Записки Ленинградского ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции и ордена Трудового Красного Знамени горного института им. Г. В. Плеханова, т. LV, вып. 3, 1975 г.

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ КАРБОНИЛЬНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ В ПРОИЗВОДСТВЕ НИКЕЛЯ ИЗ СУЛЬФИДНОГО МЕДНО-НИКЕЛЕВОГО СЫРЬЯ

Доктор техн. наук *И. Н. МАСЛЕНИЦКИЙ*
(Ленинградский горный ин-т),
канд. техн. наук А. М. ВЕРБЛОВСКИЙ
(ин-т «Гипроникель»)

Уровень производства никеля уже длительный период определяет показатели технического прогресса во многих важнейших отраслях техники как в СССР, так и за рубежом. Этим обусловлено интенсивное развитие мировой никелевой промышленности, наблюдаемое в настоящий момент и ожидаемое в ближайшей перспективе. В капиталистических странах, по данным различных прогнозов [20, 23] выпуск никеля в 1975 г., по сравнению с 1970 г., увеличится примерно в 1,7 раза и, по наиболее достоверной информации [23], годовой прирост производства никеля к этому периоду может составить 250—290 тыс. *т*.

Анализ литературных данных о предполагаемом развитии производства никеля на отдельных зарубежных предприятиях [24, 25] показал, что по группе сульфидных руд более 70% прироста производства будет осуществлено по технологическим схемам, включающим процессы карбонильного разделения и рафинирования металлургических полупродуктов.

По группе окисленных руд в случае намечаемой реализации одного из крупнейших проектов строительства нового промышленного комплекса в Новой Каледонии (французская фирма «Кофимпак» с участием ИНКО) четвертая часть прироста производства никеля из окисленного сырья также будет получена по карбонильной технологии. Таким образом, мировое производство карбонильного никеля к 1975 г. значительно превзойдет стотысячный рубеж.

С учетом общей тенденции, наметившейся в мировой никелевой промышленности, предпринятое далее рассмотрение вопросов применения карбонильной технологии в производстве никеля из сульфидного медно-никелевого сырья и различных вариантов ее сочетания с другими металлургическими процессами представляется актуальным и своевременным для выбора наиболее эффективных направлений исследования, опытной проверки и проектирования новых производств.

Для извлечения никеля в карбонил при взаимодействии сульфидных никельсодержащих материалов с газообразной окисью углерода с достаточной для технической реализации процесса скоростью необходимо бóльшую часть никеля предварительно перевести в металлизи-

рованное состояние. Поэтому перед карбонилированием сульфидных медно-никелевых материалов следует удалить из них часть серы так, чтобы количество оставшейся в материалах серы находилось в стехиометрическом отношении с медью, соответствующем соединению Cu_2S [1, 2].

Единственным материалом, не требовавшим специальной обработки перед карбонилированием, до недавнего времени являлся анодный никель, преимущественно в виде дробленого никелевого анодного скрапа [3, 9, 11, 14, 15, 21].

Удаление серы при продувке штейнов в горизонтальных конверторах с воздушным дутьем встретило в мировой практике конвертирования немалые затруднения. Один из первых серьезных успехов в этом направлении был достигнут в сороковые годы на комбинате «Южуралникель», где при продувке медно-никелевого штейна в горизонтальном дополнительно обогреваемом конверторе был получен малосернистый никелевый сплав и достигнуто достаточно высокое извлечение в сплав никеля и кобальта [8].

По-настоящему широкие возможности подготовки материалов к карбонилированию открылись лишь недавно в связи с успехами в разработке и проверке процесса продувки сульфидных никелевых и медно-никелевых расплавов в вертикальных кислородных конвертерах при повышенной температуре (1600—1700° С). При этом достигается любое заданное остаточное содержание серы и весь кобальт сохраняется в расплаве [4, 16].

Аналогичный процесс разработан за рубежом и внедряется фирмой ИНКО для подготовки материалов к карбонилированию на крупнейшем карбонильном заводе в Коппер-Клифф (Канада) [25].

Новые возможности регулируемого удаления серы обеспечили все необходимые предпосылки для вовлечения в карбонил-процесс любых медно-никелевых сульфидных полупродуктов металлургического производства и, что особенно важно, для объединения различных продуктов и приготовления на их основе «синтетической» шихты, состав которой может колебаться в широких пределах.

Для практического осуществления процесса карбонилирования не менее важна подготовка материалов с регулируемым гранулометрическим составом. Процесс грануляции сульфидных металлизированных расплавов всесторонне проверен пирометаллургическим отделом института «Гипроникель». Применен гранулятор специальной конструкции и разработаны режимы, гарантирующие получение как мелких (80% $<$ 1 *мм*), так и крупных (80% $>$ 3—5 *мм*) гранул. В этих работах грануляции подвергались богатые никелем (75—85% никеля) и более медистые (40—60% меди) медно-никелевые сульфидные расплавы, содержание серы в которых регламентировалось указанным выше стехиометрическим соотношением серы с медью.

Вопросы карбонилирования различных никельсодержащих материалов подробно исследованы в работах института «Гипроникель».

В части медно-никелевых сульфидных материалов исследованы различные полупродукты, отношение меди к никелю в которых изменялось от 0,05 до 2,6 и практически охватывало все реальные варианты их получения.

Исследования показали, что, в отличие от материалов с однородной карбонилируемой фазой, к которым могут быть отнесены ферроникель с добавкой серы и никелевые сплавы с высоким содержанием никеля (например, никелевый анодный скрап), медно-никелевые сульфидные продукты (передутые файнштейны с различным содержанием

меди, обогащенные медью никелевые сплавы), характеризуются сложным фазовым составом.

Фазовый состав передутых файнштейнов, содержащих от 22 до 44% никеля, детально изучался с использованием новейших методик микрорентгеноспектрального исследования (табл. 1). Этими исследова-

Таблица 1

Фазовый состав передутых медно-никелевых файнштейнов

Состав файнштейнов, %					Фазовый состав, %			
Ni	Cu	Co	Fe	S	Твердый раствор	Сульфид никеля	Сульфид меди	Окисленная фаза
22,40	57,37	0,66	0,91	16,68	12,25	12,05	70,20	1,53
31,58	45,34	0,85	1,09	13,6	24,27	13,34	57,58	2,77
40,32	37,06	1,13	1,94	6,45	49,26	8,67	37,78	2,95
44,23	43,50	1,21	0,84	7,62	52,65	9,69	36,30	1,23

ниями было, в частности, установлено, что сера перераспределяется при кристаллизации передутых файнштейнов так, что значительная часть никеля (до 10—12%) остается связанной в виде сульфида, а кобальт распределяется между медно-никелевым сплавом и сульфидом никеля в первом приближении пропорционально содержанию этих фаз в файнштейне.

Обращает на себя внимание появление в небольшом количестве образований окисленной фазы, также содержащих кобальт, структура и состав которых изучались на кафедре цветных и благородных металлов Ленинградского горного института.

Микрофотография типичной структуры передутого файнштейна, содержащего 40% никеля, 37% меди и 6,5% серы, показана на рис. 1, на котором обозначены все перечисленные в табл. 1 фазы.

Присутствие нескольких фазовых составляющих, структура которых осложнена некоторой неоднородностью, вызванной присутствием в них примесей других фаз и инородных элементов, существенно усложняет механизм карбонилирования таких материалов. Это связано с протеканием, наряду с реакцией взаимодействия никеля с окисью углерода, твердо- и газофазных превращений, включающих по крайней мере, твердофазное взаимодействие меди, освободившейся из медно-никелевого сплава после удаления никеля, с сульфидом никеля и газофазное взаимодействие с серой с образованием сульфида меди [5, 6, 13]; твердофазное взаимодействие металлического кобальта, освободившегося из медно-никелевого сплава, с сульфидом меди с образованием суль-

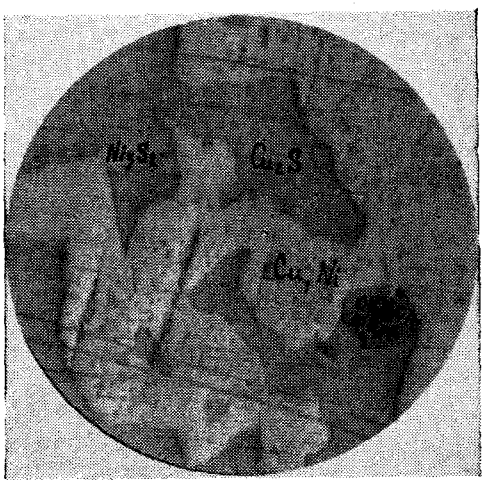


Рис. 1. Микроструктура передутого файнштейна: О. Ф. — окисленная фаза

фида кобальта и газофазное взаимодействие кобальта с сернистыми соединениями, присутствующими в реакционном газе [7].

Процессы взаимодействия фаз при карбонилировании медно-никелевых материалов детально изучены по специально разработанной комплексной методике, сочетающей микроскопические и микрорентгеноспектральные исследования образцов, подвергнутых карбонилированию с последовательно возрастающей степенью извлечения никеля в карбонил. Такая методика позволила проследить динамику этих процессов и прийти к практически важным рекомендациям, гарантирующим высокое извлечение никеля, высокую селективность разделения никеля и кобальта с сохранением последнего в остатках от синтеза.

Недавно законченная проверка в промышленных условиях полностью подтвердила выводы лабораторных и крупно-лабораторных исследований: подавляющая часть кобальта в процессе карбонилирования никелевых сплавов, подвергнутых подготовке, сохранилась в медном остатке.

Значение этих наблюдений для выбора наиболее рациональных вариантов технологических схем переработки медно-никелевых материалов, содержащих значительное количество кобальта, очевидно.

Важнейшим показателем, предопределяющим эффективность применения карбонильной металлургии в производстве никеля, является производительность стадии карбонилирования, определяемая временем пребывания материала в зоне реакции (гарантирующем заданный уровень извлечения никеля), а также продолжительностью операций по вводу в реактор исходных продуктов и выводу остатков после извлечения никеля в карбонил.

Кинетические кривые извлечения никеля из медно-никелевых полупродуктов, подвергнутых предварительно грануляции до размеров гранул менее 1 *мм* (рис. 2) при различных давлениях P свидетельствуют о серьезном прогрессе, достигнутом в этой области. Из графиков видно, что извлечение никеля ε на 96—97,5% даже из наиболее бедных по никелю материалов может быть достигнуто за время $\tau = 80 \div 100$ *мин* (при давлении 250 *ати*).

Рассматриваемые показатели процесса зависят, естественно, от размеров гранул карбонилируемого материала, его состава, давления реакционного газа, температуры в зоне реакции и других условий. Детальные исследования влияния различных факторов на скорость карбонилирования никельсодержащих материалов подробно изложены в ранее выполненных работах [1—3] и в публикациях последних лет [5, 6, 9, 11, 13—15, 17, 18].

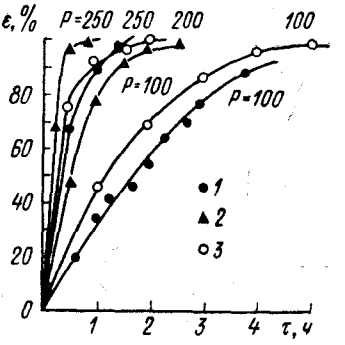


Рис. 2. Кинетика карбонилирования медно-никелевых полупродуктов:

1 — файнштейн передутый (42,1% Cu, 40,1% Ni); *2* — никелевый сплав с повышенным содержанием меди (13% Cu, 77,3% Ni); *3* — никелевый сплав (6,2% Cu; 85% Ni).

Сумма накопленных экспериментальных данных, проверок на опытных установках и подтверждение некоторых важнейших показателей в условиях действующего промышленного производства могут быть с уверенностью оценены как признаки, характеризующие появление нового технологического процесса и качественно новых технологических возможностей в никелевой отрасли.

В качестве примера могут быть приведены результаты работ, выполненных институтом «Гипроникель» в 1967—1971 гг.

в промышленных условиях, которые показали практическую возможность значительно сократить продолжительность пребывания никелевого сплава в периодически работающих реакторах синтеза по сравнению с достигнутым уровнем [17].

Однако, как видно из графиков рис. 2, возможности процесса этим не исчерпываются. Большой резерв производительности стадии синтеза в целом заключен в переходе к процессу с непрерывной загрузкой и выгрузкой материала, осуществление которого будет определяться успехами конструирования аппаратуры непрерывного синтеза, работающей при повышенном давлении.

Успехи, достигнутые при ректификационной очистке карбонила от примесей в условиях действующего промышленного производства, позволили выпускать отечественный карбонильный никель, отличающийся особенно высокой чистотой и отвечающий требованиям мировых стандартов. На существующей стадии производства освоен промышленный выпуск карбонильного никеля в виде тонкодисперсного порошка, десятки марок которого используются в радиоэлектронной, аккумуляторной и многих других областях техники для изготовления компактных и пористых изделий методами порошковой металлургии, а также для специальных целей.

В зарубежной практике бо́льшая часть карбонильного никеля производится в виде компактной дроби, диаметр которой составляет 8—10 *мм*. Ее свойства аналогичны электролитному никелю, и в сфере использования эти металлы практически взаимозаменяемы.

В СССР процесс термического разложения карбонила с получением никелевой дроби в настоящее время осваивается в полупромышленном масштабе и проектируется головной образец промышленного разложителя. Несомненно, что при дальнейшем расширении отечественного карбонильного производства основной товарной продукцией станет компактная никелевая дробь.

Выбор варианта рационального использования карбонильной технологии в современной технологической схеме предопределяется, прежде всего, стремлением в наибольшей мере использовать специфические особенности карбонил-процесса. На стадии рафинирования материалов с высоким содержанием никеля решающее значение приобретают малые материало- и энергоемкость процесса, возможность при высоком извлечении никеля сконцентрировать в богатом продукте сопутствующие металлы (кобальт, платиноиды и др.), повысить качество никеля и расширить номенклатуру готовой продукции.

На стадии переработки бедных по никелю материалов в полной мере реализуется высокая селективность процесса, гарантирующая отделение от никеля меди, кобальта, железа и серы в одном технологическом цикле, совмещающем и рафинирование никеля.

В сочетании с другими процессами (пирометаллургическими и автоклавными) реально осуществимо комплексное извлечение большинства ценных компонентов сырья, включая железо и серу.

Рафинирование анодного никеля. Применение карбонил-процесса в этом случае целесообразно, когда на работающем по традиционной схеме предприятии возникает необходимость переработки никелевого анодного скрапа, выход которого при электролитическом растворении анодов составляет 18—19%.

Анодный скрап может быть подвергнут карбонилированию без какой-либо предварительной подготовки в виде дробленых кусков размером до 20—50 *мм*. Однако как с точки зрения создания более благоприятной для карбонилирования мелкозернистой структуры (способ-

ствующей ускорению процесса и концентрации кобальта в остатке), так и для сохранения костяка гранул после извлечения из них никеля в карбонил, более рациональным представляется его расплавление и грануляция [22]. Последнее достигается введением в расплав анодного скрапа дополнительно необходимого количества серы (до 1—3%) и значительно облегчает гигиенические условия при выгрузке остатков и механизацию этой операции.

Экономически карбонилирование анодного скрапа представляется наименее эффективным, так как стоимость передела сульфидного никелевого сырья до анодного скрапа всего на 12—15% ниже, чем до электролитного никеля, являющегося готовой продукцией. Однако при достаточно большом объеме производства рентабельности карбонильной и электролитной технологии становятся соизмеримыми.

По-видимому, рациональнее использовать анодный скрап как одну из составляющих шихты «синтетического» материала для карбонилирования, как это имеет место на заводе ИНКО в Коппер-Клифф [25].

Рафинирование восстановленной закиси никеля. Этот материал широко используется в зарубежном карбонильном производстве на заводе в Клайдахе (Англия), где поступающая из Канады закись никеля подвергается глубокому водородному восстановлению в крупногабаритных трубчатых печах [24, 26—29].

В отечественной практике закись никеля восстанавливается с применением твердого восстановителя и уровень восстановления не превышает 80—85%, что, естественно, снижает извлечение никеля при карбонильном рафинировании восстановленной закиси. Однако карбонилирование восстановленной закиси исключает необходимость в анодном переделе и в этом смысле экономически более оправдано.

Извлечение и рафинирование никеля при переработке файнштейна. Сложившаяся на предприятиях СССР практика переработки медно-никелевых файнштейнов оставляет достаточно много возможностей для выбора вариантов его передела с применением карбонил-процесса. На рис. 3, схема *А* приводится вариант, предусматривающий общепринятое разделение файнштейна флотацией и карбонильную переработку никелевого сплава, полученного при передуве никелевого концентрата в кислородном высокотемпературном конвертере.

Очевидным недостатком этого варианта становится переход при флотации части никеля (до 5%) в медную ветвь.

В то же время повышение доли сульфидной меди в карбонилируемом материале (см. рис. 2) лишь незначительно увеличивает продолжительность процесса карбонилирования до высоких степеней извлечения никеля. Это обстоятельство позволяет рассмотреть технологическую схему с модифицированным вариантом флотационного разделения файнштейна (рис. 3, схема *Б*), при котором за счет повышения извлечения меди в никелевую ветвь вдвое снижается переход никеля в медный концентрат (табл. 2). Соответствующие режимы флотации разработаны Ленинградским горным институтом в содружестве с «Гипроникелем» при следующих исходных дан-

Таблица 2

Результаты флотационного разделения пробы файнштейна по видоизмененному режиму

Концентрат	Выход, %	Содержание металлов, %		Извлечение, %	
		Cu	Ni	Cu	Ni
Медный	45,0	71,0	2,12	88,2	2,8
Никелевый	55,0	8,62	58,7	11,8	97,2

ных: состав пробы исходного файнштейна, %: медь 37,65; никель 32,00; кобальт 0,75; железо 3,49; сера 19,97. Условия флотации: измельчение 90—95%—44 мкм; расход ксантогената 5 г/т файнштейна; продолжительность 4 мин; число перечисток 6.

Для последующих технико-экономических оценок содержание меди в никелевом концентрате было заведомо завышено и принято равным 15%.

Отечественные медно-никелевые файнштейны, в отличие от практики Канадских заводов, не подвергаются магнитной сепарации для выделения коллектирующего платиноиды металлизированного магнитного сплава, детально исследованного в работах [10, 12].

Наоборот, вследствие повышенного содержания кобальта в сульфидных рудах, конвертирование штейнов ведется с некоторым «недодувом», чтобы сохранить большую часть кобальта в файнштейне. Это сократило долю содержащегося в них сплава и сделало нецелесообразным его выделение.

В то же время компанией ИНКО осуществляются мероприятия, в результате которых более 95% всех платиновых металлов из сырья, поступающего на заводы компании, будет выведено с магнитной фракцией, выделенной при флотации файнштейна [25].

Введение в технологическую схему процесса кислородного конвертирования при высокой температуре (рис. 3, схема *В*), в котором весь кобальт сохраняется в металлизированном файнштейне, вновь делает правомерной постановку вопроса о выделении магнитной фракции, а рациональность ее карбонильной переработки вряд ли может вызвать сомнения.

Вариант непосредственной переработки передутого файнштейна карбонил-процессом (рис. 3, схема *Г*) отличается от традиционной схемы тем, что селекция никеля и меди совмещена в одном технологическом переделе с рафинированием никеля. При этом достигается свойственное карбонил-процессу высокое извлечение никеля при сохранении всей содержащейся в файнштейне меди в остатках от синтеза. Подобный уровень селективности недостижим ни в одном из рассмотренных выше технологических вариантов.

Принимая во внимание перспективу вовлечения в переработку сырья с повышенным содержанием меди, следует ориентироваться на переработку файнштейнов, в которых отношение меди к никелю будет приближаться к единице.

Работы, выполненные в последние годы институтом «Гипроникель», показали, что специальная подготовка (грануляция) исходных материалов в различных схемах переработки файнштейнов (рис. 3) в сочетании с увеличением поверхности гранул (100% минус 1 *мм*) позволяет достичь в изотермических реакторах высоких показателей производительности процесса карбонилирования, в десятки раз превосходящей показатели, достигнутые на кусковых дробленых материалах в ранее осуществленных вариантах карбонил-процесса.

При таком высоком уровне производительности относительное различие показателей для продуктов, отличающихся различным содержанием никеля, в значительной мере теряет практическое значение.

В связи с этим необходимо пересмотреть укоренившиеся среди металлургов представления о высокой удельной капиталоемкости синтеза карбонила никеля, которая по общим оценкам ранее осуществленных в промышленности карбонильных процессов составляла 60—70% всех капитальных затрат на карбонил-процесс.

Медно-никелевые сульфидные обогащенные рудные материалы.

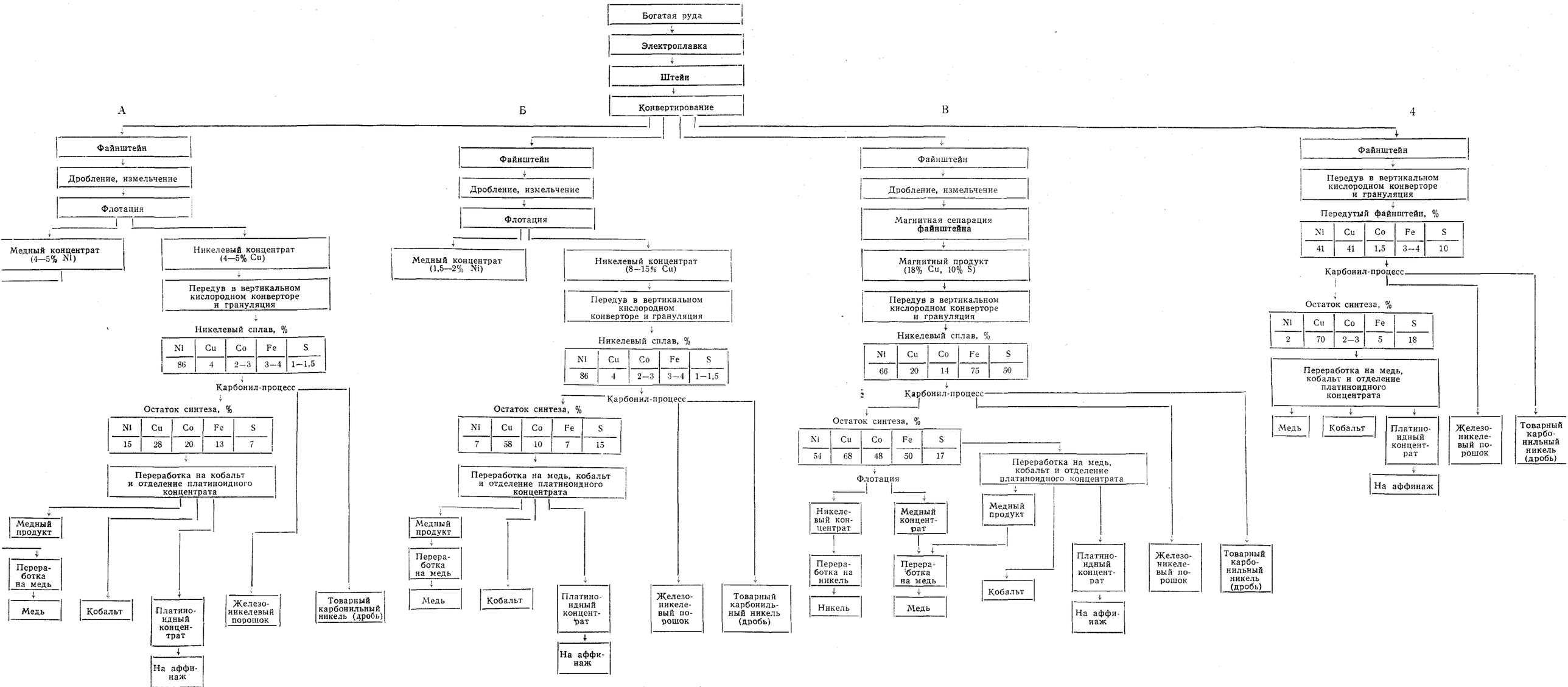


Рис. 3. Варианты технологических схем переработки сульфидного медно-никелевого сырья с применением карбонил-процесса:

1 — на стадии переработки стандартного никелевого концентрата ЦРФ; Б — при переработке никелевого концентрата, обогащенного медью по способу ЛГИ; В — при переработке магнитной фракции файнштейна; 4 — при переработке передутого файнштейна (в качестве примера приведен состав передутого файнштейна, перспективный для одного из вариантов развития Норильского горнометаллургического комбината)

С новых позиций следует рассматривать и вопрос о роли «балласта» в виде сульфида меди при оценке эффективности карбонильной переработки медно-никелевых полупродуктов. Очевидно, что роль этого фактора при столь значительных скоростях процесса становится второстепенной и вопрос о целесообразности флотации файнштейна перед карбонилированием следует рассматривать не столько с точки зрения оценки стоимости этих переделов и их сочетания, сколько с общетехнических позиций.

Обоснованность такого подхода подтверждается выполненными в институте «Гипроникель» в декабре 1971 г. предпроектными ориентировочными расчетами, согласно которым капиталовложения в варианте карбонильной переработки гранулированного передутого файнштейна по сравнению с переработкой никелевого сплава (после продувки флотационного никелевого концентрата, полученного при разделении файнштейна) увеличиваются на 12—13%.

Таким образом, несмотря на освобождение карбонил-процесса от «медного» балласта, составляющего около половины массы карбонилируемого материала, и относительно невысокую стоимость флотационного передела (~7% от суммы передельных затрат на производство файнштейна), разница между обоими вариантами оказалась относительно небольшой. В то же время введение в схему передела флотационного разделения файнштейна увеличит численность ИТР и обслуживающего персонала комплекса в целом, потребует дополнительных площадей и т. д. В рассматриваемом варианте наиболее важным моментом становится предопределяемое флотацией разделение меди на два потока. Дальнейший передел на товарную медь будет осуществляться по двум линиям: переработка медного концентрата и медного остатка синтеза, составы которых вряд ли позволят перерабатывать их в одном технологическом процессе. Аналогичное положение в равной степени, но в меньшем масштабе будет иметь место и для никеля, часть которого (до 5% при «стандартной» схеме флотации) перейдет в медный концентрат со всеми вытекающими отсюда неблагоприятными последствиями.

Таким образом, в технологическом комплексе с карбонильной переработкой файнштейна медный и никелевый переделы концентрируют, соответственно, всю содержащуюся в файнштейне медь и не менее 97% никеля и предполагают производство товарных металлов по единым технологическим процессам.

Благодаря применению процесса передува в вертикальных кислородных конвертерах, сохраняемый в файнштейне кобальт при определенных условиях практически полностью может быть отделен от никеля и сконцентрирован в остатках синтеза. При этом, в отличие от традиционной схемы, в которой кобальт распределяется между конверторными шлаками и анодами, потери кобальта резко сокращаются и его извлечение увеличивается не менее чем на 20%.

Отказ от флотации файнштейна, обжига никелевого концентрата и анодной плавки сократит в никелевой ветви стоимость передела сырья не менее, чем на 25% (условно принимаем затраты в карбонил-процессе и электролизе никеля сопоставимыми и сохраняем стоимость передела меди на уровне традиционной технологии).

При переходе к предварительной флотации файнштейна число переделов в общем технологическом комплексе возрастает по крайней мере вдвое (флотация, передел остатков синтеза), увеличивается возврат никеля в оборот (за счет более высокого извлечения никеля в медный флотационный концентрат) и, в принципе, неизбежно ухудшаются

технологические показатели комплекса в целом (извлечение металлов и др.).

Рассмотренный выше модифицированный вариант флотационного разделения с пониженным извлечением никеля в медный концентрат несколько снижает возврат никеля в оборот, но сохраняет все другие особенности, присущие схемам с предварительным разделением файнштейна.

Анализ рассматриваемых вариантов ни в коей мере не исключает выбора любой из трех технологических схем (карбонилирования никелевого сплава, никелевого сплава с повышенным содержанием меди, передутого файнштейна), но лишь подчеркивает необходимость всестороннего подхода к выбору рациональных вариантов. В частности, в случае строительства нового предприятия более рациональным был бы вариант технологической схемы с переработкой передутого файнштейна. Напротив, при реконструкции и расширении действующего производства с целью использования имеющегося в наличии, но относительно малоемкого оборудования высокого давления, целесообразно осуществить схему с флотационным разделением файнштейна, направив в карбонил-процесс более богатый никелем полупродукт (никелевый сплав или никелевый сплав с повышенным содержанием меди).

Одним из важнейших критериев, определяющих рациональность технологической схемы переработки сульфидных медно-никелевых материалов, является эффективность концентрации и извлечения металлов платиновой группы. В этом смысле особое место занимает вариант выделения и переработки в карбонил-процессе магнитной фракции файнштейна, коллектирующей подавляющее количество всех содержащихся в нем платиноидов.

В отличие от ранее решавшейся институтом Механобр задачи выделения магнитного сплава, не загрязненного примесями сульфидов никеля и меди, при рассмотрении варианта карбонилирования магнитной фракции было показано, что «загрязнение» ее сульфидами никеля и меди в пределах, обеспечивающих практически полное извлечение металлизированной фазы из файнштейна, не оказывает существенного влияния на показатели извлечения никеля. Как и во всех других случаях, этот материал должен быть подвергнут перед карбонилированием специальной подготовке (передуву в кислородных конвертерах и грануляции полученного сплава).

Целесообразность концентрирования всех платиноидов в одном продукте (остатке синтеза) практически без потерь очевидна. Очевидно также, что дальнейшее их извлечение из одного продукта сопряжено со снижением потерь платиноидов.

С учетом совокупности рассмотренных соображений выбор рациональных вариантов извлечения и рафинирования никеля из файнштейнов не должен представлять затруднений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Белозерский Н. А. Карбонилы металлов. Металлургиздат, 1958.
2. Блинов Г. И. Применение карбонил-процесса высокого давления для переработки медно-никелевых файнштейнов. В кн.: Сборник технической информации института «Гипроникель», 1951, № 3.
3. Белозерский Н. А., Блинов Г. И. Основы карбонил-процесса. Тр. ин-та «Гипроникель», вып. 3, 1958.
4. Вайсбурд С. Е. О продувке никелевого файнштейна до металлического никеля. Тр. ин-та «Гипроникель», вып 16, 1963.
5. Вербловский А. М., Мнухин А. С., Сидоров А. Ф. О механизме извлечения никеля из медно-никелевого сплава. Тр. ин-та «Гипроникель», вып. 54, 1972.

6. Верб'ловский А. М., Мнухин А. С., Гинзбург А. А. Роль металлической меди в фазовых превращениях при карбонилировании передутых медно-никелевых файнштейнов. Тр. ин-та «Гипроникель», вып. 54, 1972.
7. Верб'ловский А. М., Мнухин А. С., Верещагина А. И. О поведении кобальта при карбонилировании никельсодержащих материалов. Тр. ин-та «Гипроникель», вып. 51, 1971.
8. Деркач В. Г. Специальные методы обогащения полезных ископаемых. «Недра», 1966.
9. Исследование процесса карбонилирования никеля из анодного скрапа. «Цветные металлы», 1968, № 5. Авт.: А. С. Мнухин, Г. Р. Федорова, Б. Я. Красильщик, А. М. Верб'ловский.
10. Извлечение благородных металлов из магнитной фракции медно-никелевого файнштейна, «Цветные металлы», № 9, 1970. Авт.: М. Н. Травничек, В. Ф. Борбат, В. И. Горячкин, И. Н. Масленицкий.
11. Кипнис А. Я., Михайлова Н. Ф., Рому В. Г. О воздействиях на реакционную способность никелевого анодного скрапа при его переработке карбонилпроцессом. Тр. ин-та «Гипроникель», вып. 38, 1968.
12. Масленицкий И. Н. Поведение благородных металлов в процессе пирометаллургического передела сульфидных медно-никелевых руд. Зап. ЛГИ, т. 32, вып. 3, 1956.
13. Мнухин А. С., Верб'ловский А. М. Экспериментальное определение коэффициента объемной гетеродиффузии меди в системе медь—никель—сера при карбонилировании. Тр. ин-та «Гипроникель», вып. 54, 1972.
14. О некоторых закономерностях процесса синтеза карбонила никеля из анодного скрапа. Тр. ин-та «Гипроникель», вып. 24, 1965. Авт.: А. С. Мнухин, Г. Р. Федорова. Б. Я. Красильщик, А. М. Верб'ловский.
15. О влиянии температуры и давления на скорость процесса карбонилирования анодного скрапа. Тр. ин-та «Гипроникель», вып. 38, 1968. Авт.: А. С. Мнухин, Г. Р. Федорова, Б. Я. Красильщик, А. М. Верб'ловский, А. И. Верещагина.
16. О взаимодействии сульфида и закиси никеля. Тр. ин-та «Гипроникель», вып. 19, 1964. Авт.: Л. Ш. Цемехман, С. Е. Вайсбурд, Б. Ф. Вернер, Ю. А. Карасев.
17. О возможности повышения скорости карбонилирования никелевого анодного скрапа в реакторе промышленного типа. Тр. ин-та «Гипроникель», вып. 51, 1971. Авт.: Б. Я. Красильщик, Г. Р. Федорова, А. М. Верб'ловский, А. С. Мнухин.
18. О характере выработки различных никельсодержащих материалов при карбонилировании. Тр. ин-та «Гипроникель», вып. 49, 1970. Авт.: А. С. Мнухин, А. М. Верб'ловский, А. И. Верещагина, Е. М. Вигдорчик, А. Б. Шейнин.
19. Основы металлургии под ред. Н. С. Грейвера, Д. Н. Клушина, И. А. Стригина, А. В. Троицкого, т. I, II, Металлургиздат, 1962, 1963.
20. Производство никеля в капиталистических странах. ЦИИН, МЦМ СССР, 1969.
21. Снурников А. П. Под знаком технического прогресса. «Цветные металлы», 1967, № 10.
22. Способ переработки никельсодержащих материалов. Авт. свид. № 258594, кл. 40А, 23/02, 1969. Авт.: В. Я. Позняков, А. Я. Кипнис, Н. Я. Михайлова, А. М. Верб'ловский, А. С. Мнухин, В. Г. Рому, С. Д. Шереметьев.
23. Devaux L. World economic prospects for Nickel in the decade 1970 to 1980, «Le Nickel», Paris, 1970.
24. Boldt J. R., Quenau R. She Winning of Nickel p. 374—383. Princetion, N—J, 1967.
25. Quenau P. E., O'Neill C. E., Illis A., Werner I. S. «J. Metals», v. 21, № 7, 35—45, 1969.
26. «Progress in Nickel Refinung». Industr. Cem., v. 35, № 418, 583, 1959.
27. «Metal Industry», v. 101, 12, 1962.
(реф. Цветные металлы, 1, 92, 1964.)
28. 30 years Progress in Nickel Refinung INCO 7 p.p. London, 1963.
29. «Mining J.», v. 272, № 6969, 1969.