Печи для реализации автогенных процессов плавки сырья цветных металлов

- Данные агрегаты характеризуются напряженными условиями тепловой работы и агрессивными средами, формирующимися в расплавах и газовой фазе.
- В связи с этим к конструктивным элементам печей предъявляются требования повышенной износо- и теплоустойчивости с одновременным решением вопросов максимального использования выделяющегося в процессе окисления сульфидов тепла.

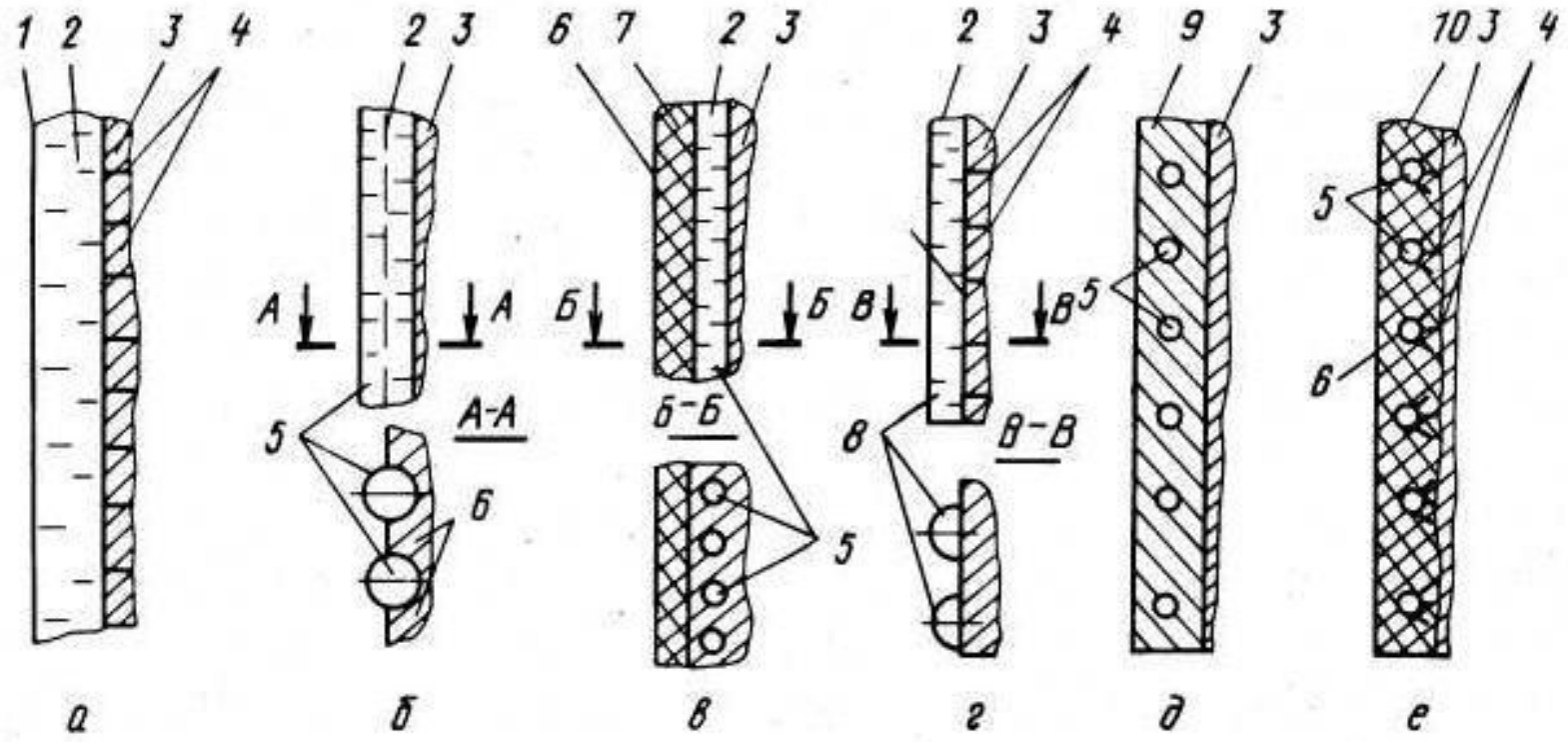
- *Огнеупорная футеровка* подвергается наиболее быстрому износу в автогенных металлургических агрегатах.
- Огнеупорная футеровка в процессе эксплуатации подвергается сложному воздействию температурных, химических и механических факторов.
- Основными причинами разрушения огнеупоров в ванне расплава является растворение их в шлаке, скалывание, растрескивание, истирание и др. При этом разрушение происходит под влиянием одновременно нескольких факторов.

- Огнеупоры характеризуются рядом физических свойств: пористостью, газопроницаемостью, теплопроводностью, теплоемкостью и др.
- Основные характеристики, отражающие эксплуатационные свойства огнеупорных материалов: шлакоустойчивость, механическая прочность, термическая стойкость.

- Кладка выполняется преимущественно периклазохромитовыми огнеупорами, а также из высококачественного хромомагнезитового и частично магнезитового кирпичей.
- Кроме того применяют огнеупоры из более плотного плавленого хромомагнезита.
- Толщина футеровки выбирается из условий тепловой работы и механической прочности. Так, в нижней части печей толщина стен доходит до 700 - 1000 мм.
- Для увеличения срока службы футеровки используются закладные охлаждаемые элементы (кессоны).

- Наиболее перспективными для агрегатов автогенной плавки являются кессоны, полученные из высокотеплопроводного материала, с увеличенной толщиной стенки со стороны расплава.
- Достаточная толщина стенок и высокая теплопроводность (например, медного проката) предотвращают или значительно снижают возможные последствия кратковременных отклонений от стационарных тепловых условий - локальных тепловых ударов, обеспечивая быстрое растекание тепла по всей массе кессона.

- Расположение и число кессонов на конкретном агрегате должны отвечать некоторому оптимуму.
- Чем чаще поставлены кессоны в футеровке, тем больше кладка выдержит воздействие со стороны рабочего пространства печи и тем значительнее теплопотери с охлаждением, что неблагоприятно действует на тепловой баланс и технико-экономические показатели плавки.
- Удачно выбранные расстояния между кессонами и режимы охлаждения на финских печах взвешенной плавки продлевают кампанию до 3—4 лет без остановки на капитальный ремонт



Схемы конструкций коробчатого стального (*а*); трубчатого стального (*б*, *в*); полутрубного стального (*г*); медного литого со стальным змеевиком (*д*); змеевикового набивного (*е*) кессонов:

1 — стальной короб; *2* — охлаждаемая полость; *3* — слой гарнисажа; *4* — стальные шипы; *5* — стальные трубы; *6* — стальной газоплотный каркас; *7* — термоизоляция; *8* — стальные полутрубы; *9* — медное тело; *10* — огнеупорная набивная масса

ГОРЕЛОЧНО-ДУТЬЕВЫЕ И ЗАГРУЗОЧНЫЕ УСТРОЙСТВА

- Главный узел агрегатов автогенной переработки сырья - горелочные и дутьевые устройства, обеспечивающие процесс плавления и тепловую работу агрегатов.
- Основным рабочим агентом при этом является окислительный газ (воздух, воздухокислородная смесь, кислород).
- При необходимости (недостаток тепла от сульфидной шихты) подается дополнительно углеродистое топливо.
- От конструктивного оформления горелочно-дутьевых устройств, правильности выбора их параметров и эксплуатационных характеристик зависят показатели работы агрегата и эффективность технологического процесса.
- Наряду с сжигательно-отопительными функциями эти устройства, выполняют функции загрузочных приспособлений.

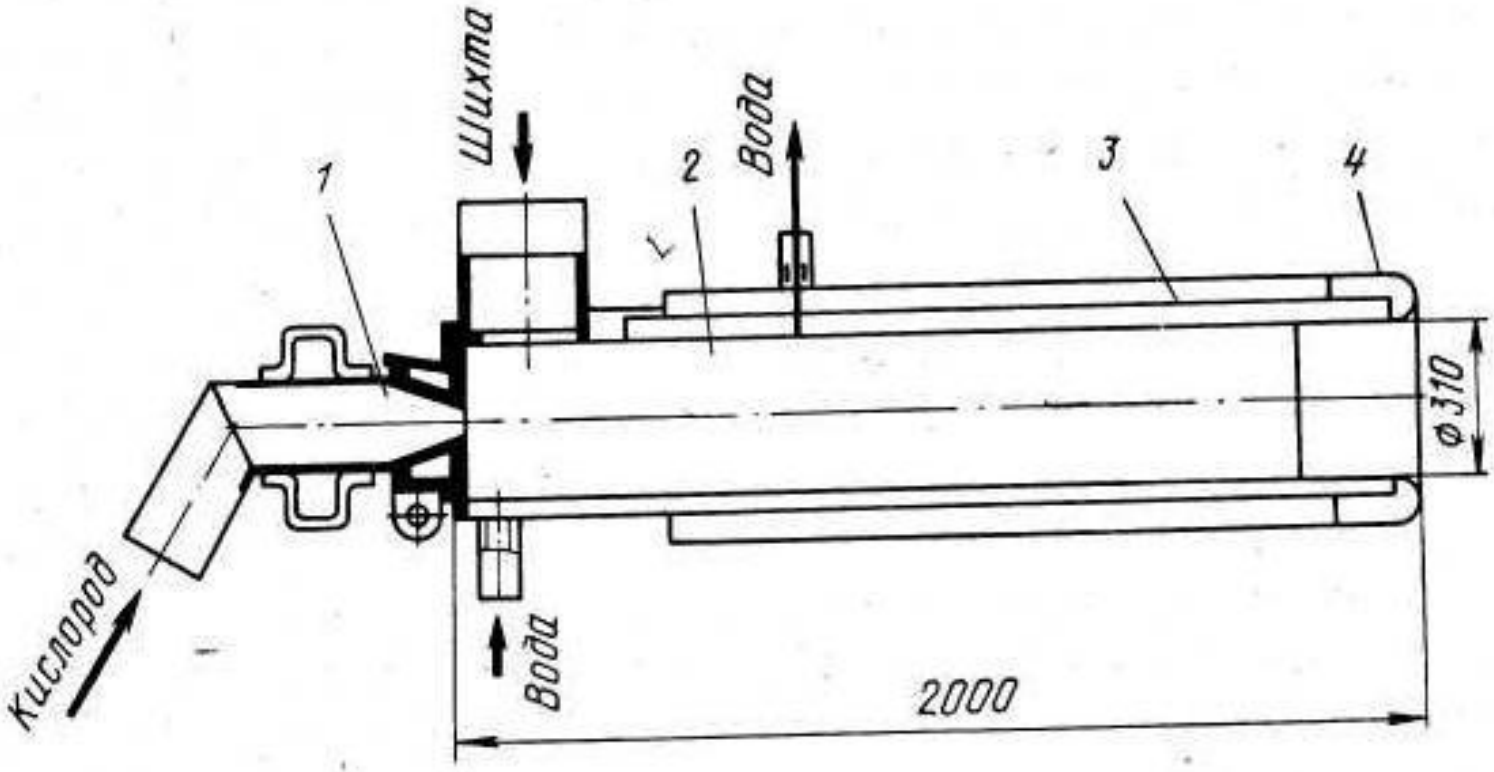
- Горелочно-дутьевые устройства принципиально отличаются между собой в зависимости от назначения плавки - в газовой фазе или в расплаве.
- ***При плавке в газовой фазе*** через эти устройства подают и перерабатываемую шихту, т.е. они являются ***шихтово-воздушными, шихтово-кислородными*** горелками.
- ***При плавке в расплаве*** дутьевые фурмы или фурмы-горелки служат в основном для подачи в ванну расплава газообразного окислителя (конвертеры, печи ПВ и др.), но на некоторых агрегатах одновременно выполняют функцию загрузки концентратов (вертикальные конвертеры, агрегат "Мицубиси" и др.).

- Основным требованием к шихтовым горелкам на финских печах, работающих на подогретом воздухе и (или) с невысоким обогащением его кислородом, является обеспечение равномерного распыливания шихты в верхней части реакционной зоны.
- На выходе из горелок шихта должна быть так распределена, чтобы максимум технологических реакций проходил в объеме реакционной шихты, а количество частиц концентрата и продуктов его окисления, попадающих на зеркало ванны, было минимальным.

- Ориентировочные скорости потоков в горелках, м/с:
- воздуха - 90 - 100;
- шихты на выходе - 3 - 5;
- шихтово-воздушной смеси на выходе из горелки - 45 - 50.

- На больших печах (диаметр плавильной шахты - 7 - 8 м) обычно устанавливают симметрично 3-4 горелки, а на малых печах - одну горелку в центре свода реакционной шахты.
- При дополнительном отоплении плавильной зоны между шихтовыми горелками устанавливают мазутные форсунки или газовые горелки.

- Условия работы шихтово-кислородных горелок на печах КФП существенно отличаются от работы шихтово-воздушных горелок.
- Если в финских печах частицы шихты движутся в основном под действием гравитационных сил (в вертикальной плавильной шахте), то в печах КФП при горизонтальном направлении факела поток сжатого кислорода должен придать частицам скорости, которые обеспечат их взвешенное состояние.
- Длительность пребывания частиц в этом состоянии должна обеспечить протекание реакций и процесс плавления.



Шихтово-кислородная горелка печи КФП АГМК:
1 – кислородное сопло; *2* – труба шихтово-кислородной смеси (ствол горелок); *3* – водоохлаждаемый корпус; *4* – выходной наконечник

- Основные показатели работы шихтово-кислородной горелки:
- Производительность по шихте, т/ч - 25-30
- Давление кислорода (избыточное), кПа - 4,9
- Расход кислорода, $м^3$/ч 6000 - 7500
- Скорость, м/с:
- кислорода на выходе из сопла 80 — 100
- шихтово-кислородной смеси на выходе из горелки 20-25

- Кислородное сопло горелки сделано съемным.
- Кислород к горелке подводится гибким кислородопроводом, шихта подается в патрубок по гибкому трубопроводу.

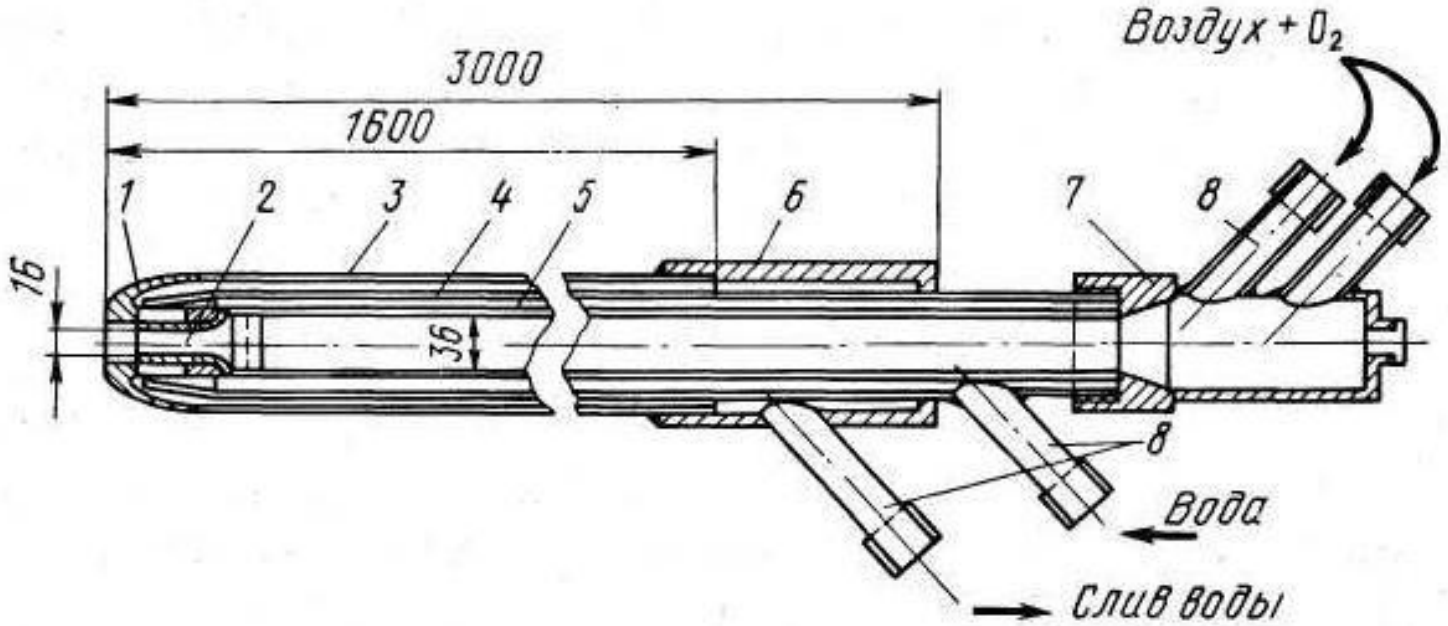
- Относительно небольшая длина шихтово-кислородного факела позволяет отказаться от горизонтальной установки горелок и располагать их на своде плавильной зоны без сооружения специальной плавильной шахты, как это делается на финских печах.
- Такое техническое решение имеет ряд преимуществ: упрощается конструкция печного агрегата, увеличивается удельная производительность, снижается пылевынос.

Дутьевые устройства

- Дутьевые устройства на агрегатах плавки в расплавах выполняют две основные функции: подают окислитель в расплав и интенсивно перемешивают жидкую ванну.
- Интенсивный барботаж ванны расплава, определяющий высокую интенсивность тепло-массообмена и технологических процессов, является основным отличительным признаком по сравнению с другими автогенными процессами.
- Дутьевые устройства должны обеспечить необходимые газовые нагрузки и соответствующее перемешивание ванны.
- Дальнобойность струй в расплаве определяется диаметром сопел и скоростью истечения газа.

- Дутьевые устройства во время работы подвергаются высоким температурам и агрессивным свойствам продуваемых расплавов.
- В случае же загрузки сыпучих материалов через эти устройства добавляется эрозионное воздействие на металлические поверхности.
- Использование кислорода и при необходимости природного газа еще более осложняет работу дутьевых устройств и усложняет их конструктивное оформление.

- На горизонтальных конвертерах, работающих на воздушном дутье или с небольшим обогащением кислородом, используются стандартные фурмы без охлаждения, состоящие из стальной трубки постоянного сечения, проходящей через футеровку бочки и снабженной шариковым клапаном на внешнем конце.
- На печах Ванюкова, работающих с боковой подачей в расплав воздушно-кислородной смеси или кислорода, фурмы или фурмы-горелки (при добавке природного газа) изготавливаются из меди и делаются охлаждаемыми.
- При верхней вертикальной продувке расплавов фурмы имеют большую длину и изготавливаются из меди и стали; медные детали с интенсивным охлаждением (сопла, наконечники) - на участке контакта с расплавом.

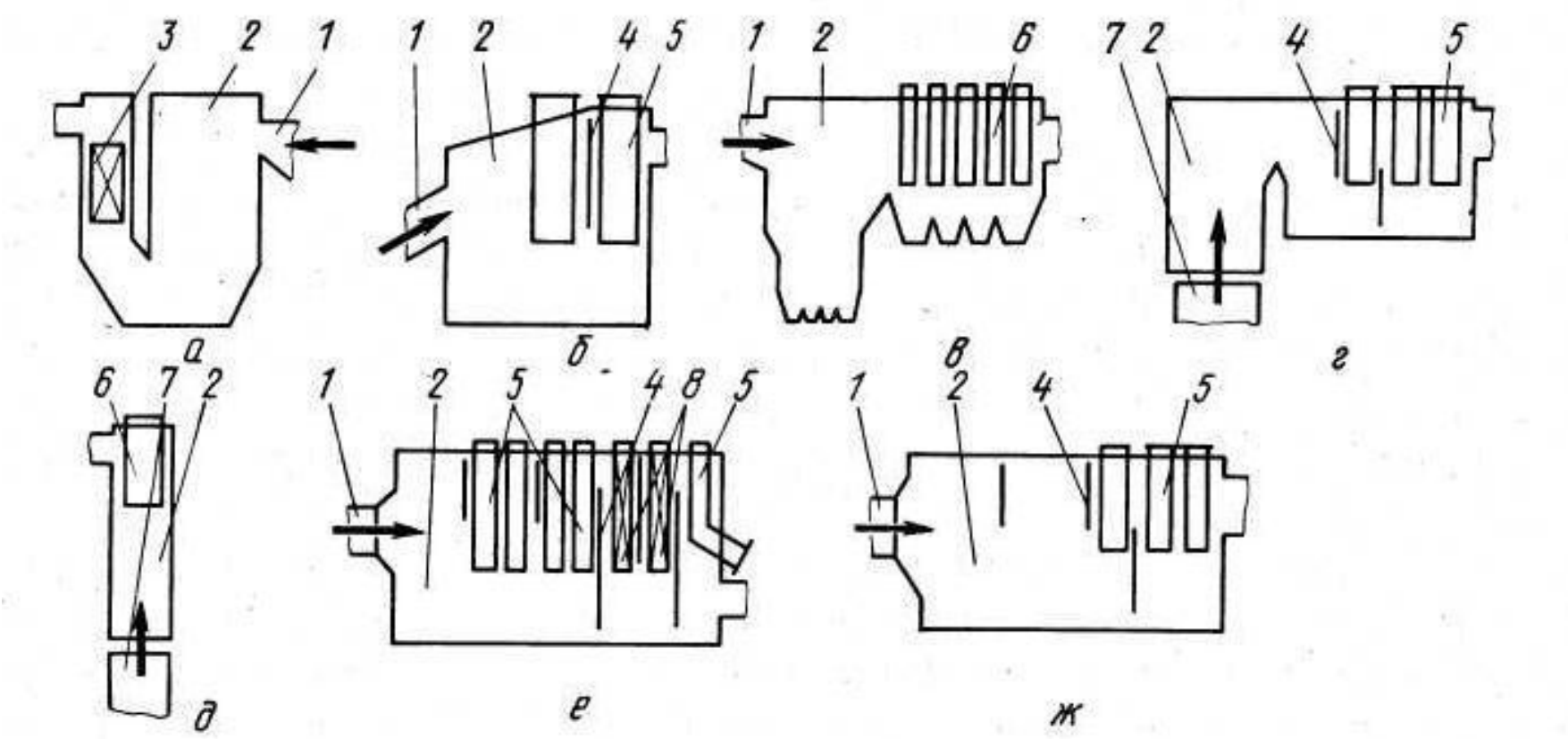


Фурма для вертикальной продувки расплава:
1 — головка сопла из меди (токарная обработка); *2* — сопло Лаваля из хромистой стали (шлифовка); *3* — кожух корпуса (труба цельнотянутая); *4* — средняя труба (шовная); *5* — дутьевой канал (цельнотянутая); *6* — соединительный стакан (токарная обработка); *7* — штуцерная коробка (токарная); *8* — штуцеры (токарная)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВТОРИЧНОГО ТЕПЛА

- Для агрегатов автогенной плавки важное значение приобретает задача использования вторичного тепла, поскольку теряется большое количество тепла:
- с отходящими технологическими газами, имеющими высокую температуру (1200 - 1300 °С);
- с охлаждением кессонированных элементов (на печах ПВ эта доля тепла в тепловом балансе составляет 14-20 %);
- с отвальными шлаками, которые имеют высокие температуры (1250- 1350 °С) и количество которых значительно превышает выход металлов (доля в тепловом балансе - до 30 %).

- Для утилизации тепла отходящих газов широкое применение нашли котлы утилизаторы



Схемы котлов-утилизаторов для агрегатов автогенной плавки:
АГМК (*а*), "Североникель" (*б*), НГМК (*в*), БГМК (*г*); Портовесме фирмы "Самим" (Италия) (*д*), АГМК (*е*), НГМК (*ж*):
1 — газоход соединительный; *2* — радиационная камера; *3* — пароперегреватель; *4* — перегородка; *5* — ширмы испарительные; *6* — пакеты испарительные; *7* — аптейк печи; *8* — ширмы пароперегревателя

- Для повышения комплексности использования сырья и энергетических ресурсов, помимо экономической целесообразности использования физического тепла жидких шлаков, большое значение имеет и качество подготовки шлаков для их последующего использования, например, в строительных целях.
- Для этого на металлургических предприятиях проводят грануляцию шлаков на их выпуске из печей.

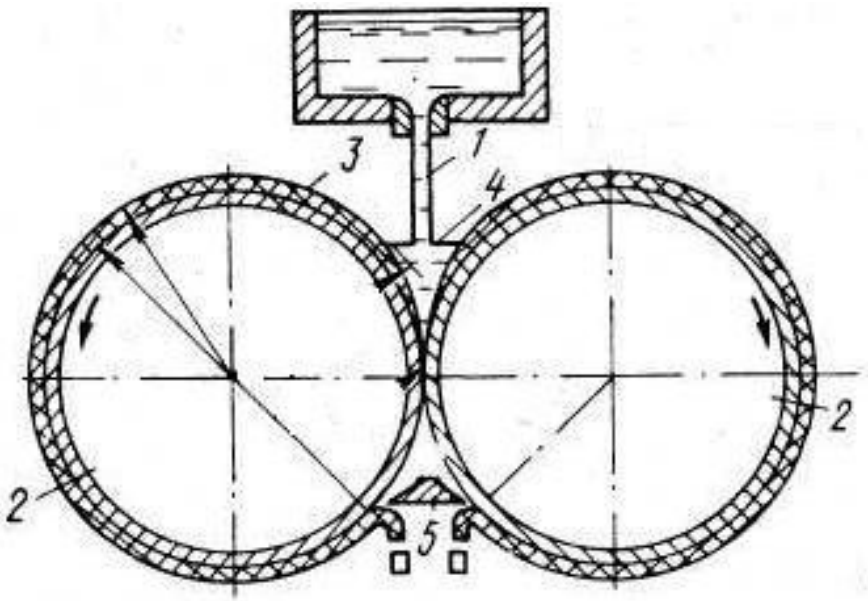
- В настоящее время широкое распространение получила водная грануляция расплавленных шлаков, существенными недостатками которой являются: большой расход воды и энергии на ее подачу, сложность утилизации низкопотенциального (до 60 - 80 °С) тепла проточной воды, сложности ее очистки.

- Для агрегатов автогенной плавки сырья, особенно работающих в непрерывном режиме, предусмотрено обеспечение установками сухой грануляции шлаков с полезным использованием их тепла в виде пара или горячего воздуха.

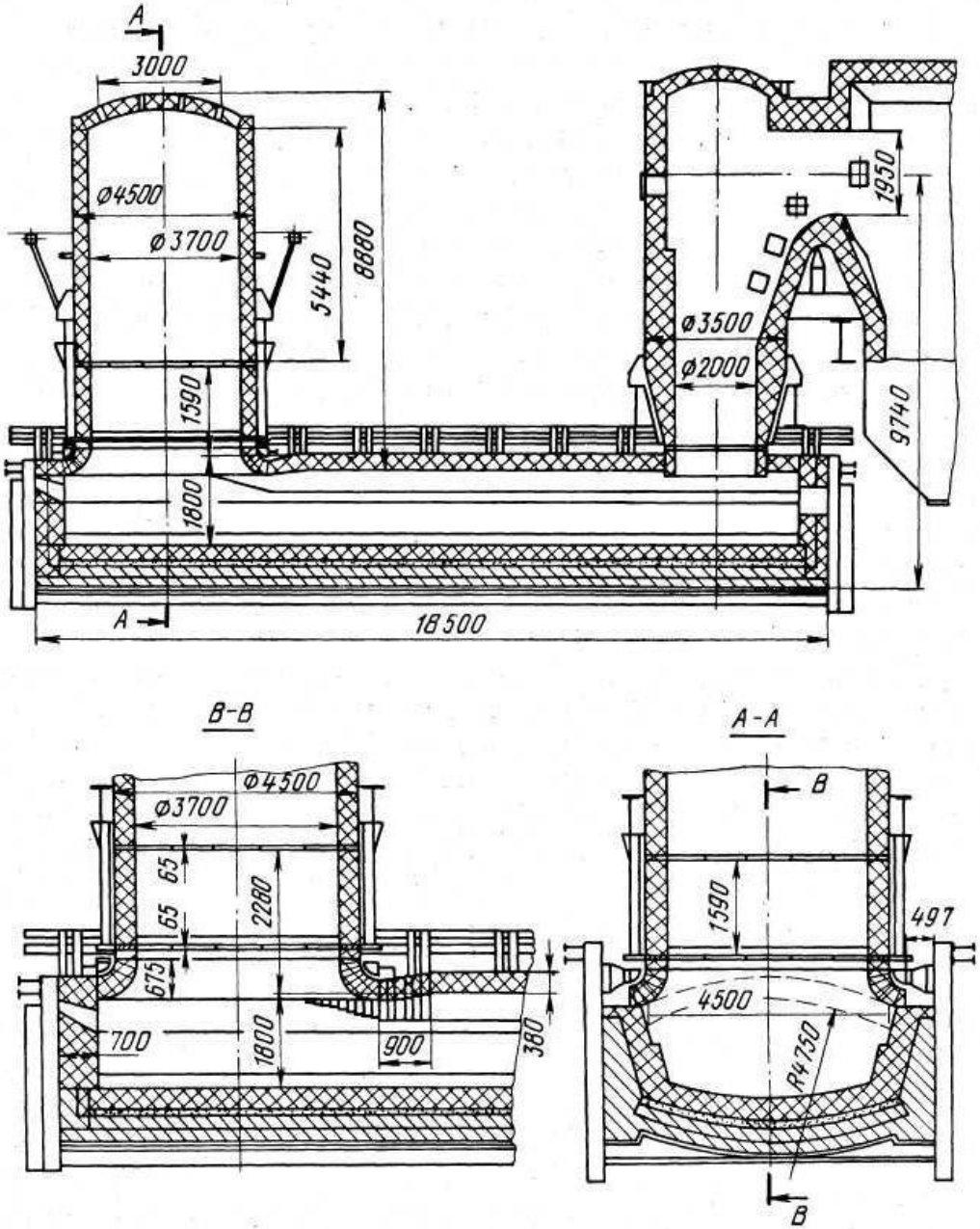
- Принцип действия установки заключается в следующем: расплавленный шлак подается на поверхность барабанов и в процессе вращения кристаллизуется в виде ленты. Промежуточный теплоноситель в барабанах интенсивно кипит, отдавая тепло; образовавшийся пар поступает в зону конденсации, где конденсируется, возвращая тепло основному (рабочему) теплоносителю, а образовавшийся конденсат под действием гравитационных сил возвращается в зону испарения.

Схема непрерывной грануляции шлаков

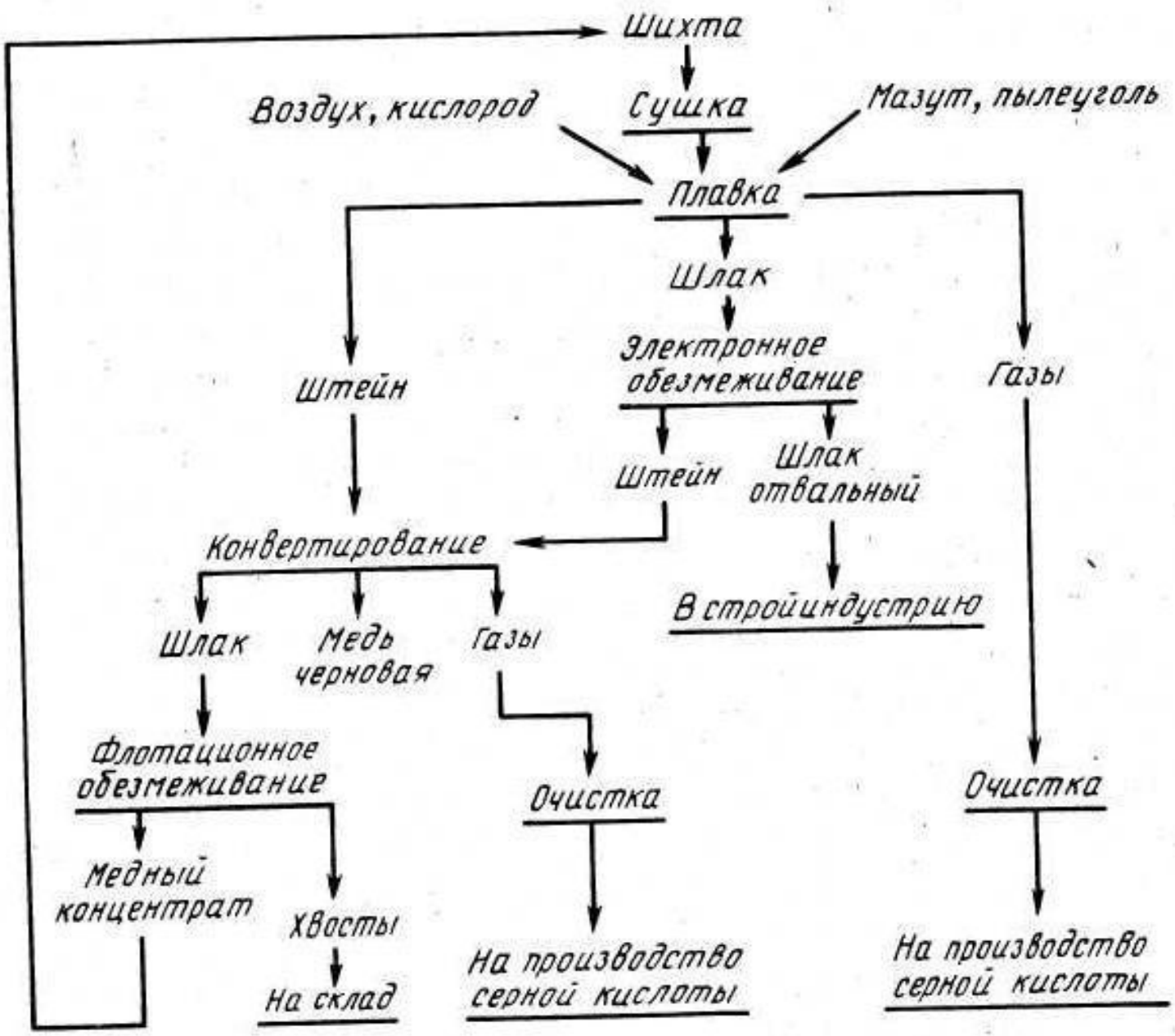
1 – струя шлака; *2* – цилиндры (барабаны); *3* – затвердевший слой шлака; *4* – жидкая ванна шлака; *5* – устройство для скалывания шлака.



ПЛАВКА ВО ВЗВЕШЕННОМ СОСТОЯНИИ



Печь взвешенной плавки



Технологическая схема плавки во взвешенном состоянии

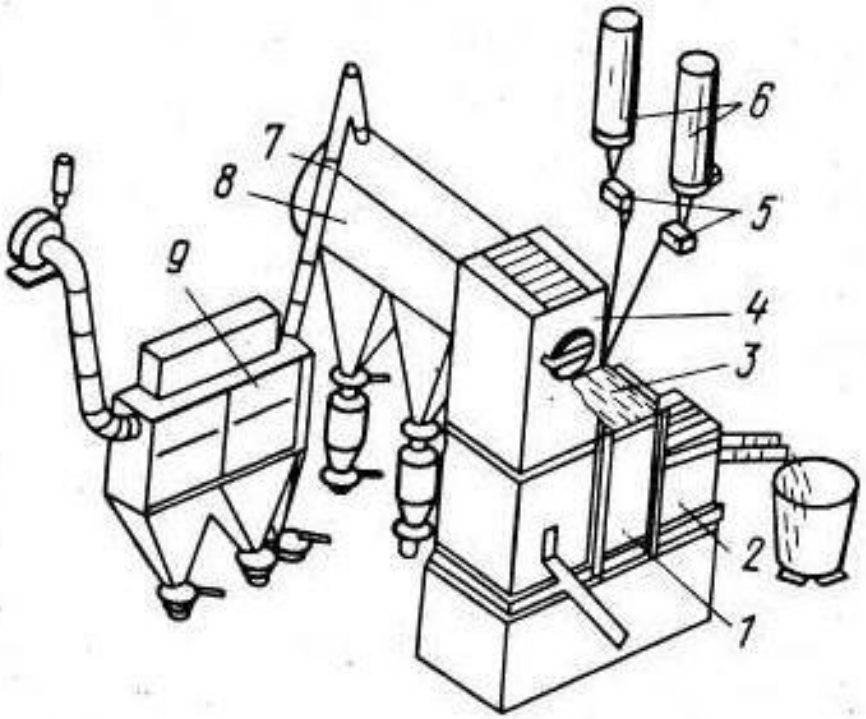
Энергетические расходы при взвешенной плавке

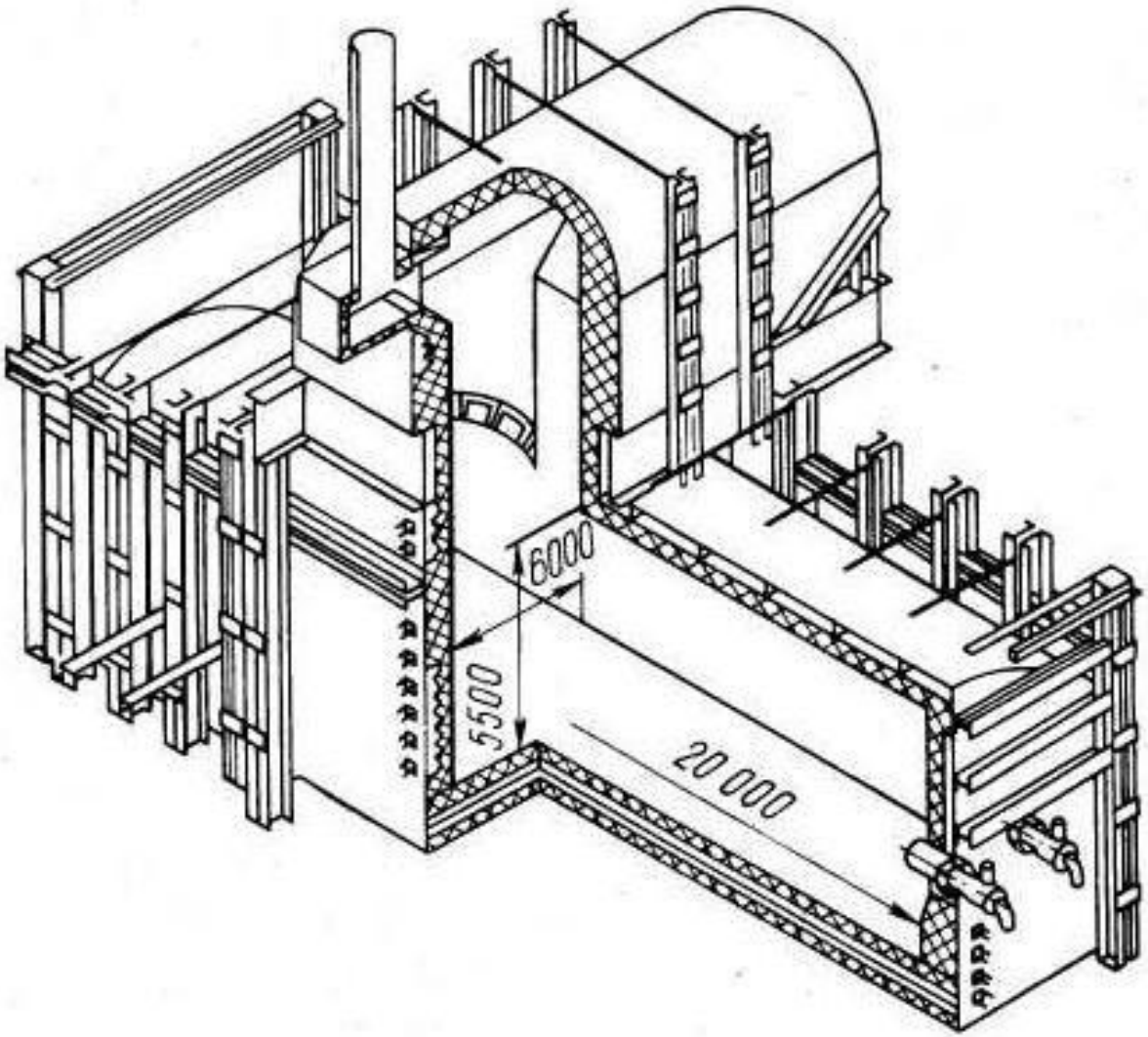
Статьи расхода	Расход			
	нефти, кг	O_2, $м^3$	электроэнергии, кВт · ч	суммарный пара, кг
Сушка концентрата	8		4	20
Плавка во взвешенном состоянии	15	100	15	285
Расход пара на нагрев дутья	—	—	—	110
Конвертирование		10	15	96
Флотационное обеднение шлаков	—	—	50	250
Отливка анодов	6	—	2	10
Перегрев технологического пара	9			
Всего:	38	110	86	771

Примечание: на 1 $м^3$ O_2 расходуется 2,1 кг пара; на 1 кВт · ч электроэнергии 5 кг пара.

КИСЛОРОДНО-ФАКЕЛЬНАЯ ПЛАВКА

Схема установки кислородно-факельной плавки:
1 — плавильная зона печи; *2* — отстойник шлака; *3* — шихто-кислородная горелка; *4* — аптейк печи; *5* — система регулирования расхода шихты; *6* — бункер-питатель; *7* — газоход; *8* — газоохладительная камера; *9* — электрофильтр двухпольный



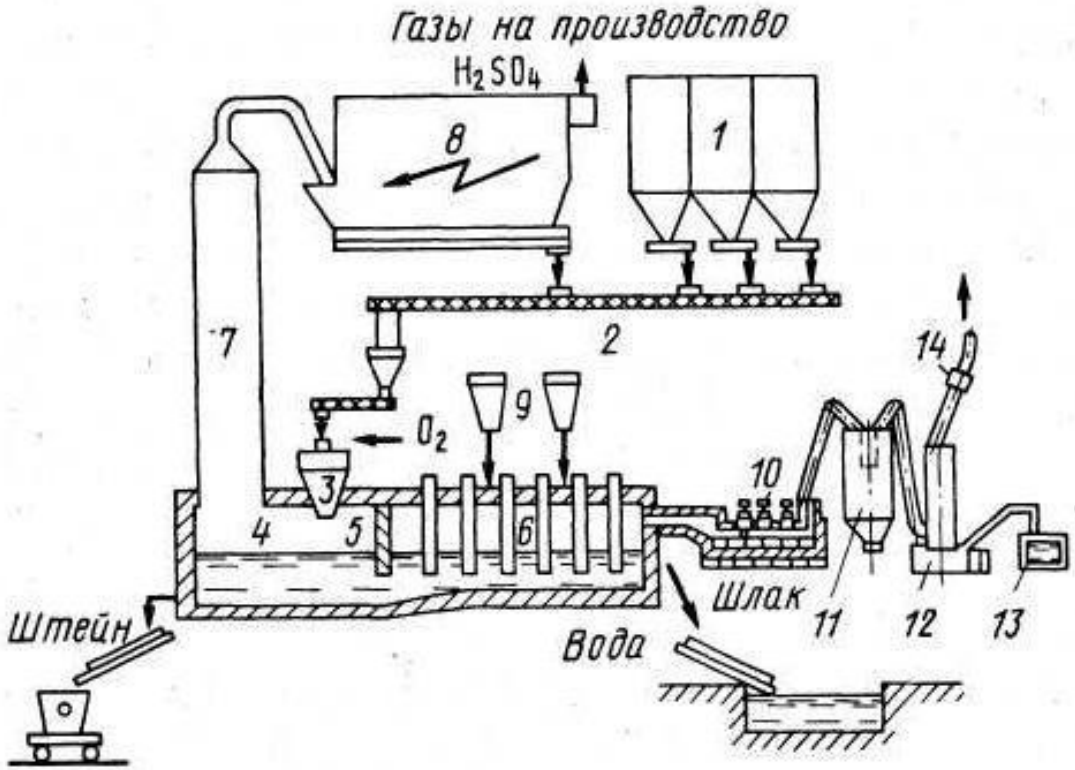


Печь КФП

- Основные технико-экономические показатели работы комплекса КФП следующие:

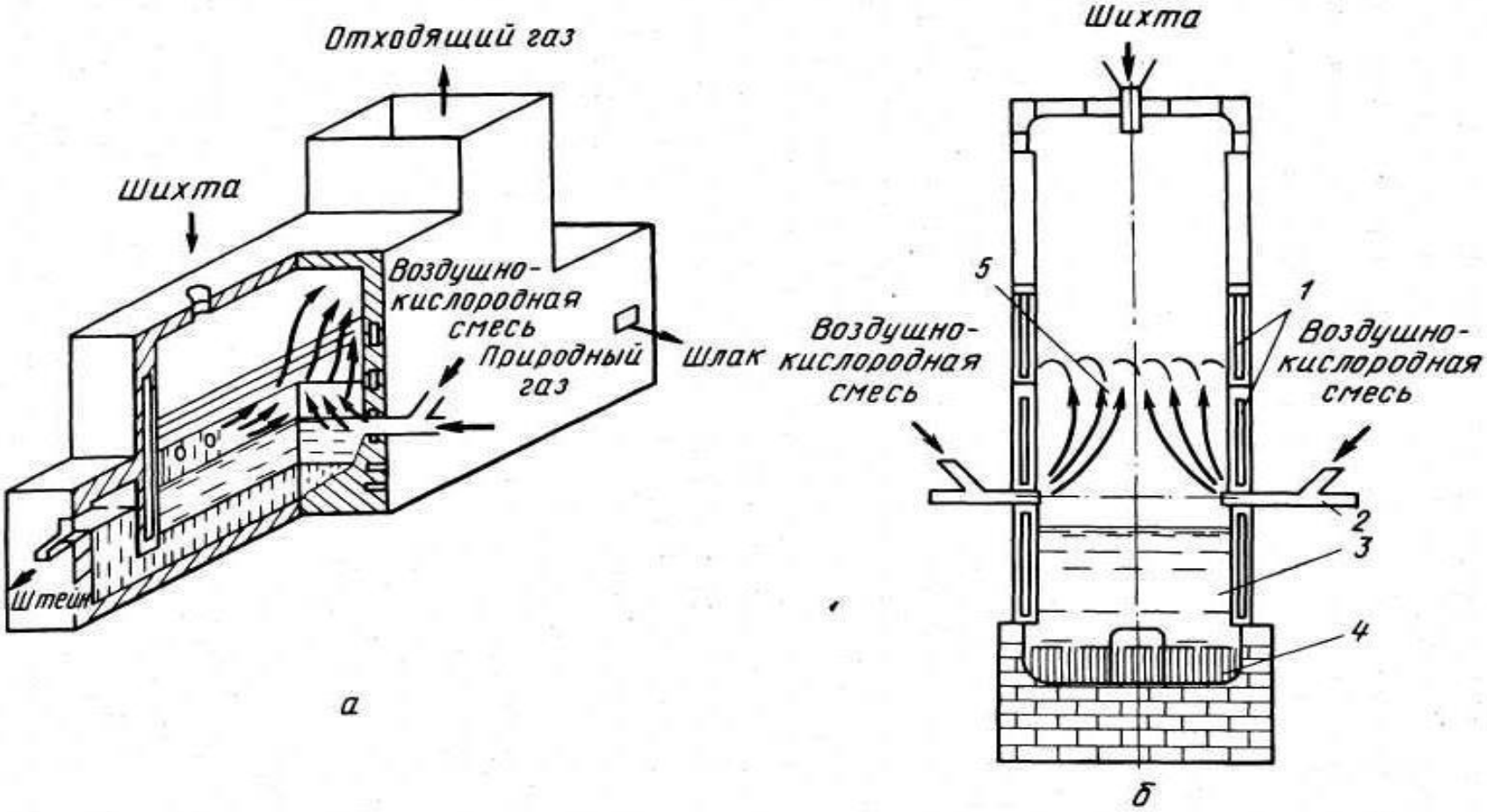
- Удельный проплав шихты, т/(м^2 · сут.)... 15 - 16
Содержание меди, %:
- в штейне 40
- в шлаке 0,7
- Извлечение меди в штейн, % 97,2
- Содержание SO_2 в газах, % 75

КИВЦЭТ



Аппаратурная схема промышленной кивцэтной установки:
1 — расходые бункера; *2* — сборный шнек; *3* — плавильный циклон; *4* — отстойная камера; *5* — разделительная перегородка; *6* — электропечь; *7* — газоохладительный стояк; *8* — электрофильтр ЭВС; *9* — бункера для загрузки коксика; *10* — струйный конденсатор; *11* — инерционный пылеуловитель; *12* — скруббер; *13* — камера дожигания паров цинка; *14* — рукавные фильтры

Плавка в жидкой ванне

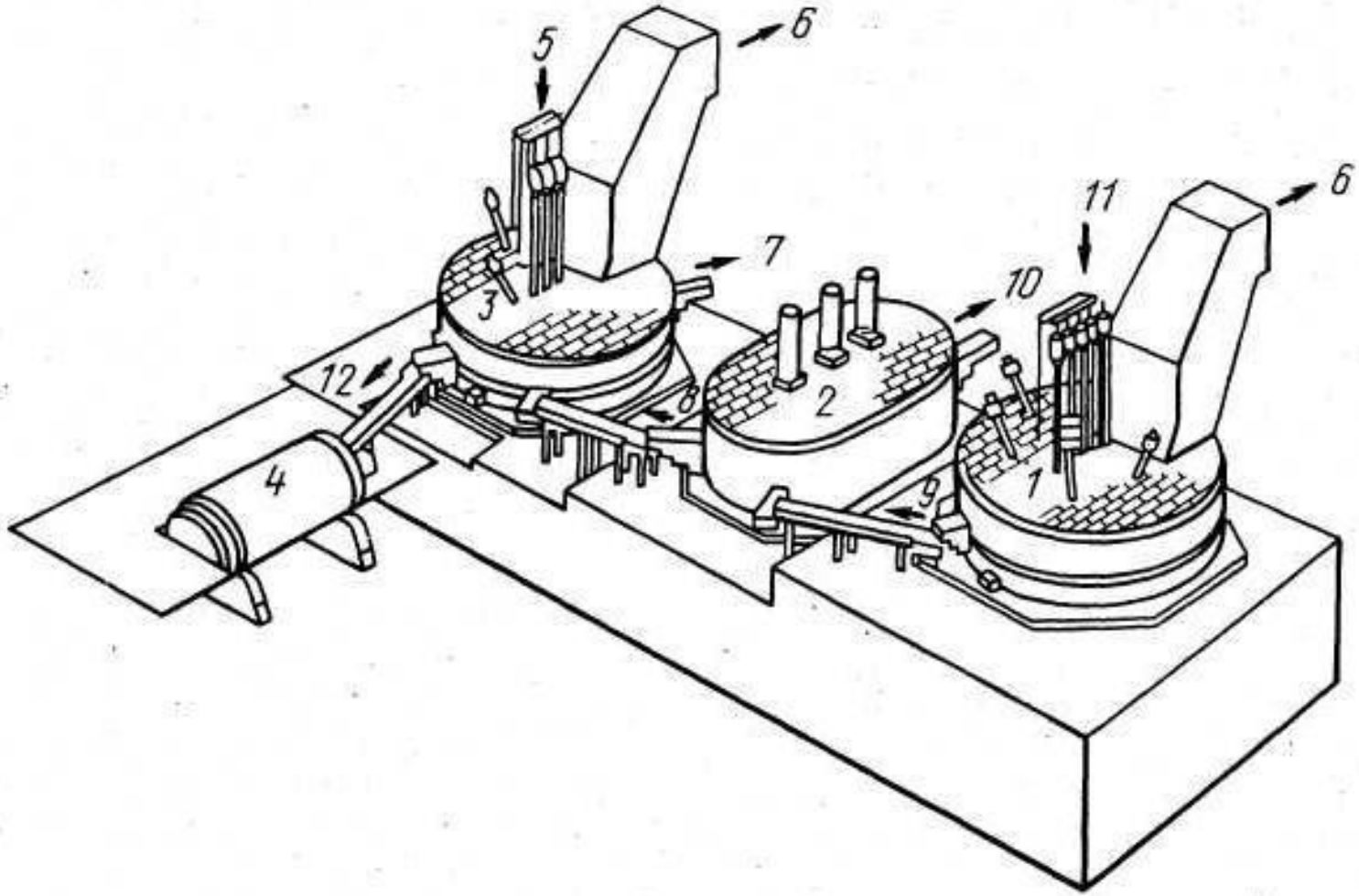


Общий вид (*а*) и поперечный разрез (*б*) печи для плавки Ванюкова (ПВ):
1 — кессоны; *2* — фурмы; *3* — шлак; *4* — штейн; *5* — эмульсия

- К группе автогенных процессов, использующих принцип плавки в расплаве, относятся внедренные в промышленность процессы Мицубиси, Норанда, плавка-конвертирование в конвертерах Эль-Тениенте и ТБРЦ (вращающийся конвертер с верхним дутьем).
- Отличается между собой процессы плавки в расплаве по способу подачи дутья и конструкции агрегатов.

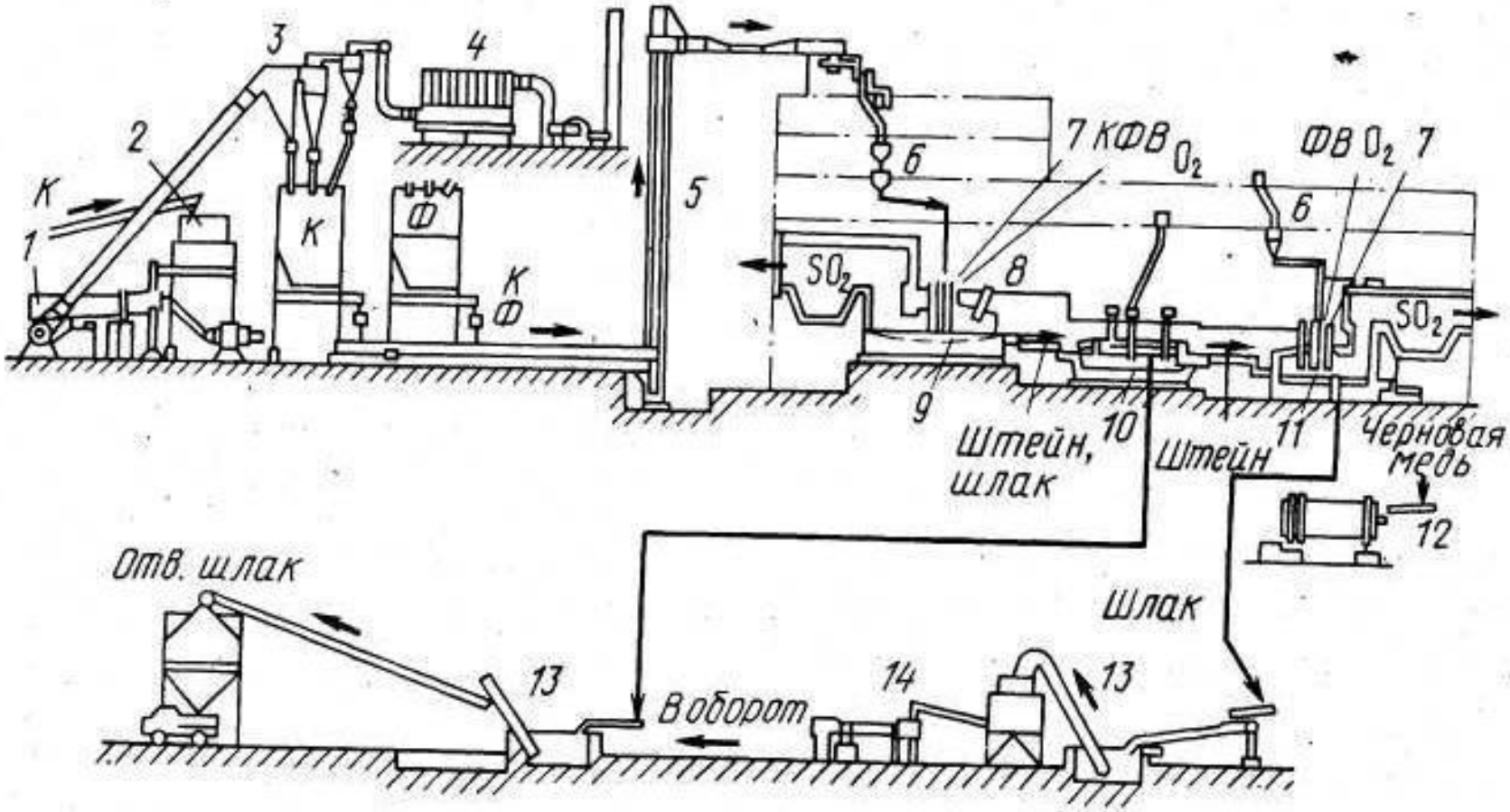
Непрерывный процесс выплавки меди по способу "Мицубиси"

- Процесс осуществляется в трех каскадно расположенных печах: плавильной, для обеднения шлака и конвертерной. Расплав перетекает из печи в печь непрерывно по отапливаемым желобам.



Общий вид установки для плавки медьсодержащего сырья по способу "Мицубиси": *1* – плавильная печь; *2* – печь для обеднения шлака; *3* – печь для конвертирования; *4* – миксер; *5* – флюс, воздух, кислород, охлаждающая жидкость; *6* – отходящий газ на сернокислотную установку; *7* – конвертерный шлак в оборот; *8* – штейн; *9* – штейн и шлак; *10* – шлак после обеднения; *11* – шихта, флюс, воздух, кислород; *12* – черновая медь

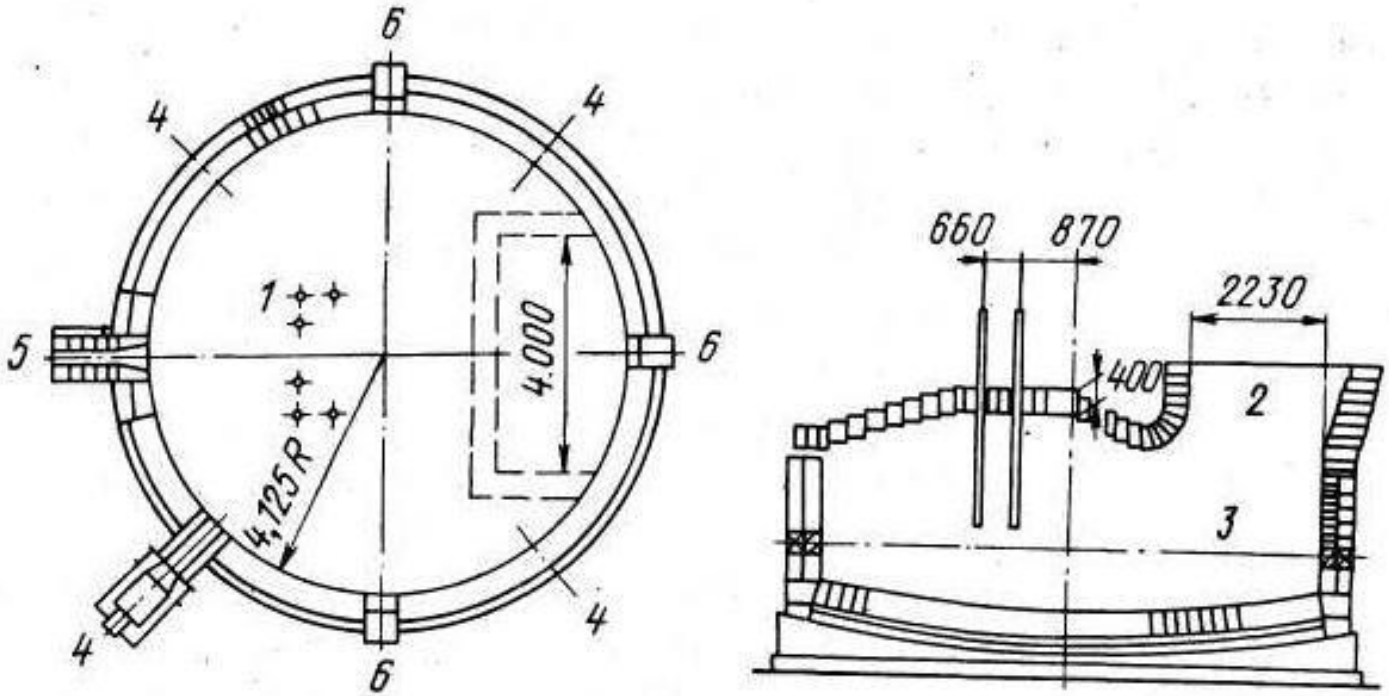
Общий вид установки для плавки медьсодержащего сырья по способу "Мицубиси": *1* – плавильная печь; *2* – печь для обеднения шлака; *3* – печь для конвертирования; *4* – миксер; *5* – флюс, воздух, кислород, охлаждающая жидкость; *6* – отходящий газ на сернокислотную установку; *7* – конвертерный шлак в оборот; *8* – штейн; *9* – штейн и шлак; *10* – шлак после обеднения; *11* – шихта, флюс, воздух, кислород; *12* – черновая медь



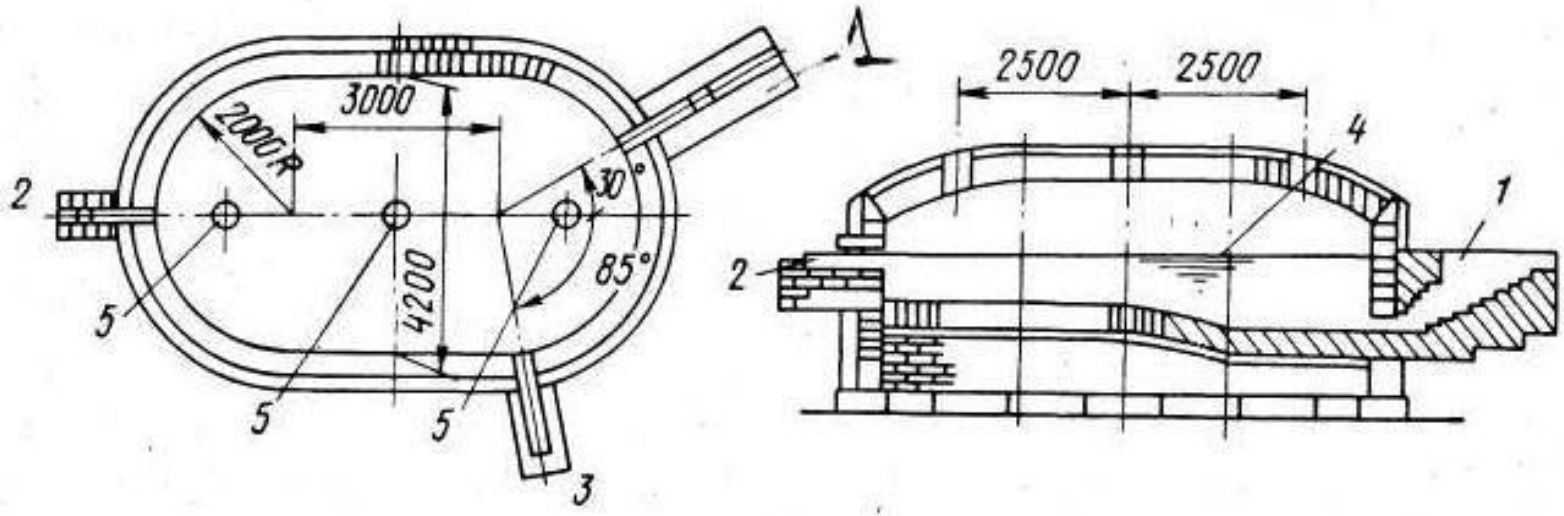
Аппаратурная схема завода "Наосима", работающего по способу "Мицубиси"

характеристики печей процесса "Мицубиси":

Тип печи	Плавильная	Обеднительная	Конвертерная
Форма	Круглая	Овальная	Круглая
Диаметр внутренний, мм:			
по кожуху	9250	8000 × 5200	7650
по футеровке	8250	7000 × 4200	6650
Максимальная высота по внутренней футеровке, мм	3311	2212	2935
Число фурм, шт	6	–	4
Подогрев печи	Мазутные горелки, 4 шт.	Электроды, 3 шт.	Мазутная горелка, 1 шт.
Максимальная глубина ванны, мм	1091	1108	745
шлаковой	100	600	150
штейновой	991	508	595



Конструкция плавильной печи процесса "Мицубиси":
1 – фурмы; *2* – аптейк; *3* – уровень шлака; *4* – форсунки; *5* – слив расплава; *6* – смотровые отверстия



Конструкция печи для обеднения шлака процесса "Мицубиси":
1 – сифон для штейна; *2* – слив шлака; *3* – подача расплава; *4* – уровень шлака; *5* – электроды

- ***Показатели процесса "Мицубиси»:***
- *Плавильная печь:*
- Концентрат, т/ч 40,6
- Флюс, т/ч 7,1
- Оборотный шлак, т/ч 3,11
- Воздух, $м^3$/ч 14740
- Технический кислород (80 % O_2), $м^3$/ч 6950
- Обогащение дутья 0_2> % 40
- Мазут в форсунке, л/ч 250
- Уголь, кг/ч 1020
- Объем отходящих газов, $м^3$/мин 376
- *Конвертерная печь:*
- Штейн, т/ч 19,3
- Известняк, т/ч 1,4
- Воздух, $м^3$/ч 12850
- Технический кислород, $м^3$/ч 1680
- Обогащение дутья 0_2, *%* . 21,8
- Мазут в форсунке, л/ч 80
- Объем отходящих газов, $м^3$/мин 223
- Содержание SO_2 в отходящих газах, % 21,3
- Черновая медь, т/ч 15,9

НОРАНДА

- Фирмой "Норанда" разработан процесс плавки медных концентратов с получением черновой меди в одну стадию. За основу принимался агрегат типа горизонтального конвертера.
- В 1973 г. введен в эксплуатацию первый промышленный реактор на заводе 'Торн" в Канаде.

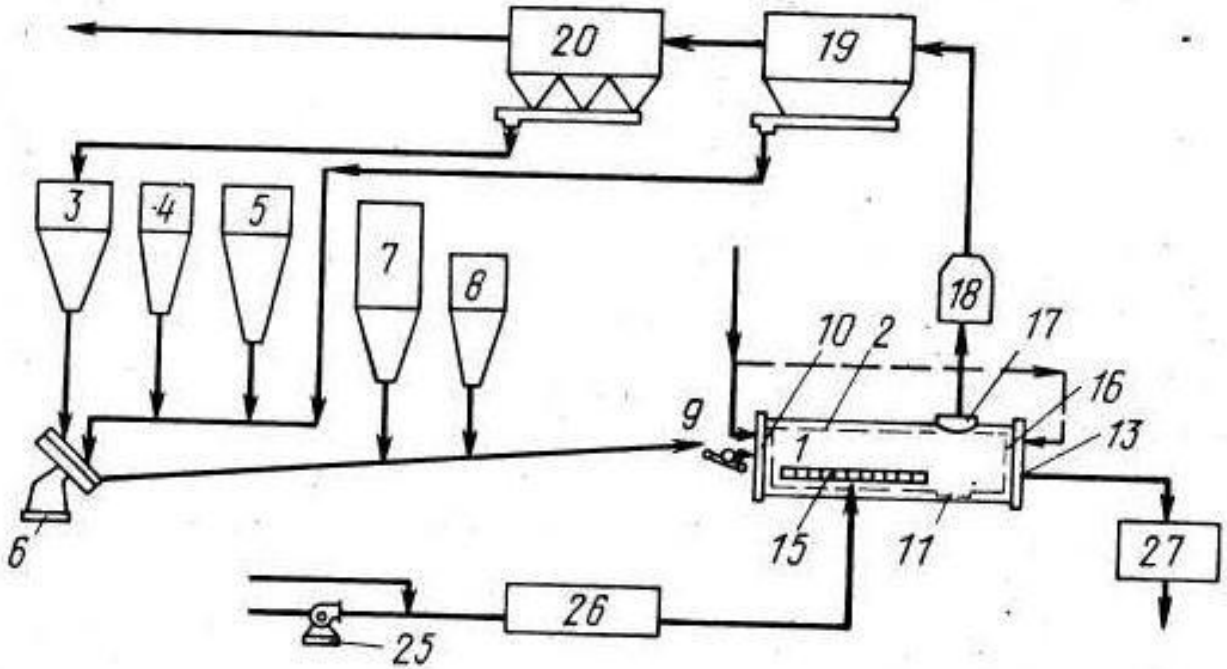
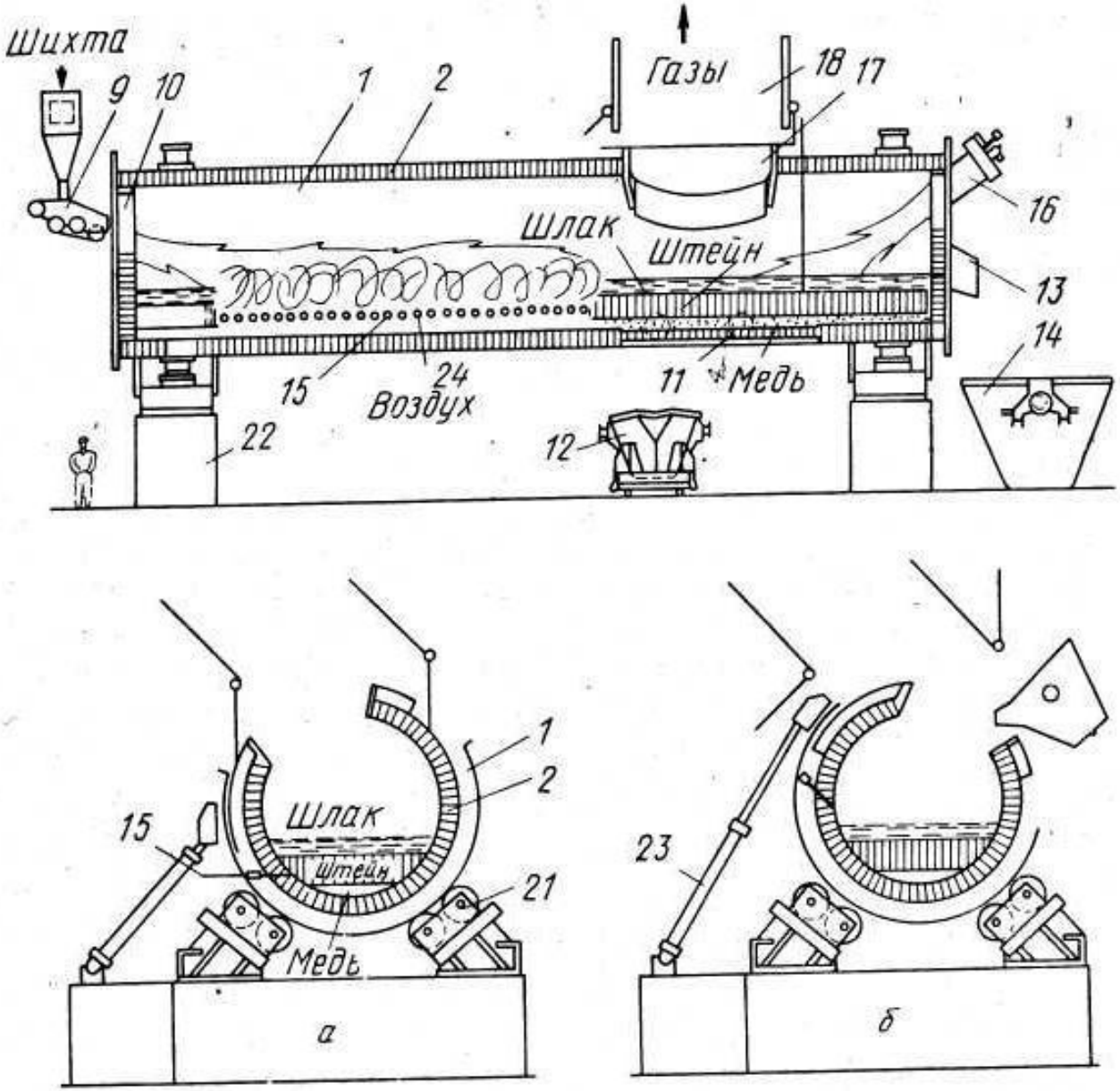


Схема цепи аппаратов процесса "Норанда":
1 — реактор; *2* — футеровка; *3, 4, 5* — бункера; *6* — гранулятор; *7* — бункер с флюсами; *8* — бункер с твердым топливом; *9* — питатель; *10* — горелка; *11* — штейновая летка; *12, 14* — ковши; *13* — шлаковая летка; *15* — фурмы; *16* — горелка; *17* — горловина реактора; *18* — напыльник; *19* — система охлаждения газов; *20* — система газопылеулавливания; *21* — опорные кольца; *22* — фундамент печи; *23* — штанга поршня; *24* — подача воздушного дутья в фурмы; *25* — воздуходувка; *26* — кольцевой воздухопровод; *27* — установка для флотации шлака



Продольный и поперечный разрезы агрегата "Норанда" в рабочем (а) и нерабочем (б) положениях

Технологические показатели процесса плавки по способу "Норанда" на воздушном дутье [125]

Показатели процесса	Продукты плавки	
	штейн	черновая медь
Производительность по концентрату, т/сут	903	728
Средняя скорость дутья, $м^3$/мин	1090	835
Избыток воздуха, подаваемого в горелку с загрузочного конца, $м^3$/мин	59,5	36,8
Степень использования кислорода воздушного дутья, %	95,0	96,5
Общий расход топлива, ГДж/т концентрата	3,78	5,70
Средний расход топлива, подаваемого в горелку с загрузочного конца, ГДж/ч	99,23	154,07
Расход твердого топлива, т/сут	37,0	13,0
Общий объем отходящих газов, $м^3$/мин	1728	1813
Содержание SO_2 в отходящих газах, %	7,7	6,7

Процесс «Аусмелт»

- В настоящее время известны следующие разновидности данной технологии плавки медных концентратов в агрегате с верти кальной погружной фурмой:
- *Процесс «Сиросмелт».* Разработан фирмой КСИРО (CSIRO, Австралия), первая печь по данной технологии внедрена (1987) на заводе «Маунт Айза» (Австралия). Процесс плавления, осно ванный на применении фурмы «Сиросмелт», изобретенный спе циалистами корпорации КСИРО (Австралийская правительст венная исследовательская организация) в 1973 году.
- *Плавка «Айзасмелт».* Процесс разработан фирмой «Маунт Айза Майнз лимитед» (Австралия) и предполагает использование погружной горелки «Сиросмелт». Первая демонстрационная установка была введена в эксплуатацию на медеплавильном за воде Маунт-Айза в 1987 г. Промышленное внедрение получила на медеплавильном заводе Маунт-Айза (Австралия) и на заводе Сапрус в Майами, шт. Аризона (США) в 1992 г.
- *Процесс «Аусмелт».* Технология разработана фирмой «Аус мелт» (Австралия), опробована в промышленном масштабе на заводе «Pandenong» (Австралия).

- В данных процессах используются вертикальные цилиндрические печи, оборудованные погружной вертикальной фурмой.
- Основным элементом технологий является вертикальная фурма, состоящая из 3-х (или 2-х) концентрически расположенных стальных труб, выполненных из нержавеющей стали.
- Сгорание топлива в смеси с воздухом происходит в камере сжигания в нижней части фурмы. Подача воздуха на охлаждение производится в межтрубную полость, образованную внешним кожухом и внутренней трубой.
- Длина кожуха выбирается таким образом, чтобы он постоянно находился над поверхностью шлаковой ванны (1 м) и обеспечивал защиту стальных конструкций горелки.

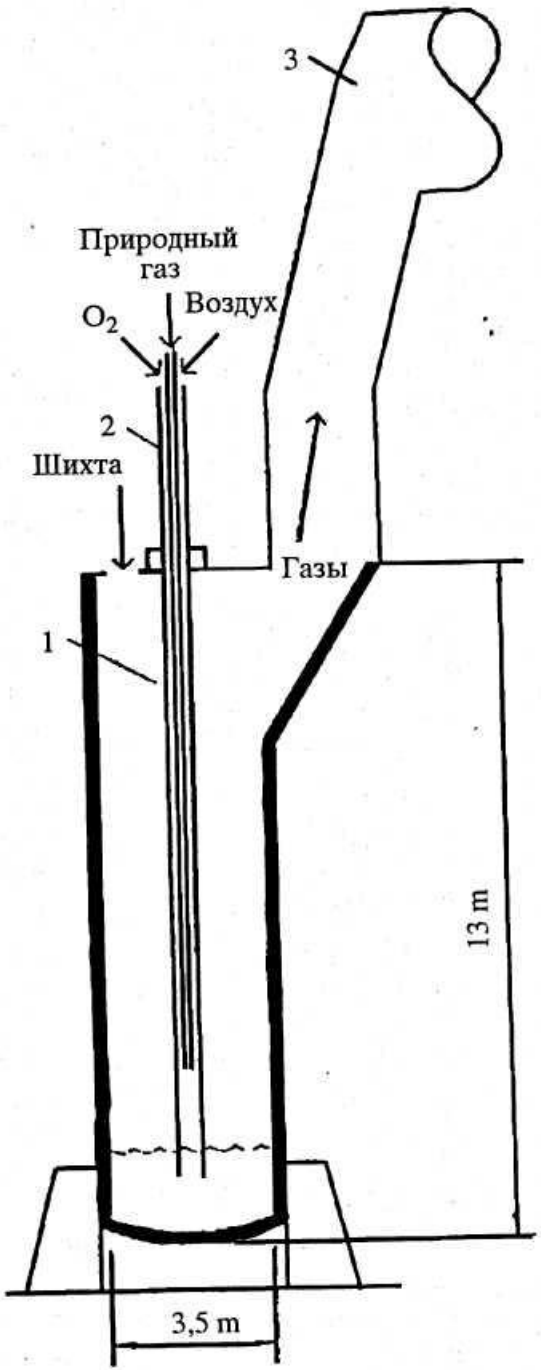
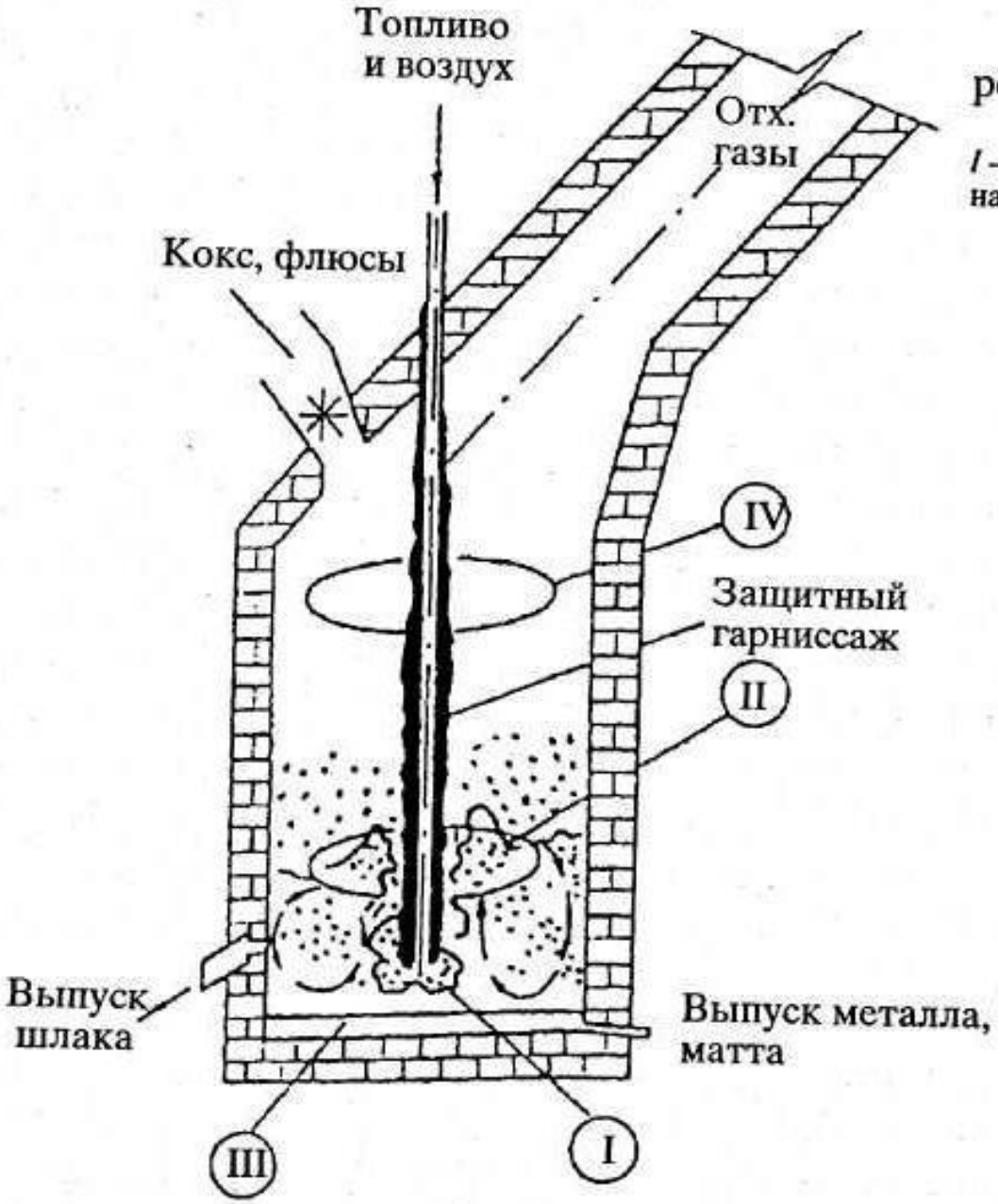


Схема печи Айзасмелт:
1 — печь; *2* — фурма; *3* — аптейк



Конструкция печи и реакционные зоны процесса Аусмелт:
I — зона горения и окисления; *II* — зона плавления; *III* — зона отстаивания; *IV* — зона догорания газов