

ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРОМЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО СПОСОБА ПЕРЕРАБОТКИ МАГНИТНОЙ ФРАКЦИИ ФАЙНШТЕЙНА

Титова А.Н.¹, Косицкая Т.Ю.¹

¹ООО «НИЦ «Гидрометаллургия», г. Санкт-Петербург, Российская Федерация
titova-an@gidrometall.ru

Введение

Магнитная фракция является одной из составляющих фاینштейнов, образующихся при пирометаллургической переработке сульфидного медно-никелевого сырья. Данный промпродукт формируется из расплава при его охлаждении/затвердевании и коллектирует в себе до 90 % благородных металлов, среди которых первостепенное значение имеют металлы платиновой группы (МПГ). Относительно высокое содержание драгоценных металлов делает особенно актуальным поиск путей снижения потерь этих металлов, а также уменьшение объемов незавершенного производства. Одним из таких направлений является вывод из пирометаллургического передела магнитной фракции (МФ) фاینштейна и переработка её в отдельном гидрометаллургическом цикле.

Специалистами НИЦ «Гидрометаллургия» была предложена технология переработки МФ, состоящая из двух основных операций. В результате образуется конечный продукт – концентрат, содержащий 20–30 % суммы благородных металлов, пригодный для последующего аффинажа. Предложенная технология предусматривает проведение процесса в мягких условиях и использование стандартного оборудования. Она реализуется в сульфатных растворах и

не требует применения дорогих или дефицитных реагентов.

Исходные материалы

Для проведения исследований была использована проба магнитной фракции фاینштейна, химический состав и физические свойства которой приведены в таблицах. Исследуемая проба отличается невысоким содержанием меди и весьма высокой концентрацией серы – 15 %. Это означает, что для данного промпродукта характерно низкое содержание металлических компонентов и относительно высокое – сульфидов. Последнее обстоятельство обуславливает определённую упорность данного материала к выщелачиванию в атмосферных условиях. Обычно концентрация серы в МФ не превышает 10 %, и Таблица 2 соответственно.

Исследуемая проба отличается невысоким содержанием меди и весьма высокой концентрацией серы – 15 %. Это означает, что для данного промпродукта характерно низкое содержание металлических компонентов и относительно высокое – сульфидов. Последнее обстоятельство обуславливает определённую упорность данного материала к выщелачиванию в атмосферных условиях. Обычно концентрация серы в МФ не превышает 10 %.

Таблица 1 – Результаты химического анализа магнитной фракции

Компонент	Ед. измерения	Содержание
Ni	%	60,2
Cu	%	12,2
Co	%	1,96
Fe	%	9,46
S	%	15,0
Pt	г/т	190
Pd	г/т	876
Rh	г/т	22,6
Ru	г/т	6,01
Ir	г/т	2,79
Au	г/т	23,1
Ag	г/т	100
Os	г/т	0,8
Σ БМ	%	0,122

Таблица 2 – Физические свойства и гранулометрический состав магнитной фракции

D (г/см ³)	W (%)	P(45) (%)	P(71) (%)
5,75	7,44	53,2	31,0

Примечание: D – плотность (г/см³);
W – влажность (%);
P(N) – содержание класса частиц N мкм (%)

В сульфидной части МФ присутствуют аналоги природных материалов: хизлевудит, халькозин-борнит, кобальт-пентландит.

Идентификация форм нахождения платиновых металлов затруднена малым их содержанием в исходной МФ. Определённая информация получена только для платины и в меньшей мере для палладия. Установлено, что оба металла присутствуют, главным образом, в металлической фазе.

Атмосферное окислительное выщелачивание магнитной фракции

Было исследовано влияние исходной крупности на основные показатели процесса. В качестве базовых параметров на первом этапе были приняты: исходная кислотность 150 г/дм³ продолжительность 6 часов. Во всех сериях опытов постоянными были: Ж:Т = 7; температура 85 °С; расход кислорода 3 дм³/мин; содержание в исходном растворе (г/дм³): Ni – 15; Cu – 15. Одна из навесок была предварительно измельчена в планетарной мельнице в течение 5 мин; другую навеску обрабатывали без измельчения. Содержание класса + 71 мкм составило 31 % в навеске без измельчения и 14,8 % – после измельчения. Результаты опытов показали, что доизмельчение магнитной фракции не оказывает существенного влияния на показатели процесса атмосферного выщелачивания.

Исследование влияния кислотности пульпы на показатели атмосферного выщелачивания осуществляли при начальной концентрации H₂SO₄: 150 и 180 г/дм³. По данным [1] скорость перехода никеля из МФ в раствор не зависит от начальной концентрации H₂SO₄. Однако для достижения приемлемой степени растворения цветных металлов и железа начальная концентрация серной кислоты должна быть не менее 150 г/дм³ (для отношения Ж:Т = 7). Увеличение исходной кислотности до 180 г/дм³ отразилось прежде всего на конечной концентрации серной кислоты в растворе: она возросла в 2,5 раза. При этом выход кека уменьшился на 4 %. Последнее объясняется существенным увеличением степени разложения медных минералов: извлечение меди в раствор увеличилось с 60 до 95 %. В составе кека также при-

сутствует элементарная медь, что следует признать нежелательным явлением, поскольку это негативно сказывается на последующей операции – автоклавном окислении остатка атмосферного процесса. На поведение никеля, железа, платины, палладия кислотность практически не оказывает влияния, извлечение компонентов находится на уровне 75, 90, 0,1 и 0,1 % соответственно. Что касается металлов-спутников платины (МСП), то просматривается некоторая тенденция снижения перехода в раствор Rh (с 13 до 9 %), Ru (с 41 до 38 %) и Ir (с 7 до 3 %) при увеличении исходной кислотности, но по совокупности показателей с различной кислотностью при атмосферном выщелачивании предпочтение следует отдавать процессу с относительно низкой концентрацией H_2SO_4 (150 г/дм³), соответствующей расходу кислоты около 1 т/т МФ.

Для оценки продолжительности процесса была проведена серия опытов, где длительность атмосферной стадии изменяли в диапазоне от 0,7 до 12 часов. Во всех экспериментах содержание Pt, Pd и Au было весьма мало и соответствовало их извлечению в раствор менее 0,1 %. Поэтому при обсуждении результатов данной серии из платиноидов рассматривается только поведение МСП: Rh, Ru и Ir.

Согласно рисунку Рисунок 1 – Результаты экспериментов по определению необходимой продолжительности процесса атмосферного выщелачивания МФ, основные превращения при атмосферном процессе происходят в первые 2–4 часа. За 4 часа масса твёрдого сокращается в ~ 2,5 раза. Никель переходит в раствор на 65–70 %, железо – на 85 %. Поведение меди отличается от остальных металлов. В течение первого часа она в

раствор не переходит. Более того, в этот период наблюдается практически полное осаждение меди из исходного раствора. Вероятно, это вызвано её цементацией металлической фазой магнитной фракции. Кроме того, осаждение меди в виде сульфида из раствора происходит за счёт её реакции с сероводородом, выделяющимся при взаимодействии наиболее активных сульфидов железа с серной кислотой. В течение первых 40 мин МСП в раствор почти не переходят. По истечении 2 часов родий растворяется на 11 %, рутений на 46 % иридий на 6,5 %. В дальнейшем при увеличении времени атмосферного выщелачивания вплоть до 12 часов эти показатели существенно не изменяются.

Снижение продолжительности атмосферного процесса менее 4 часов сопровождается увеличением конечной кислотности раствора, что снижает степень использования H_2SO_4 . В то же время в опытах продолжительностью 2–4 часа достигаются удовлетворительные и примерно одинаковые показатели по извлечению в раствор как базовых металлов (Ni, Fe), так и платиноидов. Дополнительные исследования показали, что лучшие результаты соответствуют продолжительности атмосферного процесса 2-4 часа при исходной концентрации H_2SO_4 140 г/дм³.

Автоклавное окислительное выщелачивание магнитной фракции

На первом этапе автоклавных экспериментов было изучено влияние концентрации серной кислоты на показатели данного процесса. Количество кислоты, подаваемое при автоклавном окислительном выщелачивании (АОВ), варьировали на 3-х уровнях, которые

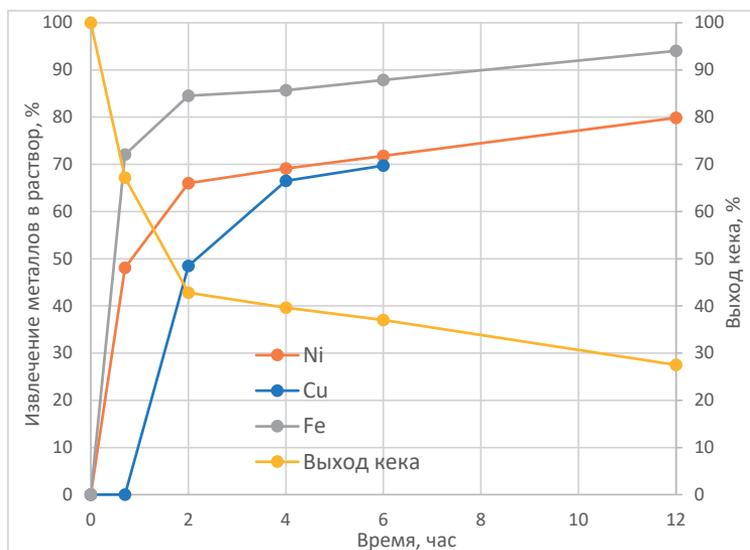


Рисунок 1 – Результаты экспериментов по определению необходимой продолжительности процесса атмосферного выщелачивания МФ

соответствовали начальной концентрации H_2SO_4 в растворе: 20, 40 и 80 г/дм³. Все опыты серии проведены при Ж:Т = 9, температуре 140 °С и давлении кислорода 0,25 МПа. При оценке эффективности автоклавного процесса ориентировались прежде всего на выход конечного кека. Лучшие результаты по выходу кека (0,9 %) получены в опыте с максимальной исходной кислотностью 80 г/дм³. Кислотность раствора не уменьшается, а даже наоборот увеличивается на 8 г/дм³. Таким образом, серная кислота выступает в роли катализатора, ускоряя процесс окисления сульфидов, сама при этом не расходуясь. Возрастание концентрации H_2SO_4 по ходу процесса видимо связано с окислением элементарной серы, имеющейся в кеке атмосферного выщелачивания, и с образованием полидимита (Ni_3S_4). В исследованных условиях АОВ платина и палладий в раствор практически не переходят, их концентрация ниже предела обнаружения. При исходной концентрации кислоты в растворе 40 и 80 г/дм³ извлечение металлов-спутников следующее: Ru 8,8 %, Rh и Ir не более 1

%. Таким образом, исходная кислотность 80 г/дм³ обеспечивает лучшие результаты автоклавного окислительного выщелачивания; никель, медь и железо при этом извлекаются приблизительно на 96-98 %.

Изучение влияния температуры осуществляли также на 3-х уровнях: 140, 160 и 180 °С, ориентируясь на результаты, полученные в предыдущих работах [2, 3]. Повышение температуры АОВ оказывает существенное влияние как на скорость, так и на полноту протекания процесса, в первую очередь – на выход кека, который при 180 °С составляет 0,5-1,0 % от массы загруженного материала. Максимальной температуре окисления соответствует и максимальное извлечение металлов в раствор. Для цветных металлов и железа оно превышает 99,9 %. Обращает на себя внимание тот факт, что только при максимальной температуре наблюдается почти полное разложение сульфидов, содержание серы в кеке АОВ – менее 1 %. При этом содержание железа в кеке, в отличие от содержания цветных металлов, не уменьшает-

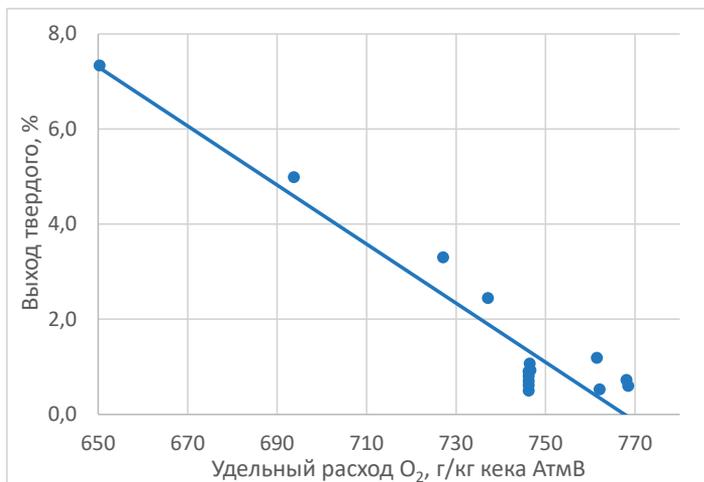


Рисунок 2 – Графическая зависимость выхода твердого при АОВ от удельного расхода кислорода

ся. То есть железо находится в конечном остатке в окисленной (не сульфидной) форме.

Платина при любой температуре проявляет свою инертность, хотя при 180 °С её присутствие в растворе становится уже заметным, извлечение составляет 0,46 %. Палладий и МСП начинают значительно растворяться уже при 160 °С, в этом случае в раствор переходит около 30 % Pd и Ir. В ещё большей степени при повышенных температурах (160–180 °С) извлекаются в раствор родий и рутений: от 20 до 65 %.

При анализе результатов проведённых экспериментов просматривается обратная зависимость между удельным расходом кислорода и выходом кека (концентрата) АОВ. Эта зависимость приведена на рисунке 2.

Из представленной зависимости следует, что лучшие результаты по степени сокращения материала в течение АОВ достигаются при расходе кислорода 745 г/кг тв. и выше. Этим параметром следует пользоваться для определения окончания процесса АОВ.

Таким образом, лучшие результаты достигаются при продолжительности

атмосферного выщелачивания 2-4 часа и температуре 140 °С. В конечном продукте суммарное содержание благородных металлов составляет 25 %.

Выводы

Установлено, что стадию атмосферного выщелачивания целесообразно проводить при концентрации серной кислоты 140–150 г/дм³, Ж:Т = 7, температуре 85 °С в течение 2–4 часов и при интенсивной аэрации пульпы со скоростью подачи – 3 л/мин. При этом удаётся перевести в раствор металлическую фазу, а также полностью разложить первичные сульфиды цветных металлов (хизлевудит и халькозин).

Извлечение никеля, меди и железа при этом находится на уровне 75, 60 и 90 %, соответственно. Платина, палладий и золото практически не переходят в раствор, переход родия и иридия составляет менее 14 %. Основные потери на стадии атмосферного выщелачивания связаны с рутением, извлечение компонента достигает 40 %. Один из технологических способов извлечения МСП в концентрат БМ – их осаждение с помощью тиомочевины перед выделением цветных металлов.

Лучшие показатели по степени сокращения материала с минимальным при этом переходом платиновых металлов в раствор достигаются в следующих параметрах АОВ:

- исходное отношение Ж:Т = 9;
- температура 140 °С;
- концентрация серной кислоты 80 г/дм³;
- парциальное давление кислорода 0,25 МПа;
- продолжительность 5–6 часов.

Извлечение никеля и меди в раствор составляет более 99 %, извлечение железа находится на уровне 98 %. В рекомендуемых режимах АОВ в раствор переходят до 60 % МСП и около 30 % палладия.

Полностью исключить переход МПГ в раствор на АОВ не удаётся, поэтому в технологии предусмотрен возврат

конечного раствора на атмосферную стадию, где значительная часть растворённых платиноидов осаждается металлической фазой, главным образом, никелем. По такой схеме с конечным раствором, содержащим практически все цветные металлы, выводится менее 1 % суммы БМ, поступающих с исходной магнитной фракцией.

Исследованная атмосферно-автоклавная схема позволяет получать концентрат высокого качества с суммарным содержанием благородных металлов 25–28 %.

Список литературы

- 1 Калашникова М.И. Разработка научных основ создания новых и совершенствования действующих гидрометаллургических технологий переработки рудного сырья и промежуточных продуктов медно-никелевого производства: диссертация на соискание учёной степени д.т.н. Санкт Петербург, 2007.
- 2 Травничек М. Н., Борбат В. Ф., Масленицкий И. Н. Распределение цветных металлов между сульфидной и магнитной металлической фазами фанштейна // Цветные металлы. 1971. № 9. С. 46–48.
- 3 Борбат В.Ф. Металлургия платиновых металлов. М.: Metallurgia, 1977.

STUDY OF HYDROMETALLURGICAL METHOD OF PROCESSING MAGNETIC FRACTION OF MATTE

Titova A.N.¹, Kositskaya T.Y.¹

¹ LLC «SRC «Hydrometallurgy», Saint-Petersburg, Russian Federation

titova-an@gidrometall.ru

Introduction

The magnetic fraction is one of the components of converter matte formed during pyrometallurgical processing of sulfide copper-nickel feedstock. This intermediate product is formed from the melt during its cooling/hardening and collects in itself up to 90 % of noble metals, among which platinum group metals (PGM) are of primary importance. The relatively high content of precious metals makes it especially important to find ways to reduce losses of these metals, as well as to reduce the volume of unfinished production. One of such directions is the withdrawal of the magnetic fraction (MF) of the high-grade matte from the pyrometallurgical processing and its processing in a separate hydrometallurgical cycle.

Specialists of SRC “Hydrometallurgy” suggested the technology of MF processing consisting of two main operations. As a result a final product is formed – a concentrate containing 20-30 % of the sum of noble metals, suitable for the following refining. The proposed technology provides the process in soft conditions and the use of standard equipment. It is implemented in sulfate solutions and does not require the use of expensive or scarce reagents.

Source materials

For the study was used a sample of the magnetic fraction of the high-grade matte, the chemical composition and physical properties of which are shown in tables Table 1 and Table 2, respectively.

The sample under study is characterized by low copper content and a very high concentration of sulfur – 15 %. This means that this industrial product is characterized by low content of metallic components and relatively high content of sulfides. The latter circumstance stipulates a certain resistance of this material to leaching in atmospheric conditions. Usually the concentration of sulfur in MF does not exceed 10 %.

The sulfide part of the MF contains analogs of natural materials: chislevudite, chalcosin-bornite, cobalt-pentlandite.

Identification of forms of occurrence of platinum metals is complicated by their small content in initial MF. Certain information was obtained only for platinum and to a lesser extent for palladium. It was found that both metals are present mainly in the metallic phase.

Atmospheric oxidative leaching of the magnetic fraction

The influence of the initial coarseness on the main parameters of the process was investigated. At the first stage basic parameters were taken: initial acidity 150 g/dm³ duration of 6 hours. In all series of experiments were constant: L:T = 7; temperature 85 °C; oxygen flow rate 3 dm³/min; content in the initial solution (g/dm³): Ni - 15; Cu - 15. One of the sample was pre-milled in a planetary mill for 5 min; the other sample was treated without milling. The +71 μm grade content was 31 % in the sample without grinding and 14.8 % after grinding. The results of the experiments showed that the regrinding of the magnetic

Table 1 – Results of chemical analysis of the magnetic fraction

Component	Measurement unit	Content
Ni	%	60,2
Cu	%	12,2
Co	%	1,96
Fe	%	9,46
S	%	15,0
Pt	г/т	190
Pd	г/т	876
Rh	г/т	22,6
Ru	г/т	6,01
Ir	г/т	2,79
Au	г/т	23,1
Ag	г/т	100
Os	г/т	0,8
Σ БМ	%	0,122

Table 2 – Physical properties and particle size distribution of the magnetic fraction

D (g/cm ³)	W (%)	P(45) (%)	P(71) (%)
5,75	7,44	53,2	31,0

Note: D - density (g/cm³); W - moisture content (%); P(N) - particle class N micron content (%)

fraction has no significant effect on the performance of the atmospheric leaching process.

Study of the influence of pulp acidity on the indicators of atmospheric leaching was carried out at the initial concentration of H₂SO₄: 150 and 180 g/dm³. According to the data [1] the transition rate of nickel from MF into solution does not depend on the initial concentration of H₂SO₄. However, to achieve an acceptable degree of dissolution of base metals and iron, the

initial concentration of sulfuric acid must be not less than 150 g/dm³ (for the ratio L:T = 7). The increase of initial acidity to 180 g/dm³ first of all affected the final concentration of sulfuric acid in the solution: it increased by 2.5 times. At the same time the cake yield decreased by 4 %. The latter is explained by a significant increase in the degree of decomposition of copper minerals: extraction of copper in the solution increased from 60 to 95 %. The composition of cake also contains elemental copper, which should be recognized as undesirable phenomenon, because it negatively affects the following operation – autoclave oxidation of atmospheric process residue. The behavior of nickel, iron, platinum and palladium is practically not affected by acidity, the extraction of components is at the level of 75, 90, 0.1 and 0.1 % respectively. Regarding platinum companion metals (PCM), some tendency is observed for reduction of Rh (from 13 to 9 %), Ru (from 41 to 38 %) and Ir (from 7 to 3 %) transfer into solution at increase of initial acidity, but by totality of indicators with different acidity at atmospheric leaching preference should be given to the process with relatively low concentration of H₂SO₄ (150 g/dm³), corresponding to acid consumption about 1 ton/mt MF.

To assess the duration of the process, a series of experiments were conducted where the duration of the atmospheric stage was varied in the range from 0.7 to 12 hours. In all experiments the content of Pt, Pd and Au was very low and corresponded to their extraction in the solution of less than 0.1 %. Therefore, in the discussion of the results of this series of platinoids only the behavior of MSP is considered: Rh, Ru and Ir.

According to Figure 1 the main transformations in the atmospheric process occur in the first 2-4 hours. In 4 hours,

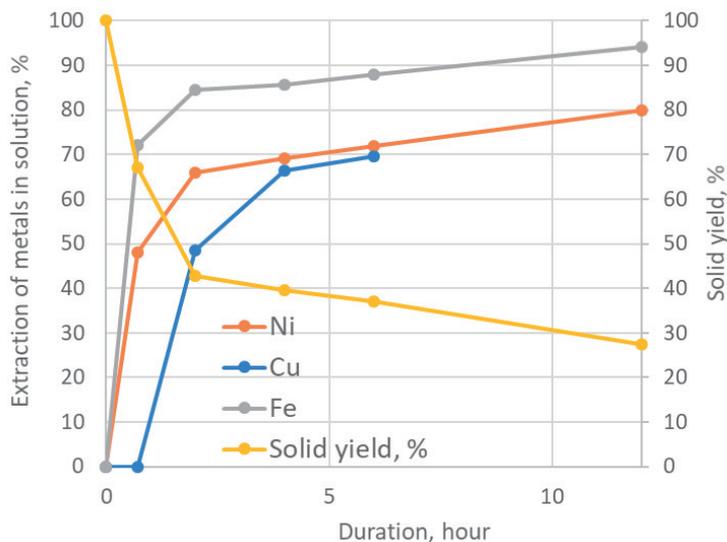


Figure 1 – Results of experiments to determine the required duration of the atmospheric leaching process of MF

the solid mass is reduced by ~ 2.5 times. The main recoverable metal, nickel, goes into solution by 65-70 %, iron by 85 %. The behavior of copper differs from other metals. During the first hour it does not pass into the solution. Moreover, during this period almost complete precipitation of copper from the initial solution is observed. This is probably caused by its cementation by metallic phase of magnetic fraction. In addition, the precipitation of copper in the form of sulfide from the solution occurs due to its reaction with hydrogen sulfide, released during the interaction of the most active iron sulfides with sulfuric acid. During the first 40 minutes of MSP in the solution almost do not pass. After 2 hours rhodium is dissolved by 11 %, ruthenium by 46 % and iridium by 6.5 %. Subsequently, when increasing the time of atmospheric leaching up to 12 hours, these indicators do not change significantly.

Reducing the duration of the atmospheric process less than 4 hours is accompanied by an increase in the final acidity of the solution, which reduces the degree of use of H_2SO_4 . At the same time in

experiments with the duration of 2-4 hours satisfactory and approximately the same indicators of extraction of both basic metals (Ni, Fe) and platinoids into the solution are achieved. Additional studies showed that the best results correspond to the duration of the atmospheric process of 2-4 hours at the initial concentration of H_2SO_4 of 140 g/dm^3 .

Autoclave oxidative leaching of magnetic fraction

In the first phase of autoclave experiments, the effect of sulfuric acid concentration on the performance of this process was studied. The amount of acid fed during autoclave oxidative leaching (POX) was varied at 3 levels which corresponded to initial concentration of H_2SO_4 in solution: 20, 40 and 80 g/dm^3 . All experiments of the series were performed at L:S=9, temperature $140 \text{ }^\circ\text{C}$ and oxygen pressure 0.25 MPa. At estimation of efficiency of autoclave process we focused first of all on yield of final cake. The best results on cake yield (0.9 %) were obtained in the experiment with maximum initial acidity of 80 g/dm^3 . The acidity of the solution does not decrease but even

increases by 8 g/dm³. Thus, sulfuric acid acts as a catalyst, accelerating the oxidation of sulfides without itself being consumed. The increase of H₂SO₄ concentration in the process is apparently connected with oxidation of elementary sulfur, available in the cake of atmospheric leaching, and with formation of polydymite (Ni₃S₄). Under the studied conditions of AOL platinum and palladium practically do not pass into the solution, their concentration is below the detection limit. At the initial acid concentration in the solution of 40 and 80 g/dm³ the extraction of satellite metals is as follows: Ru 8.8 %, Rh and Ir not more than 1 %. Thus, the initial acidity of 80 g/dm³ provides the best results of autoclave oxidative leaching; nickel, copper and iron are extracted at about 96-98 %.

The influence of temperature was also studied at 3 levels: 140, 160 and 180 °C, focusing on the results obtained in previous works [2, 3]. Increasing the POX temperature has a significant impact on both the rate and the completeness of the process, first and foremost on the cake yield, which at 180 °C is 0.5-1.0 % of the weight of the loaded material. The maximum oxidation temperature corresponds to the maximum extraction of metals in the solution. For non-ferrous metals and iron it exceeds 99.9 %. Attention is drawn to the fact that only at the maximum temperature almost complete decomposition of sulfides is observed, the sulfur content in the POX cake is less than 1 %. In this case, the iron content in the cake, unlike the content of non-ferrous metals, does not decrease. That is, iron is in the final residue in an oxidized (not sulfide) form.

Platinum shows its inertness at any temperature, although at 180 °C its presence in the solution becomes noticeable, the

extraction is 0.46 %. Palladium and MSP begin to dissolve significantly already at 160 °C, in this case about 30 % of Pd and Ir passes into solution. Rhodium and ruthenium are extracted to an even greater extent at elevated temperatures (160-180 °C): from 20 to 65 %.

When analyzing the results of the experiments, there is an inverse dependence between the specific oxygen consumption and the yield of cakes (concentrate) of POX. This dependence is shown in Figure 2.

It follows from the presented dependence that the best results in terms of the degree of reduction of the material during the POX are achieved at an oxygen consumption rate of 745 g/kg of solid and higher. This parameter should be used to determine the end of the ALE process.

Thus, the best results are achieved at atmospheric leaching duration of 2-4 hours and temperature of 140 °C. In the final product the total content of noble metals is 25 %.

Conclusions

It is established, that the stage of atmospheric leaching is expedient to carry out at concentration of sulphuric acid 140-150 g/dm³, L:S=7, temperature 85 °C during 2-4 hours and at intensive aeration of pulp with a feed rate of 3 l/min. At the same time it is possible to transfer the metallic phase into solution and completely decompose primary non-ferrous sulfides (hyslevudite and chalcosine).

Extraction of nickel, copper and iron is at the level of 75, 60 and 90 % respectively. Platinum, palladium and gold practically do not transfer into the solution, the transfer of rhodium and iridium is less than 14 %. The main losses at the stage of atmospheric leaching are related to

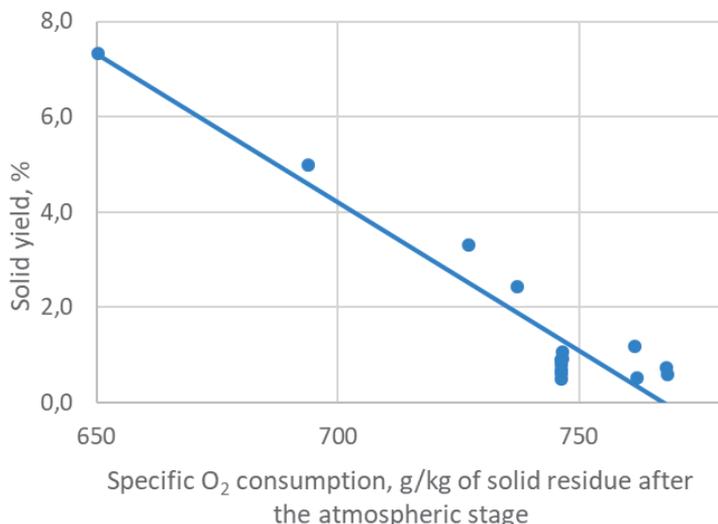


Figure 2 – Graphical dependence of the solid yield at POX

ruthenium, the extraction of the component reaches 40 %. One of the technological methods of platinum companion metals extraction into the noble metal concentrate is their precipitation with thiourea before extraction of non-ferrous metals.

The best rates of reduction of the material with minimal transition of platinum metals in the solution are achieved in the following parameters of POX:

- L:S = 9;
- temperature 140 °C;
- concentration of sulfuric acid 80 g/dm³;
- partial pressure of oxygen 0,25 MPa;
- duration 5-6 hours.

Extraction of nickel and copper in the solution is more than 99 %, extraction of iron is at a level of 98 %. Up to 60 % of platinum companion metals and about

30 % of palladium pass into the solution in the recommended modes of POX.

It is impossible to completely exclude the transfer of PGM into the solution during the POX; therefore, the technology provides for returning the final solution to the atmospheric stage, where a significant part of the dissolved platinoids is precipitated by the metal phase, mainly by nickel. Under such a scheme with the final solution containing practically all nonferrous metals, less than 1 % of the sum of PM coming with the initial magnetic fraction is removed.

The investigated atmospheric-autoclave scheme allows to receive a concentrate of high quality with the total content of noble metals 25-28 %.

References

- 1 Kalashnikova M.I. Development of scientific bases of creation of new and perfection of operating hydrometallurgical technologies of processing of ore raw materials and intermediate products of copper-nickel production: thesis for a scientific degree of Doctor of Technical Sciences, St. Petersburg, 2007.
- 2 Travnicek M. N., Borbat V.F., Maslennitsky I.N. Distribution of non-ferrous metals between sulfide and magnetic metallic phases of converter matte // *Tsvetnye Metals*. 1971. № 9. C. 46-48.
- 3 Borbat V.F. Metallurgy of platinum metals. Moscow: Metallurgy, 1977.