исследований показали целесообразность проведения дальнейших

лабораторных и укрупненно-лабораторных исследований хлоридовозгоночного обжига с применением в качестве хлоридатора $NaCl + CaCl_2$ и необходимость специального изучения поведения смеси при осуществлении процесса в трубчатой печи.

Проведенные лабораторные исследования показали, что методом хлоридовозгоночного обжига можно выделить благородные металлы из МФ. Извлечение золота в возгоны при хлорирующем обжиге достигает 97,6 %, при этом основная часть железа и других компонентов остается в огарке.

Литература:

1. Котляр Ю.А., Меретуков М.А., Стрижко Л.С. *Металлургия благородных металлов* //М.: МИСиС. 2005 г., Кн. 1. 431 с., Кн. 2. 391 с.
2. Зырянов М.Н, Леонов С.Б. *Хлоридная металлургия золота* //М.: СП Интермет Инжиниринг. 1997 г., 288 с.