УДК 542.65

И.Г.ФОКЕЕВА, Л.Б.ЦЫМБУЛОВ, Л.Н.ЕРЦЕВА
ОАО «Институт Гипроникель», Санкт-Петербург

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ ФАЙНШТЕЙНОВ С ПОВЫШЕННЫМ ОТНОШЕНИЕМ МЕДИ К НИКЕЛЮ

Изучены закономерности кристаллизации файнштейнов с отношением меди к никелю (0,7-2,3):1, охлажденных в режиме, близком к промышленному. Установлено, что высокомедистым файнштейнам (Cu:Ni > 1,6:1) свойственен иной порядок кристаллизации структурных составляющих, чем традиционным медно-никелевых файнштейнам с преобладающей долей никеля. Показана необходимость выбора для медистых файнштейнов другого режима охлаждения.

Some crystallization patterns of nis matte with different balance between copper and nickel (from 0,7 to 2,3 by weight) is investigated for refrigerating conditions like industrial one. It was established, what order of crystallization of high-copper nis mattes with Cu:Ni > 1,6:1 is differ from copper-nickel nis mattes with Cu:Ni < 1. Necessity of selection another refrigeration mode for high-copper nis mattes is shown.

Одним из возможных перспективных направлений развития Норильского комбината является получение коллективного рудного концентрата с соотношением меди к никелю ~ 2:1 и плавкой этого концентрата в печах с образованием файнштейна с аналогичным отношением меди к никелю. Существующее отношение Cu к Ni в файнштейне колеблется от 0,6 до 1,2, причем основная часть файнштейна имеет состав с соотношением Cu к Ni < 1:1.

В настоящее время файнштейн Норильского комбината перерабатывается флотационным разделением с получением медного и никелевого концентратов. Для минимизации капиталовложений целесообразно было бы сохранить эту технологию и для переработки медистых файнштейнов.

Однако лабораторными исследованиями по флотационному разделению файнштейнов в диапазоне отношений Cu:Ni = = (0,7-2):1 установлено, что при условии их охлаждения в стандартном промышленном режиме увеличение отношения меди к никелю приводит к росту суммы загрязняющих металлов в концентратах. Качество никелевого концентрата особенно ухудшается, когда массовая доля в нем меди достигает 10,3 % при отношении Cu:Ni в исходном файнштейне 2:1. Содержание никеля в медном концентрате составляет при этом 2,2 %, т.е. сумма загрязняющих металлов достигает 12,5 %, что на 5 % выше, чем при флотационном разделении файнштейнов с соотношением Cu:Ni < 1:1.

Известно, что показатели флотационного разделения во многом определяются структурой файнштейна [1-5]. Чтобы разобраться в причинах ухудшения показателей флотационного разделения, нами изучены структуры файнштейнов в диапазоне отношений Cu:Ni = (0,7-2,3):1, охлажденных в режиме, близком к реализуемому в промышленных условиях:

°C	1200-1000	1000-700	700-400	400-250
°C/ч	50	25	10	25

Файнштейны с различным соотношением Cu к Ni были синтезированы из промышленного файнштейна Норильского комбината (состав по массе, %: Cu 27,42; Ni 45,66; Co 1,26; Fe 3,07; S 22,47) и химически чистых сульфидов меди, железа, кобальта, никеля и железа металлического. Шихту приготавливали таким образом, чтобы степень металлизации файнштейна неза-

висимо от соотношения меди к никелю оставалась постоянной. Образцы файнштейнов исследовали методами оптической микроскопии (ОМ), растровой электронной микроскопии и рентгеноспектрального микроанализа.

Исследованием установлено, что основными структурными составляющими файнштейнов независимо от отношения в них меди к никелю являются: сульфид меди и железа, по составу близкий халькозин-борнитовому твердому раствору $(Cc\text{-}Bn)_{SS}$; сульфид никеля, по составу близкий хизлевудитовому твердому раствору $(Hz)_{SS}$; фаза металлического твердого раствора Me. С увеличением Cu : Ni от 0,7 : 1 до 2,3 : 1 массовые доли структурных составляющих изменяются, %: $(Cc\text{-}Bn)_{SS}$: Cu = 70,2÷73,7 (Ni 0,01-1,0; Fe 4,9-4,0; S 21,4-22,2); $(Hz)_{SS}$: Cu = 0,87÷1,4 (Ni 62,3-69,8; Fe 4,9-0,11; S 27,4-25,6); Me: Cu = 6,9÷9,4 (Ni 74,0-77,2; Fe 14,5-11,7; S < 1,4). При сравнении проб с отношением меди к никелю от 0,7 : 1 до 2,3 : 1 был обнаружен ряд изменений строения файнштейнов. С увеличением отношения меди к никелю от 0,7 : 1 до 2,3 : 1 объемная доля $(Cc\text{-}Bn)_{SS}$ возрастает с 15-25 до 65-75%, доля $(Hz)_{SS}$ снижается с 75-80 до 15-20 % соответственно. Отметим, что с увеличением объемной доли $(Cc\text{-}Bn)_{SS}$ размер дендритных ветвей растет от 0,09 до 0,25 мм. Однако с увеличением отношения меди к никелю происходит не только увеличение степени разветвленности дендритов $(Cc\text{-}Bn)_{SS}$ и их толщины: меняется характер расположения металлической фазы. Если в файнштейне с преобладающей долей $(Hz)_{SS}$ металл Me ассоциирован с $(Hz)_{SS}$, то при преобладании доли $(Cc\text{-}Bn)_{SS}$ он ассоциирован главным образом с $(Cc\text{-}Bn)_{SS}$.

Такое расположение Me в высокомедистых файнштейнах объясняется не только и не столько увеличением объемной доли $(Cc\text{-}Bn)_{SS}$, но и изменением порядка кристаллизации. Если для файнштейнов с преобладающей долей $(Hz)_{SS}$, как известно [1], характерен такой порядок кристаллизации: $(Cc\text{-}Bn)_{SS}$ – двойная эвтектика $(Cc\text{-}Bn)_{SS}$ – $(Hz)_{SS}$ – тройная эвтектика $(Cc\text{-}Bn)_{SS}$ – $(Hz)_{SS}$ – Me, – то для высокомедистых файнштейнов порядок кристаллизации следующий: $(Cc\text{-}Bn)_{SS}$ – двойная эвтектика $(Cc\text{-}Bn)_{SS}$ – Me – тройная эвтектика $(Cc\text{-}Bn)_{SS}$ – $(Hz)_{SS}$ – Me. Такой вывод сделан нами на основании анализа диаграмм фазовых равновесий в системе Cu – Ni – S. Установлено, что смена порядка кристаллизации происходит приблизительно при Cu : Ni ≈ 1,6 : 1.

Таким образом, становится понятной причина ухудшения качества концентратов при флотации медистых файнштейнов. Образование эвтектики «$(Cc\text{-}Bn)_{SS}$ – Me», имеющей структуру плотных сростков, приведет к загрязнению медного концентрата никелем, являющимся основой металла, а также никелевого концентрата за счет сульфида меди, ассоциированного с металлом, переходящим в никелевую ветвь при дальнейшей переработке файнштейна.

Следовательно, для улучшения показателей флотационного разделения требуется снизить скорость охлаждения на участках, где происходит кристаллизация $(Cc\text{-}Bn)_{SS}$ и эвтектики $(Cc\text{-}Bn)_{SS}$ – Me. По-видимому, благоприятно скажется на показателях флотации и снижение степени металлизации медистых файнштейнов. Как показывает анализ диаграмм фазовых равновесий, отношение Cu к Ni, при котором происходит смена порядка кристаллизации, сдвигается в сторону меди при увеличении содержания серы в файнштейне.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Рябко А.Г.* Переработка медно-никелевых файнштейнов с выделением магнитной фракции, коллектирующей благородные металлы: Автореф. дис. … канд. техн. наук / Ленинградский горный ин-т. Л., 1978. 21 с.

2. *Чижиков Д.М.* Исследование взаимодействия Cu_2S с никелем / Д.М.Чижиков, З.Д.Гуляницкая, Н.В.Белянкина // Изв. АН СССР. Металлы. 1972. № 4. С.92-96.

3. *Чижиков Д.М.* Исследование фазового состава сплавов Cu-Ni-S / Д.М.Чижиков, З.Д.Гуляницкая, Н.В.Белянкина // Изв. АН СССР. Металлы. 1974. № 3. С.80-86.

4. *Kullerud G.* High-Temperature Phase Relations in the Cu-Ni-S System / G.Kullerud, G.Moh // Carnegie Inst. Wash. Year Book, 1967. Vol.66. P.409-413.

5. *Kullerud G.* Система Cu-Ni-S. Экспериментальная петрология и минералогия / G.Kullerud, G.Moh // Труды геофизической лаборатории института Карнеги. Вып.62. М.: Недра, 1969. С.155-159.