

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Хабаровский государственный университет экономики и права»

**ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЭКОНОМИКЕ
КОМПЛЕКСНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ**

Монография

Хабаровск 2017

ББК У 9 (2) 301

Б 93

Бутуханов В. Л. Инновационные технологии в экономике комплексного использования минерального сырья : монография / В. Л. Бутуханов. – Хабаровск : РИЦ ХГУЭП, 2017. – 96 с.

ISBN 978-5-7823-0687-8

Рецензенты: А.Н. Король, д-р экон. наук, профессор
Тихоокеанского государственного университета
Т.Б. Ершова, д-р техн. наук, замдиректора по научной работе
Института материаловедения ХНЦ ДВО РАН

ISBN 978-5-7823-0687-8

© Хабаровский государственный университет экономики и права, 2017

ВВЕДЕНИЕ

В монографии изложены принципы комплексного и рационального использования сырья, являющиеся основой инновационных технологий в экономике.

Предложены новые подходы к синтезу материалов заранее заданного состава и свойств.

Работа предназначена для специалистов, занятых в сферах материаловедения, охраны окружающей среды, рационального использования минеральных ресурсов и инновационных технологий в экономике, полезна студентам соответствующих специальностей вузов.

В современных условиях государство вынуждено обратиться к технологическим задачам, как бы заново возродить технологические науки и по-новому взглянуть на технологию как на особую науку, являющуюся ключом к фундаментальной науке – физике, химии, математике, биологии – для её внедрения в производство. Новая технология, способная возродить производство на новом уровне, требует от государства инновационной политики.

Современный научно-технический прогресс основывается на инновационной технологии, которая должна стать механизмом развития общества, благодаря которому любое производство в идеале становится научной лабораторией.

Нагрузка на природу будет снята, если найдутся нетрадиционные технологические решения в таких отраслях, как горное дело, металлургия, машиностроение, химия, строительство и энергетика. Главным условием жизнедеятельности человечества, что предполагает новое понимание технологии, является познание природы, благодаря человеческой деятельности, и это будет не освоение богатств природы, как понималось ранее. Новый виток развития нашей цивилизации связывается с технологической наукой. Новые инновационные разработки в горном деле, металлургии и химии свидетельствуют о том, что рациональная технология основывается на закономерностях природных процессов минералообразования. Основные характеристики этих процессов

(экономность, широкомасштабность, энергетическая выгодность) достигаются за счёт направленности технологических процессов, которые максимально должны приближаться к природным процессам.

В новых инновационных технологиях геология, горное дело, металлургия и химия рассматриваются воедино. Кроме них отметим машиностроение, электронику и энергетику. Прогресс в машиностроении, энергетике и информатике должен обеспечивать автоматически прогресс в металлургии и химии, требуя развития материаловедения. Однако и материаловедение постоянно должно развиваться по своим законам, соответствуя главному требованию – получению материалов с заранее заданными свойствами, что необходимо для прогнозирования цепи *состав – структура – свойство – технология*.

Основную потребительскую ценность в «больших» отраслях представляют материалы. Прогресс в этой области связан с коренным изменением технологической науки, предусматривающей получение материалов в виде функциональных систем (наподобие живых организмов). Одной из основных характеристик таких материалов является их многокомпонентность, а новые технологические процессы обеспечивают кооперативное взаимодействие элементов системы, поэтому полностью изменяются требования к сырью, на которое уже нельзя смотреть как на источник какого-то одного компонента. Соответственно изменяются ценность сырья и традиционные отходы, которые выбрасывались миллиардами тонн, превращая нашу Зелёную планету в безжизненное пространство; они приобретают теперь новое назначение.

Первичная технология разведки, добычи и переработки руды должна обеспечивать разделение компонентов в виде чистых продуктов. Очевидно, в таких условиях нельзя иметь предприятия-монстры, которые вынуждены проектировать и создавать, следуя существующей технологии. Новые инновационные технологии обеспечивают создание территориально-промышленных комплексов – технополисов, в которых осуществляется полная переработка сырья на чистые продукты и реализация высоких технологий, разрабатываемых в научно-исследовательских центрах и вузах.

Глава 1 Научные основы комплексного и рационального использования минеральных ресурсов

Проблемы устойчивого развития ресурсодобывающих и нересурсодобывающих стран значительно отличаются. Существенные трудности испытывают страны, связанные со значительным изменением окружающей среды, ухудшением экологической обстановки, низкими доходами от продажи сырья по причине того, что в большинстве случаев эти регионы не производят готовой продукции. Следующей проблемой в развитии ресурсодобывающих регионов является истощение невозобновляемых минеральных ресурсов.

Следовательно, ключевой для развития всех отраслей экономики является проблема минеральных ресурсов. Ресурсосбережение тесно связано с решением экологических проблем, остро стоящих особенно в XXI веке. Решение этих проблем весьма актуально для России. В этой связи обращает на себя внимание статья В.В. Путина [1], где утверждается, что российская экономика в XXI в., по крайней мере, в первой её половине, сохранит свою сырьевую направленность. Потенциальная ценность балансовых запасов полезных ископаемых России позволяет рассматривать минерально-сырьевой комплекс как базис устойчивого развития страны на длительную перспективу. По мнению автора, наличие крупного природно-ресурсного потенциала страны обуславливает её особое место среди индустриальных стран.

Чтобы понять механизмы инновационной деятельности, необходимо исходить из правильного понимания того, что только технологическая наука непосредственно связана с жизнью общества, ибо только она изучает природу через общественную деятельность человека. Производство в таком понимании превращается в научную лабораторию, предметом исследования которой являются природа и человеческая деятельность в ней. Производственные процессы, конечно, могут быть различными. Особенно технологические процессы, основанные на глубинном механизме саморазвития систем, в своей сущности являются инновационными. Этот механизм заключается в направленности

процессов, которая представляет собой особую закономерность природных процессов [2].

Первоначальный смысл технологии был найден древними: «Технология – наука об умении, искусстве...» Технология – наука о человеке, умении, духовности и глубоком проявлении его взаимодействия с природой. Правильнее, очевидно, рассматривать технологию как науку о природе, познании её через непосредственное взаимодействие человека с природой.

Найти механизм инновационной деятельности – значит найти ключ к теориям, учениям, для того чтобы они развивались в реальной жизни, так как технология – инструмент для познания природы. Традиционное понимание технологии совершенно другое, оно связано с пользой для человека. Поскольку природа и природные процессы не простой объект исследования, то и технологические теории и учения должны быть соответствующими. Этот инструмент не скальпель или электронный луч, а деятельность человеческого общества, поэтому технологические теории должны иметь двойную основу – фундаментальную (макропроцессы).

Н.И. Вавилов изучал генетику различных растений всего мира, и задачей его школы и селекционеров было нахождение подходящих условий в СССР и других странах для культивирования выводимых сортов. Фундаментальная наука через селекцию должна была внедриться в сельское хозяйство. В целом, конечно, эта наука не была бы генетикой.

А.Е. Ферсман в 30-х гг. нашего столетия отмечал, что горное производство должно быть таким, что не будет потеряно ни грамма добытой руды, не будет выбросов, ни сточных вод, ни газов. Для этого горная технология должна быть основана на природных ассоциациях химических элементов. Очевидно, эта наука не геохимия.

Коллоидные системы, «мир обойденных частиц» – система с колоссальной поверхностной энергией, встречаются везде и всюду. Главное внимание исследователей всегда обращалось на термодинамику этих систем и их коагуляционную устойчивость. Интересным представляется изучение кооперативного взаимодействия множества частиц в различных системах. Выход в практику результатов огромен: в области выращивания монокристаллов, получения искусственных

мембран, пищевых продуктов, керамики, вяжущих материалов, стекла, композиционных материалов.

Материаловедение – огромная область инновационной деятельности. Несмотря на то, что накоплен чрезвычайно большой банк данных по простым и сложным системам, научного материаловедения во всем мире нет. В физико-химическом анализе ставятся свои задачи, и их решение сопряжено с исследованиями в области строения веществ и их реакционной способности. Сложилось неправильное представление о том, что получения фундаментальных характеристик веществ вполне достаточно для материаловедения.

Возникает методологический вопрос: какими макропроцессами, имеющими отношение к человеческой деятельности, нужно дополнить фундаментальные характеристики микропроцессов? Материалы – понятие почти необъятное. Они имеют самые различные свойства. Однако их главной особенностью является целостность, характерные свойства – свойства целого. Целое – множество частей, но нечто другое. Как «собрать» тот или иной материал со строго определенными свойствами из частей? Эта задача моментально не решается: до сих пор не создана строгая теория многих частиц. Такая постановка задачи и попытка ее решить исходят из той методологической основы, что целое нужно разобрать, а затем попытаться собрать. Вместе с тем имеется совершенно другой подход, который заключается в том, что в исследованиях нужно исходить из целого.

Впрочем, наше сознание настолько приспособлено к первому подходу, что второй подход кажется невозможным. Тем не менее каждая «частица» должна проявлять свои индивидуальные свойства в «унисон» со всеми, чтобы в целом выделились определенные свойства. В существующих теориях, например твердого тела, все частицы «обезличены» (обращается внимание, главным образом, на их заряд), так как структура вещества рассматривается чаще всего в статическом приближении. С другой стороны, практически все свойства целого – суть динамические. В материаловедении, основанном на химии твердого тела, ионы проявляют свойства индивидуальных атомов в основном состоянии, соответствующем

месту атомов в периодической системе Д.И. Менделеева. В динамическом состоянии при механической нагрузке, температурном, электрическом, магнитном воздействиях строение целого становится лабильным. При этом возврат к устойчивому состоянию носит флуктуационный характер, который приводит к колебательному состоянию. Следовательно, механическое или другое разрушение сопровождается колебательным процессом, характеризующимся определенной частотой и амплитудой. Однако для прогнозирования свойств более важно стремление атомов быть свободными, характерным подтверждением чего является электронно-лучевая технология. Она заключается в синтезе и получении пленочных материалов из атомов.

Наследственность определяет эволюционное развитие живой и неживой материи. В живой материи наследственность материализуется в генетическом коде, и эволюция заключается в отборе. В косном мире наследственность консервативна. Код здесь своеобразен: есть инвариантность вечного движения – статистически однородное распределение частиц. Стремление атомов быть свободными обусловлено инвариантностью движения. Воспроизводимость (некий отбор) индивидуальных соединений (молекул, твердых веществ) определяется электронной структурой атомов и их статистическим распределением в пространстве. Стремление к усложнению структур в минералах, обусловленное электронным строением атомов, ограничивается статистическим распределением, поэтому в природе существует ограниченное количество минералов, строение которых подчиняется определенному типу симметрии и которые образуют друг с другом схемы соподчинения. В этом заключается консерватизм наследования. Код же проявляется своеобразно: в стремлении атомов (а не группы – в соединениях, как в живом организме) быть свободными, то есть полностью проявлять свои «исконные» свойства. Код можно увидеть в динамике живых и неживых систем – их образовании или превращении.

Н.В. Белов в своей динамической кристаллохимии отнес крупные катионы к структурным элементам, отвечающим за архитектуру соединений, а мелкие катионы – к структурообразователям. Образно

говоря, крупные катионы составляют каркас зданий и сооружений, а мелкие катионы – заполняющие конструкции. Характеристика порядка или беспорядка применительно к твердым веществам энтропией не совсем верна: увеличение энтропии наличием крупных катионов приводит, как это видно из кристаллохимии, к порядку – образованию индивидуальных, хотя и весьма сложных, соединений. Примечательно, что «архитектурная постройка» на основе крупных катионов является причиной топотаксии, самого характерного явления в природном минералообразовании. Топотаксия изучена плохо. Здесь фрагменты «материнского» минерала служат структурной основой «дочерного» минерала. На самом же деле «материнский» минерал настолько разрыхляется, что каждый химический элемент становится как бы свободным. Однако такое разрушение требует определенных критических условий, например критической концентрации дефектов.

Отправной точкой в прогнозировании свойств материалов следовало бы считать степень проявления металличности связи элементов-структурообразователей. Такие материалы могут быть созданы в восстановительной среде, закономерности их преобразования по мере создания окислительной среды подчиняются ряду наследственности металл-кластер-оксид-аквагидрооксокомплекс-гидроокисел. От степени металличности зависят координационные числа атомов в структуре твердых веществ. Повышение металличности ионов обуславливает увеличение симметрии соединений.

Одной из важных характеристик является проводимость электрического тока: весьма чувствительным индексом степени металличности можно назвать ширину запрещенной зоны. На проводимость твердых веществ обращают мало внимания. Если рассматривать твердое вещество с момента его образования, то возникновение зародыша происходит при критических числах атомов, и кристаллическое тело получается, когда формируется соответствующее электронное поле. Можно предложить, что формирование последнего опережает возникновение зародыша и, образно говоря, электронное поле любого вещества является своеобразной памятью. Поскольку электронное поле постоянно, то определенная

информация о будущем веществе содержится в пленках, конструируемых из свободных атомов. Молекулярная формула твердого вещества отражает не только его состав, а дает возможность произвести квантовохимические расчеты. Однако в материалах вещества будут воспроизводимы, если атомы в наибольшей степени будут приближаться к свободным.

Интересной особенностью кристаллических твердых веществ является стремление образовывать обособленные тела. Стремление к равновесию обуславливает понижение свободной поверхностной энергии. Горные породы представляют собой микрокристаллическое твердое вещество, размеры кристаллов которых приближаются к зародышевым, поэтому создается впечатление при взгляде на массивные породы гигантских монокристаллов. Они образуются в условиях, близких к равновесию. Очевидно, охлаждение наступает очень быстро, микрокристаллиты не успевают вырасти. Как это ни парадоксально, массивная порода – не что иное, как гигантский зародыш. Кристаллическое тело возникает, когда образуется поверхность, то есть когда соседние частицы отдаляются друг от друга. Разрыв сплошности среды требует введения в нее свободной энергии. Микрокристаллы могут быть самых различных размеров. Их взаимодействие между собой может быть рассмотрено уже на другом уровне, не на атомарном. В настоящее время доказано, что системы, состоящие из этих частиц, являются неравновесными. Большая свободная энергия, равная приблизительно внутренней энергии, обуславливает самопроизвольную агрегацию частиц.

Керамические материалы получают спеканием зерен твердых веществ. Твердофазные реакции на границах зерен сначала как бы «сваривают» их, но затем зерна перекристаллизовываются, при этом образуется единый зародыш вещества. За счет подвода внешней энергии преодолевается избыток свободной поверхностной энергии. Образование гигантского зародыша термодинамически невыгодно, так как понижается энтропия системы: менее упорядоченные атомы на поверхности зерен переходят в более упорядоченные состояния внутри этого зародыша. Керамические материалы оказываются неравновесными; они существуют устойчиво в определенных температурных интервалах.

Микрокристаллиты-порошки веществ отличаются от неравновесных кристаллов. Чтобы их получить, необходимо керамические порошки, которые образуются при синтезе веществ, подвергнуть механоактивации. При этом керамический материал получится более равновесный, чем исходные порошки. По-видимому, на этом механизме основана порошковая металлургия. Порошки образуются из тех веществ, когда внутренняя энергия кристаллов немного превышает свободную поверхностную энергию, что возможно только в случае, когда зародыш близок к молекуле, вернее, когда он образуется как молекулярный ассоциат с замкнутыми химическими связями. В таких веществах атомам выгодно быть в виде молекул или радикалов. Очевидно, это химические элементы, дающие координационные соединения. Могут ли они образовывать монокристаллы? Могут, но только, если будут созданы восстановительные условия, то есть когда атомы будут приближаться к свободным.

А.Е. Фереман указывал, что технология основана на геохимических ассоциациях химических элементов. Главной задачей безотходной технологии является разделение природных минералов и химических элементов, содержащихся в рудах месторождений полезных ископаемых. Она решается также благодаря фундаментальным законам природы, где химические элементы «отличают» для того, чтобы их разделить.

Кроме такого свойства атомов, как стремление быть свободными, используется их другое свойство – электронное взаимодействие атомов. Эти два свойства проявляются одновременно: второе свойство отвечает за усложнение структуры соединений, первое, наоборот, ограничивает ее. Использование второго свойства атомов означает структурирование в расплавах и водных растворах. Первое свойство атомов пригодно для реализации топотаксических процессов.

Структурирование – необратимый процесс, приводящий расплавную или водную систему к расслоению, что происходит не самопроизвольно, так как по принципу устойчивости к диффузии в неравновесных системах образуются подсистемы из однородных частиц (из каждой подсистемы «выталкиваются» инородные частицы).

Расслоение, или ликвация расплавов, осуществляется чаще всего в силикатных системах, в которых происходит полимеризация кремнекислородных группировок. Из густого полимерного расплава выталкивается солевой расплав. Поскольку полимеризация – процесс экзотермический, температура расплава повышается. Таким путем можно выделить из рудного расплава немало тугоплавких элементов в виде солей (вольфрам, молибден, тантал, ниобий, цирконий). Из рудного расплава легко отделяются металлические фазы и сульфиды-калькогениды. Ликвация используется в практике металлургической переработки множества кондиционных и большей частью не кондиционных продуктов. Это весьма удобный и технологический метод, дающий почти готовые продукты или, по крайней мере, искусственные концентраты, не содержащие лишних примесей.

Ликвационная плавка включается в технологическую систему переработки труднообогатимых вольфрамовых, молибденовых, висмут-серебряных и золотосодержащих руд. Из этих руд эффективно получают только низкокачественные концентраты, из которых весьма затруднительно выделить полезные компоненты. Чтобы выйти из этого положения, нами предложено использовать коллекторы, которые способны концентрировать полезные компоненты, в каких бы малых концентрациях они ни были в исходных продуктах. Нами употреблено явление изоморфизма: $W^6 \leftrightarrow S^6$; $Mo^6 \leftrightarrow S^6$; $D^5 \leftrightarrow As^5$; коллектирования Au и Ag в металлическом свинце; Bi и Sb – металлическом сплаве. Дальнейшая переработка искусственных концентратов не представляет собой трудностей; выделение вольфрама возможно экстракцией, молибдена – в виде MoS_3 или MoO_3 , Bi и Sb – конвертированием, Au и Ag – при аффинаже.

Структурирование водных растворов с минеральными частицами используется при обогащении полезных ископаемых. Особенно интересно его применение при флотации тонкодисперсных (шламистых) частиц: с этим материалом теряется во всем мире около 30 % всех запасов полезных ископаемых. Молекулы воды за счет водородных связей образуют неравновесные ассоциаты, связанные друг с другом в сетку, обладающую

определенной упругостью, и поскольку «неизменное состояние сетки более выгодно, то сетка сталкивает выпавшие в нее молекулы неэлектролита».

Мелкие и очень мелкие частицы (меньше 5–10 микрон) смачиваются в воде, «встраиваются» в сетку воды, а флотационные реагенты, особенно масла, выталкиваются из сетки, образуя конгломераты с флотирующимися гидрофобными частицами. Таким путем обогащаются шламовые материалы фосфоритовых, вольфрамовых и редкоземельных руд, ранее практически необогатимые. При флотации шлаков используются флотационные реагенты, структурирующие пульпу, создается солевая среда, способствующая разрушению прочных «коагуляторов». Достигаются при этом достаточно хорошие результаты.

Для объяснения кооперативного взаимодействия ионов необходимо обратиться к понятию электронно-колебательного (вибрационного) взаимодействия. Такое взаимодействие характерно для координационных соединений, где движения атома весьма чувствительны к изменениям электронного строения (эффект Яна-Теллера). В топотаксии возможно два вида возбуждения твердого вещества: первый вид связан с жестким излучением (критическое значение энергии направлено на электронное возбуждение); второй – с тепловыми колебаниями атомов (критическое значение энергии направлено на возбуждение акустических волн). Однако в технологических процессах – выделение серы из пирита, получение вольфрама натрия из гюбнерита и алюмокалиевых квасцов из сынныритов – критические состояния параметров необходимы для охвата процессом множества активных центров.

Таким образом, выявлено, что инновационная деятельность, которая связана с нами внутренним механизмом развития общества, имеет прямое отношение к технологической науке, которая рассматривает макроскопические процессы в самоорганизующихся системах, подобных природным.

Самоорганизация систем выполняет различную роль: в технологии материального сырья – для разделения минералов и химических элементов, материаловедении – для получения монокристаллов и

керамических материалов. Она важна в строительном деле. Для того чтобы строительные конструкции были долговечны, необходимо, чтобы бетон «жил». При эксплуатации конструкций в бетоне всегда должна присутствовать гелевидная фаза: избыток цемента действует намного хуже, чем его недостаток. Постоянное структурирование системы – неравновесный процесс, в котором создаются градиенты химических потенциалов кремнезема и воды.

Гидратные соединения кремния постоянно полимеризуются, точнее, подвергаются поликонденсации. Выделяющаяся вода «растворяет» кремнезем заполнителя, который пополняет структурированную часть бетона. Вода снова выделяется. Кроме того, вода проникает из внешней среды. Ускорению этого процесса способствует наличие извести, источников катионов калия, дающих гидросиликаты кальция. Следовательно, в бессмертных бетонах «жизнь» представляет растворение заполнителя и образования искусственного камня. Интересны и процессы в твердеющем бетоне: они протекают, главным образом, с учетом капилляров. Когда появляется сеть капилляров, процесс твердения бетона переходит в другую стадию: объемные процессы структурирования дополняются поверхностными явлениями смачивания и диффузии в пленках.

Реализация в промышленности идеи новой технологии, опирающейся на функционирование природных систем, должна быть поэтапной. На первом этапе ведущее положение должны занять реконструкция промышленных предприятий для максимального уменьшения выбросов в окружающую среду и организация очистки атмосферного воздуха, природных и сточных вод. На втором этапе должна быть реализована кардинальная замена старых технологий новыми, не допускающими загрязнение окружающей среды. Сейчас в рамках РАН разрабатывается программа «Ресурсосберегающие и экологически чистые процессы металлургии и химии». Программа несколько запаздывает. В промышленности сильна еще инерция, с трудом меняются традиции, где приоритетом является вовсе не экология: предстоит большая борьба с министерствами, которым для сохранения «вредных» предприятий

приходится идти на двойные затраты (реконструкцию и охрану окружающей среды).

Для каждой отрасли промышленности нужна, несомненно, своя технология, но важно сформулировать самые общие принципы экологически чистых технологий. Они, на наш взгляд, следующие:

- технология должна основываться на процессах, близких к природным, то есть на процессах синтеза, а не разрушения;
- в технологии должны участвовать все компоненты сырья: в природе нет ни ценных, ни побочных продуктов;
- для реализации технологии должны быть созданы такие условия, когда каждый компонент проявляет свои индивидуальные свойства, в целом же технология получается полифункциональной.

В горной промышленности, которая выделяет большие массы отходов (в виде вскрышных пород и хвостов обогатительных фабрик), необходимо отойти от стремления организовать масштабные производства и перейти на малотоннажные производства, обеспечивающие чистоту воздуха и воды утилизацию всех отходов. Технология должна быть нового поколения, характеризующаяся унификацией, ресурсосбережением, многокомпонентностью. Производство должно быть организовано на базе гибких блочно-модульных систем. РАН поставила задачу найти способы утилизации крупномасштабных отходов производства. Первые шаги уже сделаны: найдены способы утилизации зол ТЭЦ и вскрышных пород, разработан способ утилизации пиритсодержащих продуктов.

Переход на новую технологию, например с широким применением электронных лучей, плазмы и лазерного излучения, в машиностроении позволит заменить вредные процессы с их вредными выделениями.

К настоящему времени накоплен достаточно большой научный потенциал, которым надо распорядиться весьма умело. Определяя очередные приоритетные задачи, нужно в первую очередь к инновационной технологии приспособить накопленный потенциал ВПК. В металлургической промышленности необходимо использовать концентрированную энергию лазерного и плазменного излучений, машиностроении – многокомпонентные сплавы и автоматические линии,

энергетике – ядерные станции. Чтобы наука стала механизмом развития, нужно в какой-то степени реформировать её структуру. Образование в настоящее время объединяет научных сотрудников, которые активно работают в науке и, в отличие от сотрудников РАН, направляют свою деятельность в прикладную область. Это могучий научный потенциал, который надо использовать во благо общества. Реформирование структуры РАН, по-видимому, пользы не принесет: РАН имеет почти 300-летнюю традицию, ее разрушение нанесет только вред.

РАН должна работать в области фундаментальной науки, и её институты должны работать именно в этой области. Тут появляется очевидное противоречие: кто должен открывать лазеры и кто должен внедрять их в производство? Выход заключается в развитии инновационной технологии. Нужно развивать технологическую науку, статус сообщества (АТН) которой сейчас определён как государственная структура. По-видимому, технологическая наука должна быть поддержана государством.

Технологическая наука призвана быть посредником между фундаментальной наукой и производством. В этом случае сама собой отпадает проблема внедрения научных разработок. Если раньше производством занимались отраслевые институты, то сейчас вообще некому заниматься промышленностью. Отраслевые институты, работая по заказам промышленности, выполняли и фундаментальные технологические программы. Конечно, фундаментальная наука должна полностью поддерживаться государством. Однако должна быть выработана общегосударственная научно-техническая политика, регламентирующая структурные и фундаментальные характеристики науки. Поскольку технологическая и другие отрасли науки являются механизмом экономического развития общества, то они должны быть подобны производственным структурам и добывать средства сами, то есть должны быть созданы самоорганизующиеся системы.

Поскольку основным продуктом научного творчества является интеллектуальная собственность, то для эффективного развития общества она должна быть востребована экономикой.

Ранее в значительной степени необходимость достижений науки была со стороны ВПК, и он являлся основным двигателем прогресса. Сейчас же «больная» экономика не может по-настоящему востребовать науку. Вместе с тем выходить из кризиса надо с помощью науки. Необходимо определить (не на командной, а истинно научной основе) принципы организационной структуры общества. Оживление производства возможно за счет инвестиций. В условиях полнейшей приватизации государственного имущества можно всё отдать на откуп новым хозяевам. И даже в таких условиях нужны приоритеты, определяемые и поддерживаемые государством.

Глава 2 Сырьё и материалы

2.1 Сырьевая база России и повышение эффективности её использования

Рост народонаселения и постоянно возрастающие потребности человека приводят к необходимости увеличивать использование природных ресурсов, что, естественно, сказывается на масштабах антропогенного вмешательства в природную среду.

В России к настоящему времени накоплено 12 млрд т отходов в виде вскрышных пород и хвостов обогатительных фабрик, содержание ценных компонентов в которых позволяет их рассматривать как реальный ресурс в обеспечении России дополнительным металлом [3].

Динамичный рост развития мировой экономики приводит к ускоренному потреблению всех видов ресурсов. За десятилетие мировое потребление нефти, газа и угля возрастает почти вдвое.

Естественно, что все это приводит к истощению богатых месторождений, расположенных в европейской части нашей страны. Горнодобывающая промышленность уже ориентируется на эксплуатацию все более бедных месторождений ископаемых.

Для минерально-сырьевых ресурсов характерны:

- резкая неравномерность размещения;

- невозобновляемость конкретных видов ресурсов;
- возможность восполнения путем разведки и освоения новых объектов;
- большое разнообразие горнотехнических и природно-экономических условий эксплуатации.

Новыми минеральными ресурсами технического прогресса становятся редкие и редчайшие элементы земной коры. Без них невозможно развитие современной техники, многих отраслей промышленности, которые требуют высокопрочных, кислотоупорных, жаростойких, антикоррозионных материалов. Среднегодовая мировая добыча полезных ископаемых к концу XX столетия достигла 8–10 млрд т. В предстоящее столетие человечеству потребуется значительно больше минеральных ресурсов, чем использовалось на предыдущих этапах его развития.

Несомненно, использование достижений научно-технического прогресса значительно расширит добычу полезных ископаемых из глубин земной коры, океанической воды и с морского дна, где сосредоточены огромные запасы самых разнообразных минералов. Для получения минерального сырья более широко будут использоваться руды и обычные горные породы, содержащие богатейшие ресурсы различных химических элементов.

Перерабатывающие предприятия вынуждены приспосабливаться к изменению содержания компонентов в сырье.

Дальнейшее развитие переработки сырья будет осуществляться в условиях, при которых сырьевые и энергетические ресурсы уже не будут считаться неистощимыми. Поэтому на каждом новом этапе развития химии должны быть найдены иные пути экономии сырья и энергии за счет поиска и реализации принципиально новых технологических решений, а также создания высокопроизводительного оборудования и более совершенных систем [4].

С комплексным использованием сырья сопрягаются проблема переработки и утилизация побочных продуктов и отходов производств и применения их в качестве вторичных материальных ресурсов. Почти в каждом химическом производстве, кроме целевого продукта, образуются вещества, которые не находят применения и идут в отходы производства.

Причины появления отходов самые различные: примеси в сырье, низкая селективность сложных реакций, многокомпонентность сырья. В отходы идут также отработанные вспомогательные материалы (катализаторы, растворители, экстрагенты и др.) На каждом предприятии обычно образуется три вида отходов: жидкие, твердые и газообразные.

Твердые отходы хранятся в отвалах, постепенно накапливаясь на территории предприятия. Их сжигают, закапывают и сбрасывают в старые выработки. Между тем в отвалах содержатся миллионы тонн веществ, которые путем механической, термической или химической переработки можно превратить в полезные продукты.

Интересным примером реализации этой идеи служит использование крупнотоннажного отхода производства целлюлозы – технического гидролизного лигнина. Технический лигнин представляет собой сложный многофазный и полидисперсный твердый материал, в состав которого, кроме лигнина, входят трудногидролизуемые полисахариды, смолы, гуминовые вещества, влага. Наиболее интересным компонентом этой смеси является сам лигнин – природный полимер, обладающий сложной структурой, содержащей ароматические циклы. Его переработка может проводиться в трех направлениях: 1) использование лигнина после механической и тепловой обработки в натуральном виде; 2) термическая переработка (сжигание); 3) химическое модифицирование.

После сушки и измельчения лигниновая мука применяется в качестве наполнителя пластмасс взамен сажи, древесной муки, а также позволяет полностью исключить из рецептур каркасных резин остродефицитную белую сажу.

Термическое сжигание нецелесообразно, так как компоненты этого отхода обладают определенными потребительскими свойствами, в частности ярко выраженной сорбционной способностью, которая может быть усилена путем химического модифицирования.

Процессами нитрования, хлорирования и сульфирования лигнин перерабатывается в такие продукты, как коллоквиит (аналог активированного угля марки Б), нитролигнин (регулятор структурно-механических свойств бурильных растворов), хлорлигнин (заменитель

природных дубителей, адсорбент для извлечения редкоземельных металлов из растворов), лигнофенолформальдегидные смолы (продукт конденсации с фенолом) и т.д.

Отходящие газы содержат такие компоненты, как CO, CO₂, NO, NO₂, SO₂, H₂S. Состав отходящих газов зависит от характера производства. Эти газы отправляют атмосферу, снижают плодородие почвы, губят посевы. Наиболее опасным компонентом отходящих газов считается сернистый ангидрид, который взаимодействует в воздухе с парами воды и выпадает на землю в виде кислотных дождей, что губительно действует на здоровье людей, посевы и постройки. Только промышленные предприятия ежегодно выбрасывают в атмосферу около 160 млн т SO₂, из них около 70 % поставляют теплоэнергетические установки, 15 % – предприятия черной и цветной металлургии и 15 % – химическая и нефтеперерабатывающая промышленность. Используя только отходящие газы цветной металлургии, получают серную кислоту – более 25 % всего производства ее в стране.

Сточные воды, сбрасываемые в водоемы, содержат вредные органические и неорганические вещества. Они снижают содержание кислорода в воде, губительно действуют на флору и фауну водоемов. Таким образом, проблема отходов тесно связана с защитой окружающей среды.

Справедливо считают, что в химической промышленности не должно быть отходов. Любые отходы – это химические вещества, которые могут и должны стать сырьем для получения различных продуктов. Поэтому отходы следует рассматривать как вторичные материальные ресурсы. В последние годы, благодаря развитию науки и техники, постоянно расширяется номенклатура используемых отходов в химической промышленности. В настоящее время в нашей стране за счет использования вторичного сырья производится около 30 % стали и 20 % цветных металлов. Необходимо отметить, что энергоемкость производства алюминия из вторичного сырья в 20 раз, а стали в 10 раз ниже, чем энергоемкость их производства из первичного. Капитальные вложения при переработке вторичного сырья примерно в четыре раза меньше, чем при переработке первичного.

Проблемы развития ресурсодобывающих регионов тесно связаны с глобальными проблемами человечества – истощением невозобновляемых минеральных ресурсов и обострением экологической обстановки, а также устойчивым развитием общества. Эта проблема остра для всех стран, первую очередь для ведущих стран мира [5; 6].

Истинный же путь ресурсосбережения и инновационных технологий на наш взгляд, должен состоять из двух основных этапов: экспорт сырья (первый этап), развитие науки и инновационных технологий за счет прибылей от экспорта сырья (второй этап). При этом этапы совмещены и должны дополнять друг друга. Для этого необходима разработка концептуальных моделей ресурсосбережения и ресурсовоспроизведения для получения материалов и изделий. Как известно, сырьевая экономика нацелена на получение материалов и энергии, без которых невозможно развитие «второй природы», а следовательно, и человеческой цивилизации. Для того чтобы «сырьевая экономика» была инновационно привлекательной, необходимо разработать общую стратегию, включающую стратегию ресурсосбережения, воспроизводство минерального сырья, формулировку научной проблемы, методологию её решения, использование передовых технологий. Решение этой задачи требует комплексного, системного подхода с привлечением геологов, горняков, экологов, металлургов, химиков, физиков, материаловедов, машиностроителей, экономистов и других ученых и специалистов.

Сырьевая составляющая научно-технического прогресса (НТП) должна обеспечить комплексную, рациональную переработку сырья в регионе его добычи с получением материалов и изделий, а также ресурсосбережение и экологическую безопасность.

Промышленная составляющая НТП – обеспечить разработку и создание оборудования, обеспечивающую применение «высоких» технологий и экологическую безопасность при переработке сырья и получения материалов.

Ресурсодобывающие регионы должны поставлять на рынок не сырье, а, по большей части, материалы, изделия, «высокие» технологии, оборудование. На основании комплексных исследований проблем

устойчивого развития России предлагается важный вывод о необходимости такого развития (на примере Иркутской области, Хабаровского края, Байкальского региона и республики Татарстан). При этом показано, что проблемы устойчивого развития регионов России в целом теснейшим образом связаны с природно-ресурсным потенциалом территорий, возможностями экономики и социальной ситуацией в стране. В этой обстановке задачей науки считается обработка поступающей информации с использованием модельных описаний либо с использованием формальных методик получения объективных оценок. Постулируется, что для каждого из выделенных блоков – социально-экономического, промышленно-технологического, методико-биологического и эколого-геофизического – существуют процедуры получения объективных оценок его текущего состояния.

Предлагаемый промышленно-технологический блок применительно к Дальневосточному региону должен включать, прежде всего, машиностроение и его отрасли: космическое, авиастроение, судостроение, сельхозмашиностроение, судоремонтное и т.д. Это совершенно другой подход к развитию региона, чем добыча, переработка и реализация трудозатратного и дешевого сырья. Кроме того, в работе уделяется недостаточное внимание комплексу научных, технологических, организационных, финансовых мероприятий («инновационному» пути). Для развития «сырьевых» регионов не указываются механизмы получения прогнозов, стратегии и тактики их управления. Однако отмечается, что «добыча и переработка полезных ископаемых имеет большой удельный вес в хозяйственной деятельности края» (что относится и к Хабаровскому краю). В заключение для рационального природопользования рекомендуется «разработка прав хранения и переработки отходов, рекультивации и рационального использования отработанных пространств» (например, в условиях Дальневосточного региона это может относиться к подземным отходам Солнечного ГОКа).

Для «сырьевых» регионов Востока России невозможно на данном этапе создание мощных ГОКов, перерабатывающих предприятий с использованием самых высоких технологий.

Если для горнодобывающих предприятий «дробление крупных предприятий на множество мелких, не обладающих финансовыми возможностями для использования современного оборудования и инновационных технологий привело на фоне ухудшающихся характеристик разрабатываемых месторождений к снижению эффективности добычи», то создание малых предприятий по переработке минерального сырья будет важнейшим направлением устойчивого развития регионов. Однако для этого необходимо использовать передовые технологии.

Ресурсный потенциал при его эффективном использовании станет одной из важнейших предпосылок устойчивого вхождения России в мировую экономику. Технологический уклад переработки сырья связан с ресурсосбережением и инновационными технологиями получения материалов и изделий [6; 7].

Россия, как известно, страна, богатая природными ресурсами. На 2,6 % населения Земли приходится 12,5 % суши континентов, 30 % шельфовых акваторий – главных источников энергетических ресурсов будущего, 22 % лесных ресурсов, 20 % пресных вод и 16 % всех минерально-сырьевых ресурсов. Потенциальная стоимость недр оценивается примерно в сумме около 30 трлн долларов. По ценам мирового рынка 1999–2010 гг. доля различных видов сырья в общей ценности недр России составляет (рисунок 1):

- топливно-энергетические ресурсы – 72,2 %;
- нерудное сырье (включая агроруды) – 13,3 %;
- сырье черной металлургии – 6,6 %;
- сырье цветной металлургии – 6,1 %;
- благородные металлы и алмазы – 1,1 %;
- редкие и рассеянные металлы – 0,7 %.

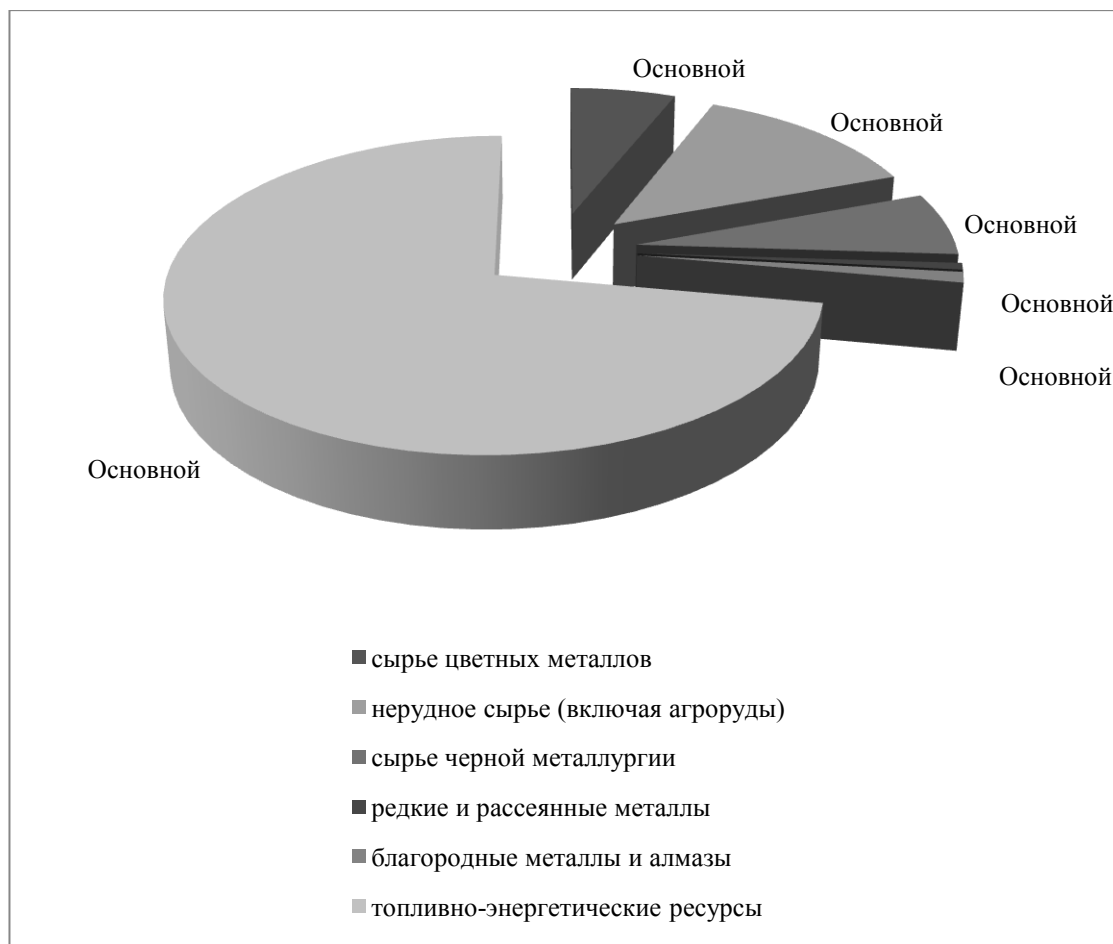


Рисунок 1 – Доля различных видов сырья в общей ценности недр России

На балансе России находится более 20 тыс. месторождений полезных ископаемых (помимо подземных вод и стройматериалов), половина из которых эксплуатируется. С позиции глобального распределения полезных ископаемых доля России оценивается следующим образом: энергетические ресурсы (32 % – газ, 12–13 % – нефть, 12 % – уголь от мировых разведанных запасов); благородные металлы (платина – 40 %, палладий – 90 %); редкие и редкоземельные элементы (ниобий – 35 %, тантал – 80 %, иттрий – 50 %, литий – 28 %, бериллий – 15 %, цирконий – 12 %); металлы металлургического производства (Ni – 36 %, Fe – 27 %, Sn – 27 %, Co – 20 %, Zn – 16 %, Pb – 12 %); агрохимические руды (калийные соли – 31 %, первое место в мире, фосфаты – второе место). По разведанным запасам алмазов Россия на первом месте, по золоту – на третьем месте в мире.

Исходя из сказанного выше, в структуре экономики нашей страны, преобладают природоэксплуатирующие отрасли промышленности, которые останутся приоритетными еще много лет. Достаточно сказать, что доля природно-ресурсного блока в 2010 г. в экономике РФ составила 70 % от общего объема экспорта и 30 % от валового внутреннего продукта.

Одной из характерных черт сырьевой базы России, благоприятной для будущего, является значительный процент месторождений уникальных – суперкрупных и крупных по запасам. Общее число таких месторождений, определяющих современный природно-ресурсный облик страны, составляет примерно 100–120 нефтегазовых и такое же число по основным видам твердых полезных ископаемых [7].

В то же время анализ состояния и развития минерально-сырьевой базы страны за последние 10 лет свидетельствует о глубоком кризисе в отрасли.

Доля России в добыче полезных ископаемых в период перехода к рыночной экономике резко упала, что особенно показательно на фоне существенного роста мировой добычи.

Резко упало внутреннее потребление сырья, наметился четкий крен в сторону экспорта.

На 30–70 % сократились активные запасы по большинству видов минерально-сырьевых ресурсов.

Приватизируются все ранее открытые и привлекательные по параметрам месторождения, рудники и ГОКи. При этом большая часть из них передана недропользователям бесплатно.

Критическая ситуация с воспроизводством запасов полезных ископаемых, что снизило обеспеченность сырьем многих действующих предприятий до критического уровня 5–10 лет.

В основе создавшегося положения лежат как объективные факторы (распад экономических связей стран бывшего СССР и СЭВ), так и очевидные ошибки в реформировании экономики.

Страна стоит перед необходимостью кардинального изменения всей государственной политики недропользования, всей структуры государственного управления и контроля за повышением эффективности использования ресурсов.

При этом необходимо учитывать, что обширные территории нашей страны, крупные месторождения многообразных видов полезных ископаемых создают иллюзию доступности, неисчерпаемости и безопасности последствий их использования. Хотя известно, что запасы недр не беспредельны, качество и доступность их уменьшаются по мере нерационального потребления, следовательно, снижается экономическая эффективность, а доля неиспользованной части добытого из недр сырья постоянно растет. Потенциал недр по стоимости оцененных извлекаемых запасов распределен крайне неравномерно. Максимум стоимости недр приходится на Уральский федеральный округ в его новых очертаниях – 53 %, далее следует Сибирский – 18 %, Дальневосточный – 7 %, Северо-Западный – 7 %, Приволжский – 6 %, Центральный – 6 %, Северо-Кавказский – 3 %. При этом наиболее перспективные по валовой потенциальной ценности (от 3000 до 8000 млрд дол.) из разведанных запасов основных видов полезных ископаемых нашей страны находятся на заболоченных территориях с суровыми климатическими условиями (число дней в году с температурой ниже 0⁰С составляет от 100 до 260), состояние окружающей среды по интегральной оценке Минприроды варьирует от повышенного до максимального антропогенного воздействия. Это Ямало-Ненецкий и Ханты-Мансийский национальные округа, Коми республика, Пермская и Кемеровская области.

Вторая группа месторождений (их валовая потенциальная ценность составляет от 100 до 500 млрд дол.) находится на территориях с низким антропогенным воздействием, но значительно удаленных от основных коммуникаций, характеризуется сложным горным рельефом с резко дискомфортным климатом (число дней в году с температурой ниже 0⁰С составляет от 140 до 300). Это Таймырский и Эвенкийский национальные округа, Республика Саха (Якутия), Красноярский и Приморский края, Читинская область.

Всё это создает дополнительные факторы риска и ограничения, которые необходимо оценивать в стоимостных показателях и включать в общую схему капитализации ресурсов.

В зависимости от специфики конкретной территории – климата,

геохимии подстилающих пород, степени промышленного освоения, состояния природной среды – потенциал возможностей природы в условиях той или иной хозяйственной деятельности будет различным, поэтому принятие решения и оценка его экономической эффективности должны основываться на концепции экологического императива, согласно которой хозяйственную деятельность следует адаптировать к сложившимся к моменту планирования условиям функционирования биосферы. Таким образом, особенно важно обеспечить стратегическое равновесие между структурой производства, его масштабами в регионе и потенциальной экологической емкостью территории.

Одним из путей, которые могли бы обеспечить гармонизацию взаимодействия человека и природы, а также минимизацию материальных и финансовых ресурсов для удовлетворения разумных потребностей человека, может стать многократный подъем эффективности использования ресурсов – новая стадия технического прогресса. Со времени промышленной революции прогресс обозначал увеличение производительности труда. Новый подход к прогрессу ставит во главу угла увеличение продуктивности ресурсов. В этом случае эффективное использование ресурсов приносит прибыль за счет отсутствия затрат на новые ресурсы, а поскольку они не превращаются в загрязнители, позже не приходится платить за их хранение и обезвреживание.

Выбор схемы в конечном счете определяется наличием прорывных идей и готовых разработок или набора инструментов, а также состоянием экономики той или иной страны, способной вложить большие инвестиции за короткий промежуток времени. Не последнюю роль, конечно, играет и политическая воля правительства.

Отсюда следует, что ведущую роль, как никогда раньше, может сыграть человеческий фактор. Следовательно, первостепенное значение приобретают развитие науки, стимулирование деятельности ученых.

Следует сказать, что горнометаллургический комплекс вследствие громадных массопотоков (твердых и жидких) труднее других областей хозяйственной деятельности поддается технологическому совершенствованию, позволяющему резко увеличить эффективность

использования ресурсов и полностью предотвратить ущерб окружающей среде. В наибольшей степени это характерно для горнодобывающей промышленности, которая обеспечивает человека первичными ресурсами. По этой причине многие высокоразвитые страны стремятся размещать предприятия по их производству на территориях других стран, уменьшая, таким образом, риск деградации природной среды и техногенных катастроф на своих территориях. Опыт развитых стран показывает, что особенно трудными оказываются первые шаги в продвижении устойчивого развития регионов. Поэтому очень важны понимание неотвратимости этого процесса политиками и бизнесменами, интеграция знаний экономистов, социологов, экологов и других специалистов, а главное – поиск общей платформы согласованных действий.

Мы должны быть готовы к тому, что в первой половине XXI в. может произойти существенное сокращение запасов основных видов стратегических минеральных ресурсов по причине отработки известных месторождений. Как следствие, цена минеральных ресурсов на мировом рынке резко возрастет, что создает уже сегодня благоприятные перспективы привлечения инвестиций в добывающую промышленность.

Таким образом, реальное положение в России с сырьевыми ресурсами напряженное, но не безнадежное. Принятие срочных мер государственного регулирования и независимого контроля за использованием недр, внедрение новых, уже разработанных технологий может достаточно оперативно изменить ситуацию к лучшему. Тем более, что позитивные предпосылки уже имеются и, принимаемые в последнее время правительственные решения по укреплению государственной вертикали управления, а также направленные в Федеральное собрание предложения по совершенствованию законов о недропользовании, перехода на рентные платежи создают благоприятные предпосылки для улучшения положения в отрасли. Правильное использование кадрового, особенно научного потенциала, должно способствовать решению этой проблемы.

Используя результаты научных исследований, можно составить прогнозы развития региона, стратегию управления им для перехода к устойчивому развитию (рисунок 2).

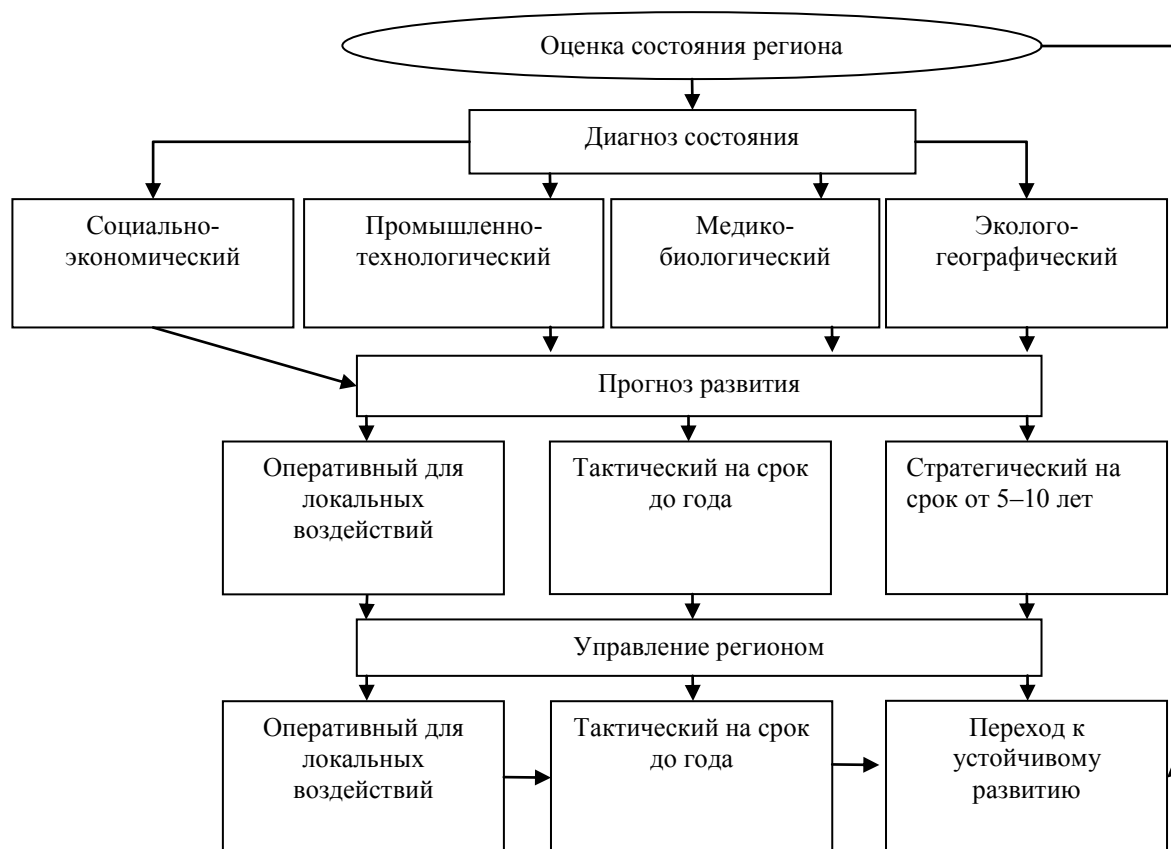


Рисунок 2 – Схема стратегии устойчивого развития регионов

Таким образом, применительно к «сырьевым» регионам (горно-перерабатывающий блок) для определения динамики и прогнозов их развития, стратегии и тактики управления и перехода в устойчивое состояние предлагается добавить к схеме устойчивого развития (рисунок 2) раздел «Определяющие факторы развития регионов» (рисунок 3).

Новый раздел «Стратегия устойчивого развития регионов» должен учитывать ряд положений:

1. Стратегия развития науки, техники и технологии в мире России.
2. Стратегия развития комплексных научных, технологических, финансовых мероприятий, направленных на коммерциализацию знаний, технологий и оборудования («развитие инноваций») в горнодобывающей, перерабатывающей, машиностроительной промышленности региона.
3. Банки данных по минеральному сырью региона.

4. Банки данных по добыче и потребителям сырья в мире, России, регионе.
5. Долгосрочные потребности в минеральном сырье и материалах.
6. Данные по добывающим, перерабатывающим предприятиям.
7. Утверждённые планы и программы развития регионов, распоряжения, указы, нормативные акты президента и правительства.

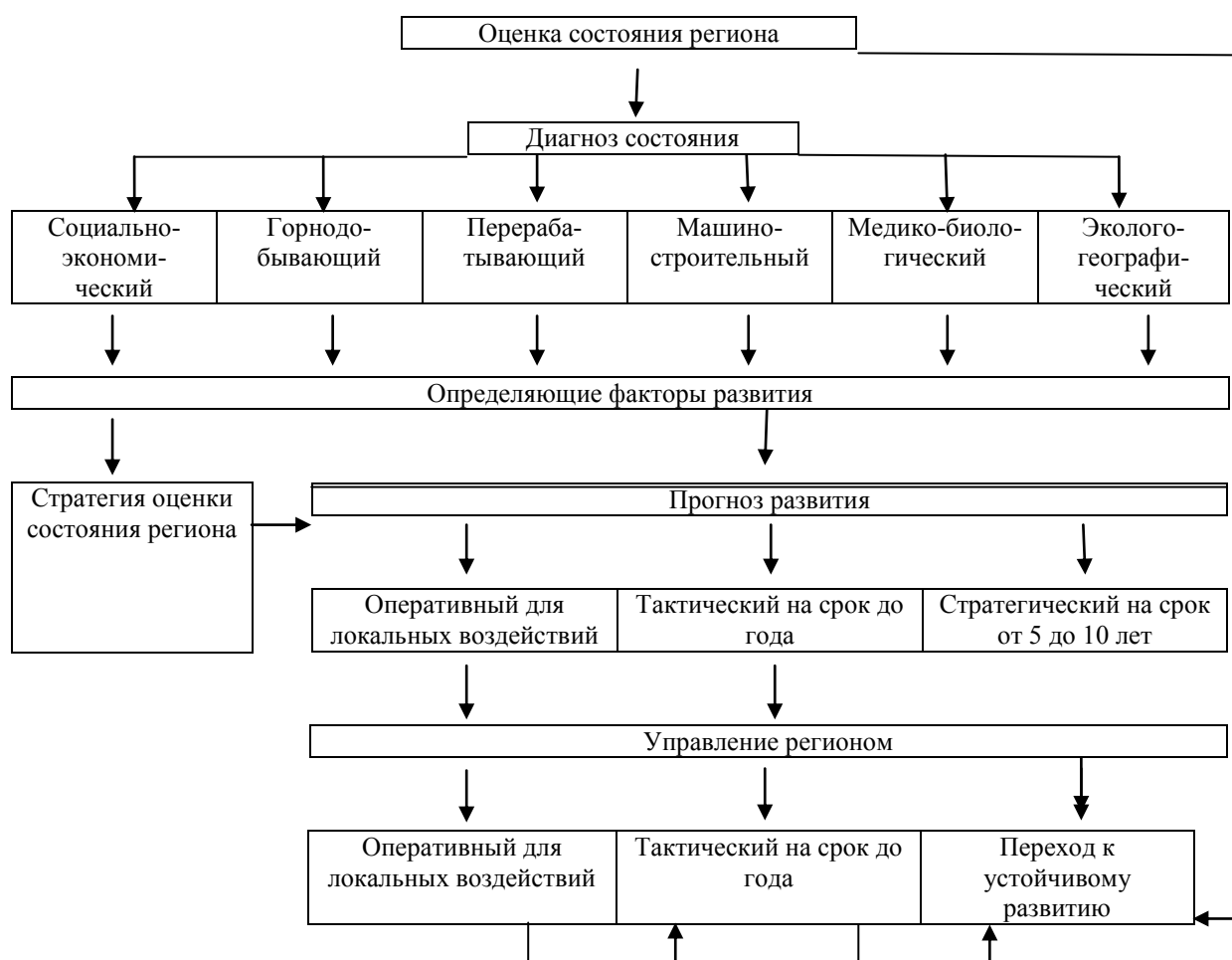


Рисунок 3 – Стратегия устойчивого развития регионов

Одна из основных проблем ресурсодобывающих регионов заключается в том, что извлекаемое сырьё проходит в них лишь первичную переработку, а затем для получения из него материалов и изделий отправляется в промышленно развитые районы, страны или за рубеж. Ресурсодобывающие регионы получают только незначительную часть экономической прибыли по сравнению с регионами, производящими и

экспортирующими материалы и изделия. Новый подход постулирует изменение стратегии развития «сырьевой» экономики в ресурсодобывающих регионах. Он определяет не только добычу и первичную переработку сырья, но и получение из него материалов и изделий на основе современных достижений науки и техники в условиях экологической безопасности.

Главная позиция концепции – использование высоких технологий, обеспечивающих получение материалов и изделий на мини-предприятиях непосредственно в районах добычи сырья. Такой подход назван материалогическим, включающим комплекс вопросов из области геологии, горного дела и металлургии на примере решения триединой проблемы минералогической материалогии: перманентного обеспечения промышленности минеральным сырьем, материалами и изделиями в условиях сохранения равновесного состояния окружающей среды.

В настоящее время наиболее перспективны методы и установки плазменной обработки и алюминотермии (рисунок 4).

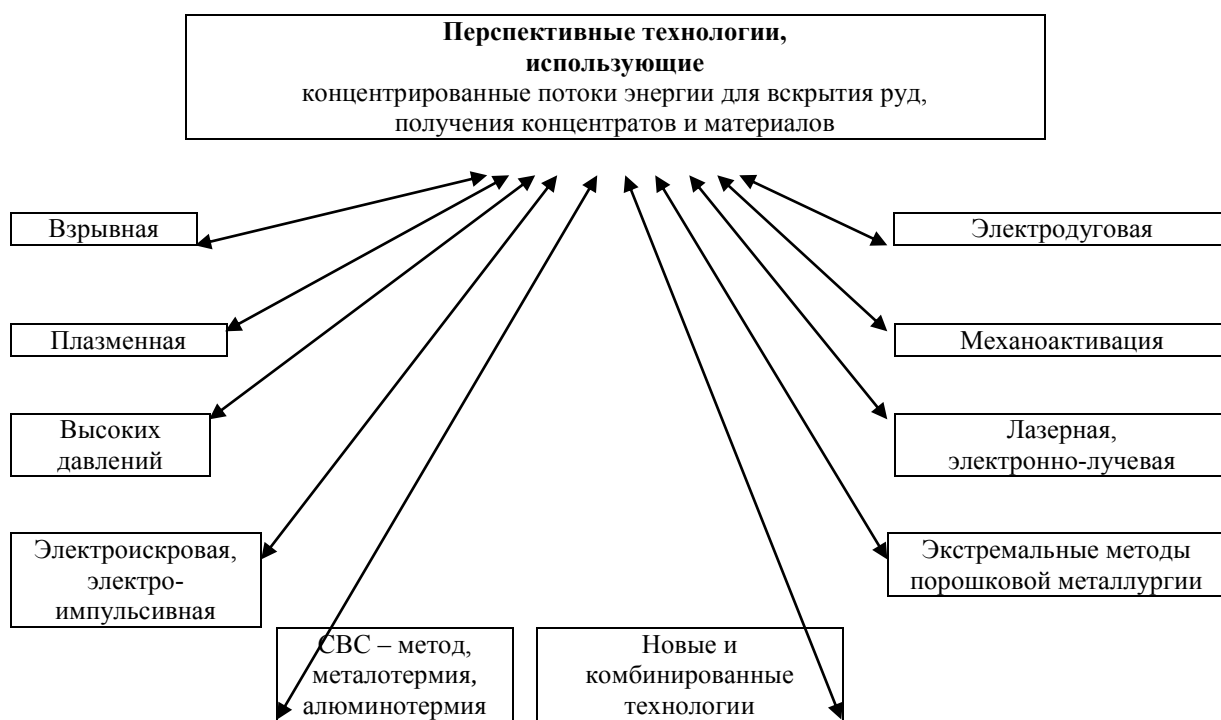


Рисунок 4 – Методы воздействия на руду и концентраты для их комплексной рациональной обработки с целью получения материалов и изделий

В связи с этим, особый интерес представляет разработка плазменного котла с замкнутым типом производства элементов и материалов путем испарением минерального сырья с последующей конденсацией элементов и соединений в условиях полностью безотходного производства и экологической безопасности. Можно предложить ряд апробируемых нами технологических решений для получения материалов и изделий в регионах добычи минерального сырья:

1. Использование плазменной обработки для восстановления минерального сырья и получения материалов.
2. Использование установок и технологического процесса типа «MACRO» с применением металлотермии.
3. Применение методов порошковой металлургии для получения изделий из используемого минерального сырья
4. Применение методов порошковой металлургии для получения изделий из используемого минерального сырья [6].

2.2 Современная классификация

Самым общим признаком классификации материалов является состав их атомов и молекул. На основе этого все материалы можно разделить на простые и сложные. Простые материалы состоят из веществ, образованных атомами одного элемента. Примером таких веществ могут быть графит, алмаз, сера и др. Сложные материалы образованы из молекул, состоящих из атомов различных элементов: сплавы, древесина, вода, стекло и т.п. Сложные по химическому составу материалы делятся на неорганические и органические. К органическим материалам относятся все сложные материалы, в основе которых находятся соединения углерода, а к неорганическим – все остальные [7].

Следующим общим принципом классификации материалов являются химические связи между атомами и молекулами. На основе классификации химических связей материалы можно подразделить на металлы и их сплавы, органические и неорганические, композиты и биоматериалы.

Металлы и их сплавы имеют металлическую химическую связь, характеризующуюся наличием свободных электронов (электронного газа) и обеспечивающую высокую пластичность, электро- и теплопроводность этих материалов. По химическому составу металлические материалы, часто называемые просто металлами, подразделяются на черные и цветные. В зависимости от количества примесей и добавок металлы подразделяются на черные, технической чистоты и сплавы.

Основу органических материалов главным образом составляют синтезированные и природные полимеры, молекулы которых имеют большой молекулярный вес и размеры и составлены из десятков и сотен тысяч отдельных звеньев (мономеров). Между звеньями и атомами в молекулах существует ковалентная химическая связь. Связь между макромолекулами в большинстве случаев носит полярный характер и осуществляется слабыми молекулярными силами.

Неорганические материалы представлены керамикой, горными породами, минералами, стеклом. Эти материалы имеют кристаллическое или аморфное строение с преобладающей ионной химической связью. Прочность этих материалов в значительной мере зависит от сил механического сцепления между отдельными фазами.

К биовеществам относят не только сами живые организмы, но и некоторые вещества, которые получают как результат жизнедеятельности микроорганизмов и других биологически активных представителей микрофауны и флоры. Такими веществами могут быть как органические, так и неорганические соединения, обычно отличающиеся сложным химическим составом.

По функциональному назначению материалы могут быть подразделены на две большие группы – основные и вспомогательные. Основные материалы обеспечивают заданные технические характеристики изделий (машин, механизмов, сооружений и т.п.) – прочность, мощность, скорость, устойчивость конструкции и т.д. Вспомогательные материалы обеспечивают параметры сооружений и агрегатов в процессе их эксплуатации (материалы для смазки узлов трения, для охлаждения, для защиты от коррозии и эрозии, от физического и химического воздействия,

для декоративной отделки и обеспечения эстетических параметров и требований дизайна и т.п.). Классификация функций промышленных материалов приведена в таблице 1.

Классификация на основе химических связей может быть представлена в виде схемы, изображенной на рисунке 5.

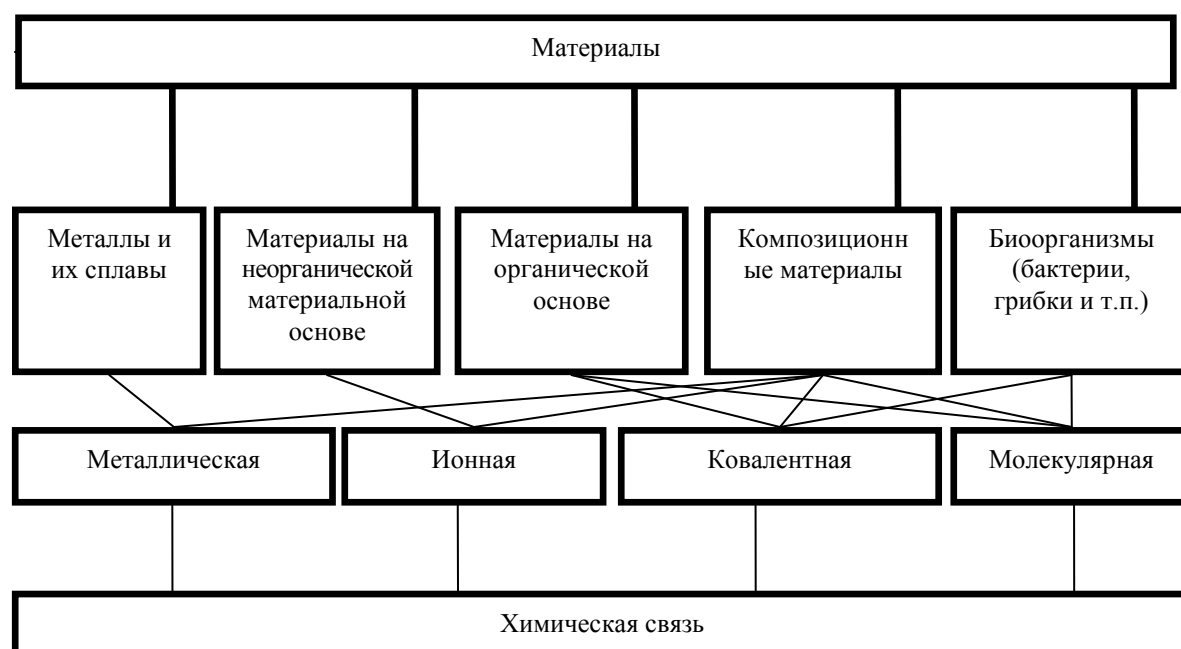


Рисунок 5 – Классификация материалов на основе химических связей

Помимо рассмотренных, есть еще достаточно большое количество других классификационных признаков. В общей совокупности их разбивают на несколько групп:

- по назначению (по промышленным секторам, объектам производства и т.п.);
- по технологии обработки и сборки (материалы для деформации, литья, резания и т.п.);
- по степени готовности к использованию (сырье, полуфабрикаты и т.д.);
- по отношению к выработке готовой продукции (основной материал, материал для вспомогательной обработки и т.д.);
- по ресурсопригодности и дефицитности, по возможности замены на другие материалы;
- по степени безопасности использования;
- по экологическим параметрам.

Таблица 1 – Классификация функций промышленных материалов

Функции промышленных материалов	
основные	дополнительные
1. Обеспечение прочности конструкции, её надежности и долговечности	1. Снижение трения 2. Защита от физического и химического воздействия
2. Обеспечение физико-химических параметров устройств 3. Обеспечение технологического воздействия, биологического, лазерного, плазменного, химического и т.д. 4. Прочие функции по обеспечению технических параметров сооружений и машин	3. Защита от коррозии и эрозии 4. Защита от биологического воздействия 5. Повышение эстетических качеств 6. Прочие функции по улучшению характеристик сооружений и изделий

Классификация материалов по назначению исходит из состава функций, которые выполняет материал (обеспечение конструкционной прочности, звукоизоляции, коррозионной стойкости, сохранности продукта (тара, упаковка, защита от излучений и т.п.). Многие материалы многофункциональны, однако если исходить из объемов использования, то можно выделить сферы преимущественного использования материала, например, для машиностроения машиностроительные материалы, для строительства – строительные материалы и т.п. Разделение материалов по технологичности обработки и сборки учитывает трудоемкость получения деталей, узлов, агрегатов и связано показателями себестоимости изделия. Некоторые материалы обрабатываются методами давления, другие – методами литья или сварки, некоторые следует склеивать. Технологические особенности материалов нужно учитывать при выборе их назначения. Степень требуемых свойств и формы должны подвергаться дополнительной обработке (механической, пропитке, нагреву, дроблению, спеканию и т.п.), которая в существенной мере влияет на затраты труда и времени, на расход материала. По данному признаку (степени готовности) материалы подразделяют на четыре группы:

- сырье и полуфабрикаты, материалы, которые в дальнейшем используются как материалы;
- материалы для получения полуфабрикатов и изделий, используемых в качестве сырья для другого материала;
- полуфабрикат для изготовления готовой продукции;

– готовые изделия, используемые для комплектации более сложной продукции.

Полуфабрикаты требуют дальнейшей обработки и этим отличаются от готовых изделий.

Классификация материалов по отношению к выработке готовой продукции предполагает их разделение на основные и вспомогательные, не влияющие и влияющие на режимы обработки или стойкость инструмента и т.д. Разделение материалов по уровню эффективности применения исходит из капитальных и текущих затрат на получение и обработку, технического уровня производства, качества сырья и т.п.

Классификация по ресурсопригодности и дефицитности, по возможности замены на другие материалы учитывает частоту ремонтов изделий, конъюнктуру на рынке материалов. Деление материалов в зависимости от степени безопасности и по экологическим параметрам предусматривает возможность оценки ущерба от негативного воздействия материала на здоровье человека и окружающую среду. Это воздействие может наблюдаться как на стадии получения материала, так и на стадиях его технологической обработки, эксплуатации и последующей утилизации. Могут быть использованы и другие классификации, более общие или, наоборот, более легализированные, построенные на основании тех или иных критериев, диктуемых мотивами классификации. В современном материаловедении все большее внимание уделяется композиционным материалам. По типу исходных составляющих (матрица + наполнитель) композиционные материалы могут быть подразделены на три класса [6]:

- 1) металл + металл ($M_1 + M_2$);
- 2) керамика + керамика ($K_1 + K_2$);
- 3) металл + керамика ($M + K$).

Каждая составляющая композиционных материалов (КМ) может быть как матрицей, так и наполнителем. Возможны два предельных случая:

- 1) компоненты будущего КМ практически не взаимодействуют химически;
- 2) между компонентами КМ происходит далеко идущее взаимодействие с образованием новых фаз постоянного или переменного свойства.

В сущности, такое деление композиционных материалов на две группы условно, так как поведение КМ в указанном смысле является функцией температуры. При достаточно высокой температуре вследствие повышенной подвижности атомов какое-то взаимодействие между исходными компонентами априори должно произойти. Поэтому целесообразно разграничивать случаи, когда композиционные материалы используются при низкой (комнатной температуре) или при повышенной (определяемой условиями работы КМ). В первом случае одним из основных условий длительного сохранения КМ на максимальном уровне его свойств является дисперсность наполнителя. Во втором случае необходимо знать природу и детали процесса взаимодействия между соприкасающимися поверхностями матрицы и наполнителя. Сведения по этим вопросам в общем виде дает диаграмма состояния, где в качестве компонентов представлены составные части КМ. Но подобные диаграммы фиксируются обычно для равновесного состояния системы, в то время как для композиционных материалов в процессе их использования при повышенных температурах равновесие не может быть достигнуто.

Композиционные материалы являются наиболее перспективными в отношении повышения прочности и жаропрочности. Так, дисперсно-упрочненная медь с 1 % Al_2O_3 при 450°C имеет длительную прочность выше, чем чистая медь. Алюминий, упрочненный Al_2O_3 (САП), превосходит по прочности при $300\text{--}500^\circ\text{C}$ все известные алюминиевые сплавы. Аналогичная картина наблюдается в композициях: $\text{Mg} + \text{MgO}$; $\text{Zr} + \text{V}_2\text{O}_3$; $\text{Ni} + \text{ThO}_2$. Значительно возрастает механическая прочность пластмасс, армированных волокнами металлов, или же высокомолекулярных неорганических веществ (C, SiC, B и др.).

Композиционные материалы, представляющие собой сложные многофазные системы, однако являются трудными объектами исследования для материаловедения, и многое в теории их поведения в процессе использования (особенно при повышенных температурах) остается еще неясным и требует изучения.

Классификация композиционных материалов требует уточнения. Так, многие керамические материалы являются композиционными

материалами, но их обычно не рассматривают в этом плане. Поскольку нет резкой границы дисперсности, которая разделяла бы на обычные атомно или молекулярно построенные вещества-материалы, то вполне логично допустить, что материал, приготовленный из химического соединения, например, типа АБ с типичной для него структурой является сам по себе композиционным на уровне атомной или молекулярной дисперсности. Реальное твердое тело не может быть бездефектным, откуда следует, что дефекты являются своеобразным «наполнителем» в матрице любого вещества. Неорганические полимеры, состоящие из «олигомеров» с различной длиной цепей или развитостью сеток, формально также могут вести себя как КМ.

Нельзя считать нелогичным допущение, что даже элемент как таковой может быть отнесен к категории композиционных материалов в случае его поликристалличности. Так, сочетанием зерен (кристаллов) вольфрама, многократно различающихся по их величине, можно получить образцы с различными характеристиками свойств.

Учитывая сказанное, все композиционные материалы правильнее с точки зрения материаловедения по дисперсности наполнителя разделить на три группы:

а) композиционные материалы, состоящие из компонентов матрицы, наполнителя соответственно атомной, молекулярной и полимолекулярной дисперсности (включая структурные дефекты, в том числе дислокации);

б) композиционные материалы, состоящие из макрочастиц в количествах, в какой-то степени сравнимых с количеством частиц матрицы и наполнителя;

в) композиционные материалы, в которых составные части неизмеримо больше массы совокупности точек, определяющих площадь контакта между ними (это, скорее, значительные по размерам части конструкции).

Если ограничиться только внутренними ресурсами взаимодействия в КМ всех трех указанных типов (без участия внешней среды или в среде инертного газа), то возможны три различные линии их поведения при повышенных температурах. В конструкционных материалах типа А будут протекать изменения, которые можно определить с помощью

соответствующих следящих систем (приборов), в частности при радиационных воздействиях. Разделение КМ на категории останется типичным для КМ типа А.

В конструкционных материалах типа Б будут происходить химическое взаимодействие или серия таковых, в результате чего в зависимости от соотношения между исходными компонентами КМ будут возникать новообразования с локальной дисперсностью на молекулярном уровне; КМ типа Б превратится в конечном счете в КМ типа А.

В конструкционных материалах типа В взаимодействующая масса на «стыках» по сравнению с массой сочленяемых ею частей настолько мала, что материалы распадаются при достаточно сильном нагреве на исходные составные части. Их переход в КМ типа А также возможен (теоретически) при еще более высоких температурах, когда они просто «сплавятся».

В настоящее время к собственно композиционным материалам принято относить КМ типа Б, но правильнее, вероятно, говорить о трех указанных нами типах, претерпевающих при определенных рабочих условиях лишь взаимные превращения.

КЕРАМИКО-МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ – КЕРМЕТЫ

Керамико-металлические материалы (керметы) – это гетерофазные композиции, получаемые методом порошковой металлургии, состоящие из металла или сплава и одной или нескольких керамических фаз и обладающие комплексом улучшенных свойств, не присущих исходным компонентам. Гетерофазные композиции, в которых керамическая фаза улучшает свойства металла или сплава, относятся к дисперсионно-упрочненным сплавам (инфракерметы), и соответственно керамика с металлом является улучшенной керамикой (ультракерметы).

В качестве металлической фазы в керметах чаще всего применяют металлы группы железа или тугоплавкие металлы – ванадий, хром, молибден, вольфрам, ниобий, тантал, а в качестве керамической – окислы, карбиды, бориды и нитриды тугоплавких металлов. Однако не все материалы, состоящие из керамики и металла, относятся к керметам, а

только те, компоненты которых удовлетворяют специальным требованиям по химической стабильности, термической совместимости возможности образования связи на границе фаз.

Требования по химической стабильности определяют такое сочетание металлической и керамической фаз в кермете, чтобы между ними не происходило химического взаимодействия с образованием соединений или полного растворения металла в керамической фазе, что превращает композицию в смесь керамических фаз или однофазный материал.

Совместимость фаз в керметах предопределяет близкие значения коэффициентов термического расширения, так как при большом отличии коэффициентов напряжения, возникающие в фазах при нагревании и охлаждении, могут привести к разрушению кермета. Кроме необходимости иметь близкие коэффициенты линейного расширения, термическая совместимость фаз требует, чтобы они не имели полиморфных превращений, так как объемные изменения в точке перехода будут приводить к циклическим напряжениям при нагревании и охлаждении.

Важнейшим требованием, предъявляемым к выбору составляющих фаз кермета, является возможность образования прочной связи на границе. Связь между фазами в кермете может осуществляться за счет механического сцепления с помощью адгезионных, электростатических и магнитных сил, насыщения свободных связей атомов на поверхности одной фазы атомами другой фазы, когерентного пристраивания решеток на границе раздела «металл – керамика» с тем же металлом, частичного растворения одной фазы в другой с образованием твердых растворов. Улучшение сцепления между фазами достигается путем ввода добавок металлов или соединений, обеспечивающих легирование металлической или керамической фазы, термической обработки, обеспечивающей образование промежуточных фаз, например, поддержание слегка окисляющей среды при спекании кермета $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-Cr}$ с образованием на хrome пленки Cr_2O_3 , изоморфной Al_2O_3 .

Как показывают многочисленные исследования, прочность керметов лимитируется не только сцеплением между фазами, но и образованием и распространением микротрещин на границе фаз. Для минимальной

возможности образования микротрещин на границе фаз в кермете необходимо, чтобы фазы имели мелкозернистую структуру. Однако в зависимости от назначения идеальная микроструктура кермета может сильно измениться. Для получения оптимальных механических свойств структура кермета должна состоять из мелких зерен керамики, окруженных тонкой пленкой связывающего вещества. В этом случае металлическая фаза препятствует образованию сквозной трещины и разрушению по хрупкой фазе, кроме того, тонкая пленка связующего металла обладает повышенной прочностью, что увеличивает прочность кермета. Зерна твердой фазы должны иметь округлую форму, так как остроугольные частицы могут приводить к образованию по углам локальных участков концентраций напряжений. В то же время в керметах, предназначенных для режущего инструмента, желательна полиэдрическая форма твердых частиц.

Керметы впервые были предложены как твердые сплавы для резания в 1922 г. в Германии и вызвали подлинную революцию в станкоинструментальной промышленности. Их производство в СССР впервые было организовано на Московском электрозаводе в 1928 г., а в 1929 г. – на Московском комбинате твердых сплавов. Как жаропрочные материалы керметы впервые использованы во время Великой Отечественной войны. Они содержали 40 и 60 % железа, остальное – окись алюминия, применялись для производства газотурбинных лопаток. Однако широкие научные разработки и применение керамитов начались только в 1950-е гг., что было обусловлено развитием атомной энергетики, ракетной техники и сверхзвукового авиастроения. В эти годы все внимание исследователей было сосредоточено на создании жаропрочных керамитов. Интенсивные разработки 1960-х гг. значительно расширили области применения керметов: жаропрочные, износостойкие, высокоогнеупорные, коррозионностойкие, керметы, керметы для атомных реакторов, а также керметы электротехнического назначения.

Опыт разработки и использования керметов в 1950–1980-е гг. обобщен в работах А.М. Черепанова, А.И. Августиника, В.Н. Еременко. Установлено, что свойства керметов зависят от объемного содержания фаз,

связи между фазами, а также величины и формы зерен и пор. Поэтому не было получено однозначных результатов по определению концентрационных зависимостей структурно-чувствительных свойств керметов. При высокой прочности связей между фазами, например, концентрационная зависимость прочности проходит через максимум, а при разновеликой связи между различными фазами прочность равна аддитивной сумме прочностей однофазных веществ. При слабой связи между фазами концентрационная зависимость прочности керметов имеет минимум.

Первыми керамико-металлическими материалами конструкционного назначения, получившими широкое применение, были керметы окись алюминия – хром, появившиеся в 1950 году. Эти керметы содержали 30–80% Cr. Однако в связи с тем, что окись алюминия и хром не удовлетворяют полному комплексу требований по совместимости, свойства керметов были улучшены путем ввода различных добавок в металлическую и керамическую фазу, что позволило получить более прочные материалы.

Окись алюминия как термически стойкая и жаропрочная явилась основой целой серии керметов с различными металлами. Наиболее перспективны из них керметы «окись алюминия – тугоплавкий металл» (Mo, W, Ta, Nb), разработанные и исследованные в 1950–1960-е годы. Эти керметы, полученные при высоких температурах спекания в присутствии жидкой фазы окиси алюминия, обладают высокой механической прочностью и эрозивной стойкостью. В керметы на основе окиси алюминия предложено вводить нитриды бора, алюминия для повышения термической стойкости. Высокие физико-технические свойства керметов на основе окиси алюминия были обеспечены после разработки новых методов получения так называемых молекулярных керметов, изготовленных методом химического избирательного восстановления осаждаемых смесей или солей. Широкое применение для атомной техники получили керметы на основе радиоактивных окислов урана и тория: $\text{ThO}_2\text{-Mo (W)}$, $\text{VO}_2\text{(W, Nb)}$ (нержавеющая сталь), а также на основе двуокиси циркония $\text{ZrO}_2\text{-Ti(Mo, W)}$.

Среди керметов на основе карбидов наиболее широкое распространение получили твердые сплавы Wc-Co. Карбидные керметы конструкционного назначения имеют основу из карбидов титана и хрома, часто с добавлениями карбидов тантала и ниобия.

В качестве связки используются чаще всего кобальт и никель с молибденом, ниобием, хромом и вольфрамом. Применение этих связок обусловлено тем, что никель и кобальт растворяют карбид титана при повышенных температурах. Взаимная растворимость карбида и металлов обеспечивает хорошее сцепление между разнообразными фазами. Перспективность разработки керметов на основе карбида титана обоснована в работах Еременко, Самсонова и получила практическое развитие в работах Григорьевой и Середы. Прочность карбидтитановых керметов значительно выше прочности окисных керметов и близка к прочности жаропрочных сплавов на металлической основе.

Прочность керметов при высоких температурах уменьшается, а пластичность увеличивается пропорционально количеству связующего сплава. Введение легирующих металлических добавок способствует повышению как жаропрочности, так и пластичности керметов. Несмотря на достаточно высокое содержание металлической фазы в карбидных керметах, их длительная прочность при высоких температурах намного превышает длительную прочность жаропрочных металлических сплавов. Но ударная вязкость остается на довольно низком уровне.

Термостойкость карбидных керметов достаточно высока. Она практически соответствует необходимой для применения этих металлов в качестве лопаток и сопел газовых турбин.

Керметы на основе карбида титана обладают недостаточной жаростойкостью, поэтому к ним добавляют карбиды тантала, ниобия, хрома, кремния и бора. Введение этих карбидов приводит к изменению строения окалины, которая становится плотной, препятствует проникновению кислорода в глубь изделия.

Основные успехи в области разработки керметов достигнуты при использовании механического метода приготовления однородной дисперсной смеси компонентов, то есть перемешивания, осуществляемого

одновременно с измельчением в шаровых, вибрационных или планетарных мельницах, которое осуществляется часто с использованием поверхностно-активных веществ. В последнее время широко применяется также метод армирования, заключающийся в послойном размещении металлической сетки и керамического порошка. Однако перспективы дальнейших разработок керметов связаны с химическими методами получения дисперсных смесей. Химические методы позволяют производить наиболее равномерное распределение компонентов в объеме смеси, обеспечивая одновременно получение чрезвычайно дисперсных структур. К ним относится, прежде всего, метод осаждения на поверхности керамических частиц растворимых в воде солей в процессе выпаривания с непрерывным перемешиванием и последующим восстановлением.

Перемешивание на молекулярном уровне осуществляется также путем гидролиза легкорастворимых в воде хлоридов, например AlCl_3 и CrCl_3 , гидроокиси которых после сушки и восстановительного отжига превращаются в окисел алюминия и хрома с равномерным распределением в объеме.

Эффективным методом получения молекулярных керметов является также осаждение металлов из растворов хлористых солей, например, гипофосфитом натрия при непрерывном перемешивании суспензии керамического порошка и непрерывной подаче гипофосфита в аммиачной среде (рН 8–8,5).

Перспективным химическим методом распределения керамических и металлических компонентов в объеме является метод высокотемпературного восстановления смеси окислов металлов с удалением газообразных продуктов реакций (смесь исходных веществ получается механическим перемешиванием).

Широко известным методом химического перемешивания служат также методы электролиза и электрофореза, позволяющие осуществить равномерное покрытие дисперсных керамических частиц тонким металлическим слоем, что дает возможность при относительно малом объемном содержании металлической фазы получать керметы с непрерывным металлическим каркасом.

Керамико-металлические материалы успешно применяются во многих областях техники. Как конструкционные материалы они используются в ракетостроении и авиационной промышленности. Кермет состава Al_2O_3 15 %, Cr 25 %, W 60 % применяется для изготовления вставок ракетного сопла в двигателе, работающем на твердом топливе, где не может быть осуществлено регенеративное охлаждение, и материал должен обладать высокой прочностью при высоких температурах, сопротивлением окислению и эрозии в газовых потоках. Этот кермет более устойчив, чем графит, силицированный графит и карбид кремния.

В авиационной промышленности из керметов изготавливают высокотемпературные подшипники, вращающиеся уплотнения, работающие в условиях высоких температур. Например, уплотнения из 59 % Cr, 20 % Mo, 19 % Al_2O_3 , 2 % TiO_2 обладают высокой износостойкостью без применения смазки при температурах до 650 °C, стабилизатор пламени из кермета 77 % Cr, 23 % Al_2O_3 используется в камере сгорания реактивного двигателя.

Керметы обладают высокой износостойкостью. Они применяются для изготовления штампов, фильер, матриц для протяжки черных и цветных металлов методом холодной деформации, пресс-форм для прессования изделий из порошков. Для этих целей широко используются керметы КХН.

Керметы на основе карбида хрома широко используют так же, как коррозионностойкие материалы. Кермет состава Cr_3C_2 – 83 %, Ni – 15 %, W – 2 % широко применяется для изготовления подшипников и уплотнителей в насосах, подающих соленую воду при температуре 80 °C для промывки нефтяных баков морских танкеров, пресс-форм для горячего выдавливания (930–1090 °C) латунных профилей, где износ в значительной степени обусловлен агрессивным воздействием среды. Из керметов марки КХН можно изготавливать детали насосов для перекачивания кислот, клапанов нефтяных скважин, сопел для агрессивных жидкостей и газов.

Керамико-металлические материалы, особенно на основе окислов, обладают достаточно высокой огнеупорностью, несмотря на присутствие в композиции металлов. Так, для плавки химически активных металлов применяют керметы на основе двуокиси циркония с титаном или цирконием.

Керметы $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{Cr}$ используют для приготовления стержней для регулирования потока металла, например меди, вытекающей через конусообразное отверстие. Эти же керметы применяют и для изготовления разливочных желобов литейных машин.

Широкое распространение получило в последнее время применение керметов на основе окислов металлов (хрома, молибдена, вольфрама и др.) в измерительной технике, в частности на тепловых агрегатах металлургического производства для измерения температуры. Температура является едва ли не самым главным параметром в технологическом цикле. Условия, в которых должен надежно осуществляться температурный контроль металла, часто не позволяют использовать бесконтактные пирометры.

Керметы на основе окислов металла хрома, молибдена и вольфрама применяются в качестве защитных чехлов термопар для измерения температуры в насадках генераторов мартеновских печей, расплавленной стали в мартеновских печах и конвертерах, алюминия и криолитоглиноземного расплава в алюминиевых электролизерах, меди штейна и шлака в медеплавильных агрегатах.

Керамико-металлические материалы применяются также для изготовления испарителей металлов в вакууме, например кермет $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{TIN} - \text{W}$ для испарения никеля.

В электронике керметы нашли применение для изготовления термоэлектронных катодов, служащих источником электронов в электронных устройствах ($\text{ThC}_2 - \text{W}$, $\text{ZrC} - \text{W}$, $\text{LaB}_6 - \text{W}$). Керметы 4 % ThO_2 и 96 % W используют для изготовления цилиндров и дисков в магнетронах, клистронах и электронных лампах бегущей волны. Они работают в интервале $1250-1600^\circ\text{C}$ и позволяют получать ток эмиссии плотностью порядка 15 A/cm^2 при 1300°C .

В ядерной технике керметы применяются для изготовления тепловыделяющих элементов (UO-Al , нержавеющая сталь), защитной арматуры ($\text{Cr}_2\text{O}_3\text{-Cr}$), регулирующих и аварийных стержней (окислы редкоземельных элементов – нержавеющая сталь, карбид бора – нержавеющая сталь).

ТУГОПЛАВКИЕ МАТЕРИАЛЫ

Само по себе понятие «тугоплавкое соединение» в большей степени условно, так как требует установления какой-то границы температуры плавления, выше которой соединение тугоплавко. Такая граница неоднократно устанавливалась и смещалась в область более высоких температур – от $1\,000^{\circ}\text{C}$ (во второй половине XIX в.) до 2000°C (в первой половине XX в.). В настоящее время понятие «тугоплавкое соединение» несколько утрачивает свой первоначальный смысл и становится более глубоким и принципиальным. В основу его положен характер химической связи между компонентами соединения. Эта связь носит гетеродесмичный характер (гетеродесмичность – постепенное сближение межатомного расстояния, соответствующего химической связи), является преимущественно ковалентной или металлической с некоторой долей ионной связи. Такой характер связей возникает в основном в соединениях переходных металлов с неметаллами (бромом, углеродом, кремнием, азотом, фосфором, серой, селеном, теллуром), а также взаимных соединениях неметаллов.

Тугоплавкие материалы подразделяются на кислородные и бескислородные. Мы будем рассматривать бескислородные тугоплавкие соединения, которые, в свою очередь, делятся на три группы:

- 1) металлоподобные соединения, образованные металлами, преимущественно переходными, с такими неметаллами, как бор, углерод, кремний, азот, фосфор, халькогены;
- 2) неметаллические соединения – карбиды и нитриды бора и кремния, соединения бора с кремнием, нитрид алюминия;
- 3) металлические соединения, образованные соединением металлов, например, алюминиды, бериллиды, магниды.

Металлоподобные тугоплавкие соединения обладают рядом черт, характерных для металлов: высокими электро- и теплопроводностью, термоэмиссионными свойствами, некоторые из них – сверхпроводимостью, большая часть соединений плавится конгруэнтно, начиная с температур $1\,500\text{--}2\,200^{\circ}\text{C}$ (силициды) до $2\,300\text{--}4\,000^{\circ}\text{C}$ (простые

и сложные карбиды). Все тугоплавкие соединения характеризуются высокой химической стойкостью в различных агрессивных средах, кроме окислительных, в которых устойчивы лишь некоторые силициды.

От металлов тугоплавкие соединения отличаются высокой твердостью, высокой температурой плавления, практически полным отсутствием способности к упругой и пластической деформации, невысокой стойкостью к тепловым ударам, относительно низким коэффициентам термического расширения. Указанные свойства сочетаются с большей долей ковалентной связи между атомами неметаллов и металлов, а также ионной и металлическими связями металла с неметаллом.

Неметаллические, тугоплавкие соединения плавятся инконгруэнтно (с разложением исходной кристаллической структуры) при температурах, достигающих до $3\,000\text{--}3\,500^{\circ}\text{C}$, отличаются высокой термостойкостью, являются диэлектриками либо полупроводниками с широкими запрещенными зонами, мало теплопроводны, твердость их колеблется в широких пределах – от весьма низкой (для гексагонального графитоподобного нитрида бора) до весьма высокой (у кубического алмазоподобного нитрида бора, а также карбида бора). Их свойства определяются сложным электронно-структурным состоянием ковалентно-ионного типа при практически отсутствующей металлической составляющей связи. Эти соединения, по существу, представляют традиционные керамические окисные материалы.

Исследования тугоплавких соединений осуществлялись в следующих направлениях:

- 1) разработка технологий получения порошков тугоплавких соединений;
- 2) исследование систем «тугоплавкий металл – неметалл» и взаимных сплавов тугоплавких соединений;
- 3) исследования физических, физико-химических и химических свойств тугоплавких соединений;
- 4) исследование процессов изготовления изделий из тугоплавких соединений;
- 5) изыскание областей применения тугоплавких соединений.

По первому направлению разработаны основы технологий получения многочисленных тугоплавких соединений – гидридов, боридов, алюминидов, карбидов, силицидов, германидов, нитридов, фосфидов, сульфидов, селенидов, теллуридов. Исследованы процессы взаимодействия металлов и окислов металлов с соответствующими неметаллами, с карбидами бора и кремния при образовании боридов и силицидов.

Огнеупорные материалы. Основной отличительной особенностью почти всех тугоплавких соединений являются их высокие огнеупорные свойства – сочетание стойкости против действия металлов, сплавов, шлаков, штейнов и иных расплавов с удовлетворительной механической прочностью при статических и не очень тяжелых динамических нагрузках, стойкость против эрозии и в ряде случаев высокая термостойкость. Все это обусловило возможность использовать тугоплавкие соединения для изготовления защитных чехлов металлических термопар, термопар для измерения температур расплавленных сталей, чугунов, сплавов черных и цветных металлов и позволяет осуществлять непрерывный контроль теплового режима мартеновских печей, конвертеров, вагранок.

Заслуживает внимание применение изделий из карбида кремния в качестве дроссельных задвижек в системе автоматического регулирования горячего дутья в доменных печах, основных элементов конструкций электронагревательных колодцев для безокислительного нагрева стальных слитков, направляющих в печах металлургического назначения, футеровки обогатительных печей кипящего слоя, деталей насосов и металлопроводов, для перекачки жидких цветных металлов и других агрессивных расплавов. Тугоплавкие соединения широко используются в качестве нагревательных элементов электрических печей сопротивления. Это нагреватели на основе дисилицида молибдена или карбида кремния для печей, работающих в окислительных средах до температур $1\ 700^{\circ}\text{C}$, и нагреватели вакуумных печей на основе карбида ниобия, работающих до температур $3\ 000^{\circ}\text{C}$.

Высокая стойкость боридов, карбидов и нитридов переходных металлов в расплавленных металлах и сплавах определила применение их для изготовления емкостей и нагревательных испарительных элементов для

вакуумных металлизационных установок, обеспечивающих прохождение нового технологического процесса, нанесения пленок алюминия, меди, серебра, никеля и других металлов на металлические и неметаллические поверхности. Эти процессы применяются в самых разнообразных областях техники. Особое значение в настоящее время приобрели неметаллические тугоплавкие соединения. Например, использование нитрида кремния в качестве стопорных игл и дозирующих стаканов при непрерывной разливке алюминиевых сплавов обеспечивает надежность и работоспособность процесса. Такие материалы, как карбонитрид бора, нитрид алюминия, алюмонитрид бора, нитрид кремния и сплавы на его основе, отличаются высокой стойкостью против действия самых разнообразных металлов, сплавов, солей, стойкостью против частых и резких смен температур. Они, по существу, представляют новый класс керамики, отличающейся от традиционных окисных керамических материалов более высокой коррозионной стойкостью, стойкостью против тепловых ударов и важными физико-техническими характеристиками.

АЛЮМИНИЕВЫЕ И ДРУГИЕ КОНСТРУКЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Академика Сергея Тимофеевича Кишкина по праву можно назвать одним из основателей науки об авиационном материаловедении. Новые методы исследования, эффективные технологии, предложенные ученым, послужили основой для разработки сталей всех видов и типов, которые во многом определили уровень отечественного авиастроения. Открытие им явления распада мартенсита при пластической деформации позволило уточнить наши представления о причинах упрочнения сталей. Установленное им гетерофазное строение жаропрочных сплавов и предложенная гетерофазная теория жаропрочности явились основой создания жаропрочных сплавов для отечественных газотурбинных двигателей. Научная школа металловедения Кишкина стала уникальным исследовательским центром, в котором были решены многие проблемы упрочнения, фазового равновесия, дислокационной кинетики, изученные свойства фаз и фазовых переходов, тонкой структуры, оптимального

легирования и микролегирования авиационных сталей и сплавов. К атомной проблематике Кишкин был привлечен в последний военный год. Поводом послужила катастрофическая ситуация, сложившаяся с герметичностью алюминиевых блоков корпусов тепловыделяющих элементов реакторов. Выполненные в полном соответствии с технической документацией твэлы давали протечки. Обнаружить брак по течу существовавшими методами не удавалось, он выявлялся только при эксплуатации. Кишкин с сотрудниками внес определяющий вклад в решении задачи герметичности и выявления брака. Решение было предельно простым (как «колумбово яйцо»): при погружении в кипяток воздух выходил замечаемыми пузырьками, выявляющими брак.

Вторая проблема атомной энергетики, решенная Кишкиным, – это промышленное производство изотопа уран-235. Он предложил использовать в качестве материала центрифуг высокопрочные алюминиевые сплавы. В итоге под руководством начальника лаборатории ВИАМ И.Н. Фридляндера был создан уникальный сплав, прочность которого была на 50 % выше существующих тогда сплавов. Именно этот сплав стал основным материалом центрифуг, что определило решение проблемы промышленного производства урана-235.

Если говорить о самой яркой черте Кишкина как ученого, то, пожалуй, надо сказать о его неустанных поисках новых оригинальных путей в науке. Он выбирал крупные народнохозяйственные задачи и неизменно находил возможности для их успешного решения. Так, он разработал и организовал производство тугоплавких сплавов на основе ниобия, молибдена, вольфрама и циркония для авиации, обосновал необходимость проведения геологической разведки ниобия как перспективного материала авиационной техники. Он внес весомый вклад в организации промышленности производства рения. Легирование рением позволило значительно поднять температурный уровень работы и жаропрочность никелевых сплавов для газотурбинных двигателей. Таких примеров проявления Кишкиным инициативы государственного масштаба можно привести немало. Успешно осуществляя научное руководство институтом, Кишкин находил время и силы для собственной продуктивной творческой

работы. Он проявил себя талантливым ученым-металловедом, обладающим даром научного предвидения, глубокой эрудицией и многосторонним опытом экспериментатора. Достаточно сказать, что он непосредственно участвовал в разработке высокопрочной стали 30ХГСНА, принятой для серийного производства и примененной в производстве наших истребителей. Эта сталь по прочности и технологическим показателям превосходила все известные отечественные и зарубежные специальные стали: она имела прочность 1600–1800 МПа, в то время как в США на самолетах-истребителях применялась хромомолибденовая сталь с прочностью 1100–1200 МПа.

В 1940-х гг. были созданы сплавы повышенной прочности: в алюминий дополнительно ввели цинк (5–7 %). Эти сплавы обладали прочностью 55 кг/мм² (550 МПа), однако при первых попытках их применения обнаружилось крайне неприятное свойство: листы из этого сплава растрескивались прямо на складе металлургического завода, где их производили. Появление трещин вызывается коррозией под напряжением. Напряжение в листах возникало при закалке, а коррозия вызывается влагой, содержащейся в атмосфере.

Сверхскоростные атомные центрифуги. Только СССР и Россия овладели чрезвычайно эффективной центрифужной технологией обогащения урана-235. США по-прежнему обогащают уран по энергоемкой термодиффузионной технологии. Отечественные центрифуги сделаны из самого прочного в мире сплава В96ц. В Новоуральске работают сотни тысяч сверхскоростных атомных центрифуг.

Ракета-носитель «Энергия». В.П. Глушко и Ю.П. Семенов доложили в свое время Политбюро ЦК КПСС, что готовы создать ракету, которая сможет конкурировать с американскими шаттлами. Ракета работает на жидком водороде и жидком кислороде. Центральный ее бак, заполненный жидким водородом, имеет диаметр 8 м, высоту 40 м, вокруг него размещены четыре бака с жидким кислородом. Для этих баков потребовался сплав, который при понижении температуры вплоть до температуры жидкого водорода или гелия не только не охрупчивался бы, как это происходит со сталью, а, наоборот, упрочнялся, и одновременно

повышалась бы его пластичность. Такой сплав был создан. Сплав 1201 системы «алюминий – медь – марганец» в результате понижения температуры упрочняется на 60 %, одновременно повышается его пластичность.

Создание ракеты сопровождалось дискуссиями, потому что некоторые институты Министерства общего машиностроения считали, что надо строить эти ракеты из менее прочного, но хорошо проверенного надежного сплава АМгб системы «алюминий – магний», а со сплавом 1201 мы провалимся. Действительно, трудностей было много, все они преодолены, и такие ракеты строятся из сплава 1201. «Энергия» вывела в космос орбитальный самолет «Буран», а уже в наши дни из сплава 1201 создаются на заводе им. М.В. Хруничева ракеты для отправки людей и грузов на международную космическую станцию.

В авиационной технике широко используются разнообразные алюминиевые сплавы. Мы рассмотрим высокопрочные сплавы системы Al-Zn-Mg-Cu и алюминиево-литиевые системы Al-Mg-Li-Cu-Li-Mg и Al-Cu-Li, разработанные под руководством Финдляндера.

Указанные сплавы сочетают прочность, пластичность, вязкость разрушения, малоцикловую усталость и коррозионную стойкость. Этот комплекс свойств был установлен в результате обширных исследований, длившихся десятки лет. Промышленные сплавы Al-Zn-Mg-Cu появились в 1940-х годах. Они обладали высокой прочностью, но были склонны к хрупкому разрушению и коррозионному растрескиванию в больших сечениях. В первые годы их применения было зарегистрировано много случаев отрыва крыльев у истребителей и коррозионных растрескиваний кованых узлов в транспортных самолетах. Целые серии некоторых типов самолетов были изъяты из эксплуатации.

Кардинальное улучшение свойств сплавов было достигнуто путем резкого снижения содержания примесей железа и кремния. Появились сплавы повышенной чистоты (пч) и очень чистые (оч). Они обладали высокой пластичностью, вязкостью разрушения и улучшенными литейными характеристиками, что позволяло отливать круглые и плоские слитки любых необходимых размеров.

2.3 Свойства материалов

По ряду признаков основные свойства строительных материалов могут быть разделены на физические, механические химические, физические свойства материала, характеризуют его строение или отношение к физическим процессам окружающей среды, физическим свойствам, истинную и среднюю плотность, пористость водопоглощения, водоотдачу, влажность, гигроскопичность, водопроницаемость, морозостойкость, воздухо -, паро-, газопроницаемость, теплопроводность и теплоемкость, огнестойкость и огнеупорность [7].

Масса – совокупность материальных частиц (атомов, молекул, ионов), содержащихся в данном теле. Масса обладает определенным объемом, то есть занимает часть пространства. Она постоянна для данного вещества и не зависит от скорости его движения и положения в пространстве. Тела одинакового объема, состоящие из различных веществ, имеют неодинаковую массу. Для характеристики различий в массе веществ, имеющих одинаковый объем, введено понятие плотности, последняя подразделяется на истинную и среднюю (таблица 2).

Истинная плотность – отношение массы к объему материала в абсолютно плотном состоянии, то есть без пор и пустот. Чтобы определить истинную плотность ρ (кг/м³, г/см³), необходимо массу материала (образца) m (кг, г) разделить на абсолютный объем V_a (м³, см³), занимаемый самим материалом (без пор). Зачастую истинную плотность материала относят к истинной плотности воды при 4°C, которая равна 1 г/см³, тогда определяемая истинная плотность становится как бы безразмерной величиной:

$$\rho = \frac{m}{V}.$$

Средняя плотность – физическая величина, определяемая отношением массы образца материала ко всему занимаемому им объему, включая имеющиеся в нем поры и пустоты. Среднюю плотность ρ_m (кг/м³, г/см³) вычисляют по формуле:

$$\rho_m = \frac{m}{V},$$

где m – масса материала в естественном состоянии, кг или г;

V – объем материала в естественном состоянии, м^3 или см^3 .

Таблица 2 – Истинная и средняя плотность некоторых строительных материалов

Материал	Плотность, кг/м^3	
	истинная	средняя
Стали	7850–7900	7800–7850
Гранит	2700–2800	2600–2700
Известняк (плотный)	2400–2600	1800–2400
Песок	2500–2600	1450–1700
Цемент	3000–3100	900–1300
Керамический кирпич	2600–2700	1600–1900
Бетон тяжелый	2600–2900	1800–2500
Материал	Плотность, кг/м^3	
	истинная	средняя
Сосна	1500–1550	450–600
Поропласты	1000–1200	20–100

Средняя плотность не является величиной постоянной и изменяется в зависимости от пористости материала. Искусственные материалы можно получать с необходимой средней плотностью, например, меняя пористость, получают бетон тяжелый со средней плотностью $1800\text{--}2500 \text{ кг/м}^3$ или легкий со средней плотностью $500\text{--}1800 \text{ кг/м}^3$.

На величину средней плотности влияет влажность материала: чем выше влажность, тем больше средняя плотность. Среднюю плотность материалов необходимо знать для расчета их пористости, теплопроводности, теплоемкости, прочности конструкций (с учетом собственной массы) и подсчета стоимости перевозок материалов.

Пористостью материала называют степень заполнения его объема порами. Пористость P дополняет плотность до 1 или до 100 %:

$$P = 1 - \frac{\rho_m}{\rho} \cdot 100.$$

Пористость различных строительных материалов колеблется в значительных пределах и составляет для кирпича 25–35, тяжелого бетона 5–10, газобетона 55–85 пенопласта 95 %, пористость стекла и металла

равна нулю. Большое влияние на свойства материала оказывает не только величина пористости, но и размер и характер пор: мелкие (до 0,1 мм) или крупные (от 0,1 до 2 мм), замкнутые или сообщающиеся. Мелкие замкнутые поры, равномерно распределенные по всему объему материала, придают материалу теплоизоляционные свойства.

Плотность и пористость в значительной степени определяют такие свойства материалов, как водопоглощение, водопроницаемость, морозостойкость, прочность, теплопроводность и др.

Водопоглощение – способность материала впитывать воду и удерживать ее. Величина водопоглощения определяется разностью массы образца в насыщенном водой и абсолютно сухом состояниях. Различают объемное водопоглощение W_v , когда указанная разность отнесена к объему образца, и массовое водопоглощение W_m , когда эта разность отнесена к массе сухого образца.

Водопоглощение по объему и по массе выражают в процентах и вычисляют по формулам:

$$W_v = \frac{m_1 - m_2}{V} \times 100\%; \quad W_m = \frac{m_1 - m}{m} \times 100\%,$$

где m_1 , – масса образца, насыщенного водой, г;

m – масса сухого образца, г;

V – объем образца в естественном состоянии, см^3 .

Насыщение материалов водой отрицательно влияет на их основные свойства: увеличивает среднюю плотность и теплопроводность, понижает прочность.

Степень снижения прочности материала при предельном его водонасыщении, то есть состоянии полного насыщения материала водой, называется **водостойкостью** и характеризуется значением $K_{разм}$:

$$K_{разм} = \frac{R_{нас}}{R_{сух}},$$

где $R_{нас}$ – предел прочности при сжатии материала в насыщенном водой состоянии, МПа; $R_{сух}$ – то же самое, сухого материала.

Влажность материала определяется содержанием влаги, отнесенным к массе материала в сухом состоянии. Влажность материала зависит как от

свойств самого материала (пористости, гигроскопичности), так и от окружающей его среды (влажность воздуха, наличие контакта с водой).

Влагоотдача – свойство материала отдавать влагу окружающему воздуху, характеризуемое количеством воды (в процентах по массе или объему стандартного образца), теряемой материалом в сутки при относительной влажности окружающего воздуха 60 % и температуре 20°C. Величина влагоотдачи имеет большое значение для многих материалов и изделий, например стеновых панелей и блоков, мокрой штукатурки стен, которые в процессе возведения здания обычно имеют повышенную влажность, а в обычных условиях, благодаря влагоотдаче, высыхают: вода испаряется до тех пор, пока не установится равновесие между влажностью материала стен и влажностью окружающего воздуха, то есть пока материал не достигнет воздушно-сухого состояния.

Гигроскопичностью называют свойство пористых материалов поглощать определенное количество воды при повышении влажности окружающего воздуха. Древесина и некоторые теплоизоляционные материалы вследствие гигроскопичности могут поглощать большое количество воды, при этом увеличивается их масса, снижается прочность, изменяются размеры. В таких случаях для деревянных и ряда других конструкций приходится применять защитные покрытия.

Водопроницаемость – свойство материала пропускать воду под давлением. Величина водопроницаемости характеризуется количеством воды, прошедшей в течение 1 ч через 1 см² площади испытуемого материала при постоянном давлении. К водонепроницаемым материалам относятся особо плотные материалы (сталь, стекло, битум) и плотные материалы с замкнутыми порами (например, бетон специально подобранного состава).

Морозостойкость – свойство насыщенного водой материала выдерживать многократное попеременное замораживание и оттаивание без признаков разрушения и значительного снижения прочности.

Замерзание воды, заполняющей поры материала, сопровождается увеличением ее объема примерно на 9 %, в результате чего возникает давление на стенки пор, приводящее к разрушению материала. Однако во

многих пористых материалах вода не может заполнить более 90 % объема доступных пор, поэтому образующийся при замерзании воды лед имеет свободное пространство для расширения. Разрушение материала наступает только после многократного попеременного замораживания и оттаивания.

Паро- и газопроницаемость – свойство материала пропускать через свою толщу под давлением водяной пар или газы (воздух). Все пористые материалы при наличии незамкнутых пор способны пропускать пар или газ. Паро- и газопроницаемость материала характеризуется соответственно коэффициентом паро- или газопроницаемости, который определяется количеством пара или газа в л, проходящего через слой материала толщиной 1 м и площадью 1 м² в течение 1 ч при разности парциальных давлений на противоположных стенках 133, 3 Па.

Теплоемкость – свойство материала поглощать при нагревании определенное количество теплоты и выделять ее при охлаждении.

Показателем теплоемкости служит удельная теплоемкость, равная количеству теплоты (Дж), необходимому для нагревания 1 кг материала на 1°С. Удельная теплоемкость, кДж (кг – °С), искусственных каменных материалов 0,75--0,92, древесины - - 2,4--2,7, стали - - 0,48, воды--4,187.

Теплоемкость материалов учитывают при расчетах теплоустойчивости стен и перекрытий отапливаемых зданий, подогрева составляющих бетона и раствора для зимних работ, а также при расчете печей.

Огнестойкость – свойство материала противостоять действию высоких температур и воды в условиях пожара. По степени огнестойкости строительные материалы делят на негорючие, трудно сгораемые и сгораемые.

Негорючие материалы под действием огня или высокой температуры не воспламеняются, не тлеют и не обугливаются. К этим материалам относят природные каменные материалы, кирпич, бетон, сталь. Трудно сгораемые материалы под действием огня с трудом воспламеняются, тлеют или обугливаются, но после удаления источника огня их горение и тление прекращаются. Примером таких материалов могут служить древесно-цементный материал фибролит и асфальтовый бетон.

Сгораемые материалы под воздействием огня или высокой температуры

воспламеняются и продолжают гореть после удаления источника огня. К этим материалам в первую **очередь** следует отнести дерево, войлок, толь и рубероид.

Огнеупорностью называют свойство материала выдерживать длительное воздействие высокой температуры, не расплавляясь и не деформируясь. По степени огнеупорности материалы делят на огнеупорные, тугоплавкие и легкоплавкие.

Огнеупорные материалы способны выдерживать продолжительное воздействие температуры свыше 1580°C . Их применяют для внутренней облицовки промышленных печей (шамотный кирпич). Тугоплавкие материалы выдерживают температуру от 1350 до 1580°C (гжельский кирпич для кладки печей). Легкоплавкие материалы размягчаются при температуре ниже 1350°C (обыкновенный глиняный кирпич).

Теплопроводность – свойство материала передавать через толщу теплоту при наличии разности температур на поверхностях, ограничивающих материал. Теплопроводность материала оценивается количеством теплоты, проходящей через стену из испытуемого материала толщиной 1 м , площадью 1 м^2 за 1 ч при разности температур противоположных поверхностей стены 1°C . Теплопроводность измеряется в $\text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ или $\text{Вт}/(\text{м}\cdot^{\circ}\text{C})$.

Теплопроводность материала зависит от многих факторов: природы материала, его строения, пористости, влажности, а также от средней температуры, при которой происходит передача теплоты. Материал кристаллического строения обычно более теплопроводен, чем материал аморфного строения. Если материал имеет слоистое или волокнистое строение, то теплопроводность его зависит от направления потока теплоты по отношению к волокнам, например, теплопроводность древесины вдоль волокон в 2 раза больше, чем поперек волокон.

На теплопроводность материала в значительной мере влияют величина пористости, размер и характер пор. Мелкопористые материалы менее теплопроводны, чем крупнопористые, даже если их пористость одинакова. Материалы с замкнутыми порами имеют меньшую теплопроводность, чем материалы с сообщающимися порами. Теплопроводность однородного материала зависит от величины его средней плотности. Так, с

уменьшением плотности материала теплопроводность уменьшается и наоборот. Теплопроводность в воздушно-сухом состоянии тяжелого бетона 1, 3–1, 6, керамического кирпича 0, 8–0, 9, минеральной ваты 0, 06–0, 09 Вт/(м·°С).

Механические свойства

Механические свойства характеризуют способность материала сопротивляться разрушающему или деформирующему воздействию внешних сил. К механическим свойствам относят прочность, упругость, пластичность, хрупкость, сопротивление удару, твердость, истираемость, износ.

Прочность – свойство материала сопротивляться разрушению под действием внутренних напряжений, возникающих от внешних нагрузок. Под воздействием различных нагрузок материалы в зданиях и сооружениях испытывают различные внутренние напряжения (сжатие, растяжение, изгиб, срез и др.). Прочность является основным свойством большинства строительных материалов, от ее значения зависит величина нагрузки, которую может воспринимать данный элемент при заданном сечении.

Материалы в зависимости от происхождения и структуры по-разному противостоят различным напряжениям. Так, материалы минерального происхождения (природные камни, кирпич, бетон и др.) хорошо сопротивляются сжатию, значительно хуже срезу и еще хуже растяжению, поэтому их используют главным образом в конструкциях, работающих на сжатие. Другие строительные материалы (металл, древесина) хорошо работают на сжатие, изгиб и растяжение, поэтому их с успехом применяют в различных конструкциях (балки, фермы и т.п.), работающих на изгиб (таблица 3).

Таблица 3 – Прочность некоторых материалов

Материалы	Предел прочности, МПа, при		
	сжатии	изгибе	растяжении
Гранит	150–250	-	3–5
Тяжелый бетон	10–50	2–8	1–4
Керамический кирпич	7,5–30	1,8–4,4	-
Сталь	210–600	-	380–900
Древесина (вдоль волокна)	30–65	70–150	55–150
Стеклопластик	90–150	130–250	60–120

Прочность материалов обычно характеризуют маркой, которая соответствует по величине пределу прочности при сжатии, полученному при испытании.

Хрупкость – свойство материала мгновенно разрушаться под действием внешних сил без предварительной деформации. К хрупким материалам относят природные камни, керамические материалы, стекло, чугун, бетон и т. п.

Сопротивлением удару называют свойство материала сопротивляться разрушению под действием ударных нагрузок. В процессе эксплуатации зданий и сооружений материалы в некоторых конструкциях подвергаются динамическим (ударным) нагрузкам, например в фундаментах кузнечных молотов, бункерах, дорожных покрытиях. Плохо сопротивляются ударным нагрузкам хрупкие материалы.

Твердость – свойство материала сопротивляться прониканию в него другого материала, более твердого. Это свойство имеет большое значение для материалов, используемых в полах и дорожных покрытиях. Кроме того, твердость материала влияет на трудоемкость его обработки.

Существует несколько способов определения твердости материалов. Твердость древесины, бетона определяют, вдавливая в образцы стальной шарик. О величине твердости судят по глубине вдавливания шарика или по диаметру полученного отпечатка. Твердость природных каменных материалов определяют по шкале твердости (метод Бооса), в которой десять специально подобранных минералов расположены в такой последовательности, когда следующий по порядку минерал оставляет черту (царапину) на предыдущем, а сам им не прочерчивается (таблица 4). Например, если испытуемый материал чертится апатитом, а сам оставляет черту (царапину) на плавиковом шпате, то его твердость соответствует 4, 5.

Истираемость – свойство материала изменяться в объеме и массе под воздействием истирающих усилий. От истираемости зависит возможность

применения материала для устройства полов, ступеней, лестниц, тротуаров и дорог. Истираемость материалов определяют в лабораториях на специальных машинах – кругах истирания.

Износом называют разрушение материала при совместном действии истирания и удара.

Упругость – свойство материала деформироваться под нагрузкой и принимать после снятия нагрузки первоначальную форму и размеры. Наибольшее напряжение, при котором материал еще обладает упругостью, называется пределом упругости. Упругость является положительным свойством строительных материалов. В качестве примера упругих материалов можно назвать резину, сталь, древесину.

Пластичность – способность материала изменять под нагрузкой форму и размеры без образования разрывов и трещин и сохранять изменившиеся форму и размеры после удаления нагрузки. Это свойство противоположно упругости. Примером пластичного материала служат свинец, глиняное тесто, нагретый битум.

Таблица 4 – Шкала твердости минералов

Показатель твердости	Минералы	Характеристика твердости
1	Тальк или мел	Легко чертится ногтем
2	Каменная соль или гипс	Ноготь оставляет черту
3	Кальцит или андегрит	Легко чертится стальным ножом
4	Плавиковый шпат	Чертится стальным ножом под небольшим давлением
5	Апатит	Чертится большим ножом при сильном напряжении стекло не чертит
6	Ортоклаз (полевой шпат)	Слегка царапает стекло, стальной нож черты не оставляет
7	Кварц	Легко чертит стекло, стальной нож черты не оставляет
8	Топаз	
9	Корунд	
10	Алмаз	

Химические свойства

Химические свойства характеризуют способность материалов к химическим превращениям под воздействием веществ, с которыми он находится в соприкосновении. Химические свойства материала весьма разнообразны, основные из них – химическая и коррозионная стойкость.

Химическая стойкость – способность материалов противостоять разрушающему влиянию щелочей, кислот, растворенных в воде солей и газов.

Коррозионная стойкость – свойство материалов сопротивляться коррозионному воздействию среды.

Многие строительные материалы не обладают этими свойствами. Так, почти все цементы плохо сопротивляются действию кислот, битумы сравнительно быстро разрушаются под действием концентрируемых растворов щелочей, древесина не стойка к действию тех и других. Лучше сопротивляются действию кислот и щелочей некоторые виды природных каменных материалов (диабаз, андезит, базальт), плотная керамика, а также большинство материалов из пластмасс.

2.4 Расчёты технологических характеристик применения отходов обогащённого золотосодержащего сырья

По эффективности использования сырьевых ресурсов России значительно отстает от стран с рыночной экономикой [8; 9].

При гравитационном обогащении золота и оловосодержащих песков россыпных месторождений после извлечения из них основного полезного компонента ежегодно образуются сотни тонн шлиховых продуктов, содержащих целый ряд ценных минеральных ассоциаций (вольфрамит, касситерит, ильменит, рутил, циркон, танталит, колумбит, монацит и др.).

Шлиховые продукты обычно не перерабатываются и накапливаются в

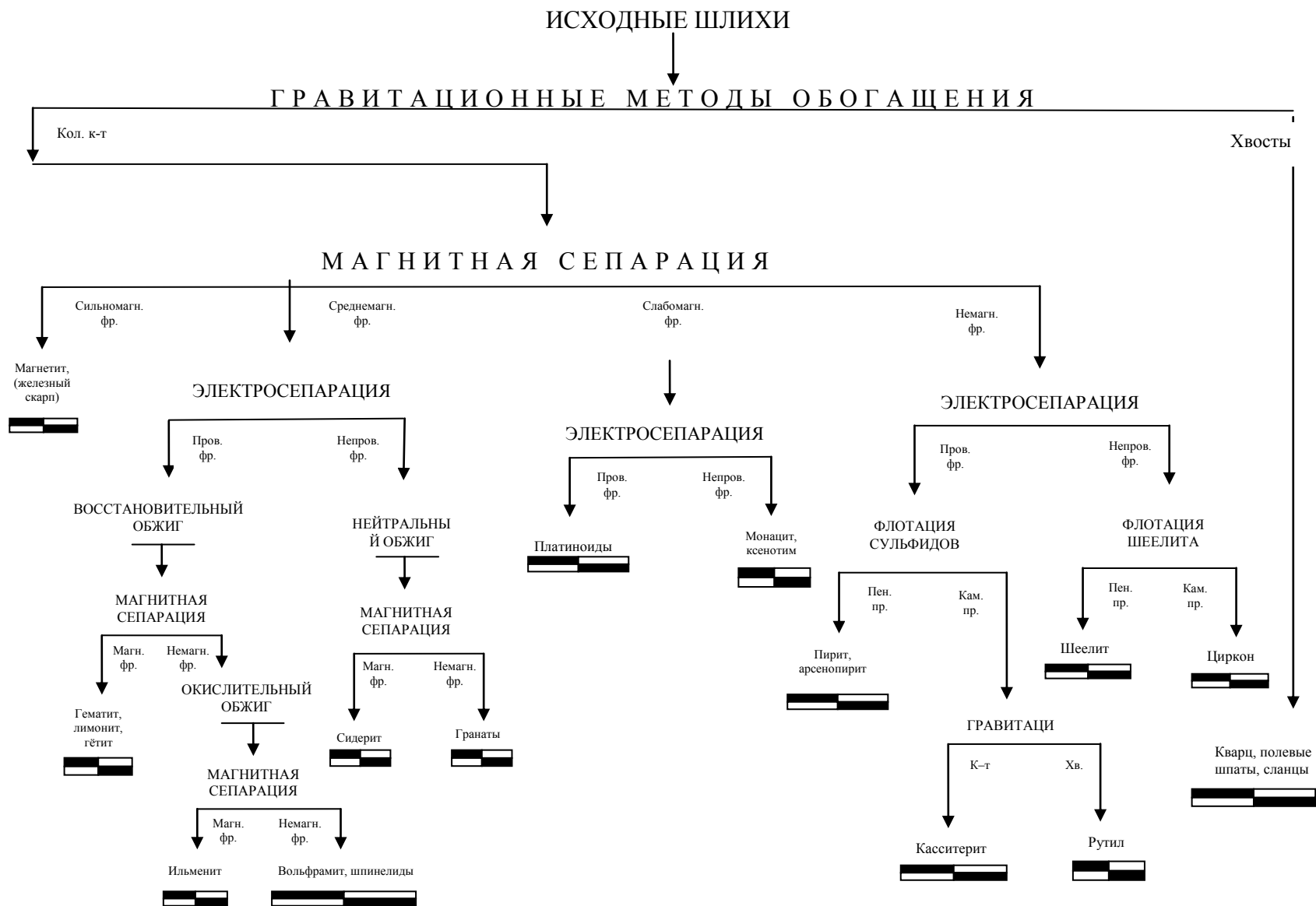
отвалках, при действии природных факторов качество и ценность содержащихся в них компонентов со временем утрачиваются. Между тем шлихи – природоизмельченное многокомпонентное сырье, содержащее сочетание именно тех элементов, которые в большинстве случаев входят в гетерофазные дисперсные системы, применяемые в промышленности.

Минералогический состав шлихов весьма разнообразен и характеризуется различным соотношением отдельных минералов. Различные физико-химические свойства минералов шлихового комплекса россыпных месторождений дают возможность дифференцированного изменения этих свойств с помощью обработки поверхностно-активными веществами, магнетизирующего обжига, обжига в окислительной, нейтральной и восстановительной средах. Можно провести селективное разделение шлиховых концентратов с получением мономинеральных фракций.

Рассмотрены вопросы использования шлихов в качестве наплавочных флюсов, проведены расчеты применимости этого природного минерального сырья для создания недефицитных и эффективных наплавочных флюсов для износостойких покрытий.

Предлагается принципиальная технологическая схема разделения шлихов на селективные функции (рисунок 6).

Схема включает предварительный рассев шлихов на следующие классы крупности: $-3 + 1$; $-1 + 0,5$; $-0,5 + 0,25$; $-0,25 + 0,15$ и $- 0,15$ мм. Как показывают наши эксперименты, класс $+3$ мм ценных компонентов не содержит, а класс $- 0,15$ мм значительно ими обогащен (до 90 %). Далее по схеме следуют гравитационные методы с проведением отсадки отдельно по классам крупности. В зависимости от присутствия большего или меньшего количества полезных минералов и их физико-химических свойств, схема может быть сильно развитой или, как показали наши эксперименты, довольно простой.



Результаты спектрального анализа шлиховых проб показывают, что основные элементы представлены кремнием, алюминием и железом, из редких интерес представляют титан, хром, ванадий, цирконий и некоторые другие.

Гранулометрическая характеристика шлиховых проб показала, что наибольшее количество материала содержат классы +1 мм, однако содержание полезных минералов в них значительно и их основная масса находится в более тонких классах.

Электромагнитные продукты включают в себя из полезных минералов в основном титаносодержащий минерал ильменит, содержание которого в тонких классах 1–0,25 мм достигает 80 % и выше. Из других минералов можно назвать гранаты, гематит, амфиболы, лимонит, содержащиеся в различных соотношениях.

Немагнитные продукты содержат ценные цирконий и титаносодержащие минералы – циркон и рутил. В отдельных пробах в классе -0,16 мм содержится 91 % циркона.

Таким образом, можно заключить, что во всех шлиховых продуктах основными ценными компонентами являются титаносодержащие минералы ильменит, рутил, сфен и цирконосодержащий – циркон.

Отдельные пробы, кроме титановых и цирконовых, содержат оловосодержащий минерал касситерит (до 60 %).

Ниже в таблице приводится перечень оборудования, которое, по нашему мнению, является необходимым для типовой лаборатории, заменяющейся подготовкой минерального для целей порошковой металлургии и защитных покрытий, приведенные в этой таблице приборы и аппараты выпускаются отечественными заводами горно-обогатительного оборудования (таблица 5).

Таблица 5 – Спецификация оборудования типовой лаборатории для выделения мономинеральных фракций

Наименование	Количество	Примечание
1	2	3
А. Отделение подготовки проб		
Щековая дробилка 150х100 мм	1 шт.	—
Дробилка валковая 200х125 мм	1 то же	—
Дисковый истиратель 160 мм	1 – << -	—
Грохот 250х1100 мм	2 – << -	Могут быть изготовлены на месте
Вальцовая установка с мельницами	1 – << -	
Рифленные сократители проб разных размеров	5 << - >>	
Ситовый анализатор с комплексом сит	1 комп.	—
Весы десятичные с гирями		
Весы технические взвешивания	1 то же	—
Стол взвешивания	- << -	—
	1 шт.	—
Б. Отделение мокрых методов концентрации		
Концентрационный стол 450х1000 мм	1 шт.	—
Шаровая мельница с поворотной осью	1 то же	—
Флотационная машина 3-литровая <<Механобор>>	1 – << -	
Флотационная машина со сменными камерами ФЛ-1 (1, 0,5, 0,25 и 0,1 л)	1 – << -	
Приемочные емкости		
Стандартный рН-метр	20 шт.	—
Стол для работы 150х1500 мм	1 то же	—
Стол для взвешивания 500х1500 мм	1 – << -	—
Весы технические с разновесом	1 то же	—
	1 компл.	—
В. Отделение электрических методов концентрации и центрифугирования		
Электромагнитный сепаратор ИРС	1 шт.	—
Центрифуга стаканчиковая с емкостью стакана не менее 80 мм	1 то же	—
Набор посуды для работы с центрифугой	1 комп.	—
Электростатический сепаратор (в изолированном варианте)	1 комп.	—
Весы технические с разновесом	1 комп.	—
Г. Отделение доводки мономинеральных фракций		
Бинокляр МБС	2 шт.	Изготавливаются на месте
Трубочки-ловушки	5 комп.	—
Набор химических реактивов	—	

НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ПОКРЫТИЯ, ПОЛУЧАЕМЫЕ ИЗ ШЛИХОВ ОБОГАЩЕНИЯ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ ЗОЛОТА

Современное материальное производство характеризуется истощением минеральных ресурсов и ухудшением экологической обстановки. Чем короче путь от минерального сырья к готовому материалу (для изготовления изделий), тем более эффективно его производство. В связи с этим получение материалов (конструкционных, инструментальных, наплавочных и др.) непосредственно из минерального сырья является весьма актуальной задачей.

Возможности получения известных и новых материалов непосредственно из минерального сырья значительно расширяются при использовании энергонасыщенных технологических методов, позволяющих осуществлять вскрытие концентратов, их восстановление и синтез материалов.

Таким образом, обозначается новое научное направление – создание конструкционных, инструментальных и наплавочных материалов потоков энергии (лазерная, электроннолучевая, электроэрозионная и др.), плазмохимическими методами, энергонасыщенными методами (электродугового, электрошлакового переплавов, алюмотермии, механоактивизации) (рисунок 7).

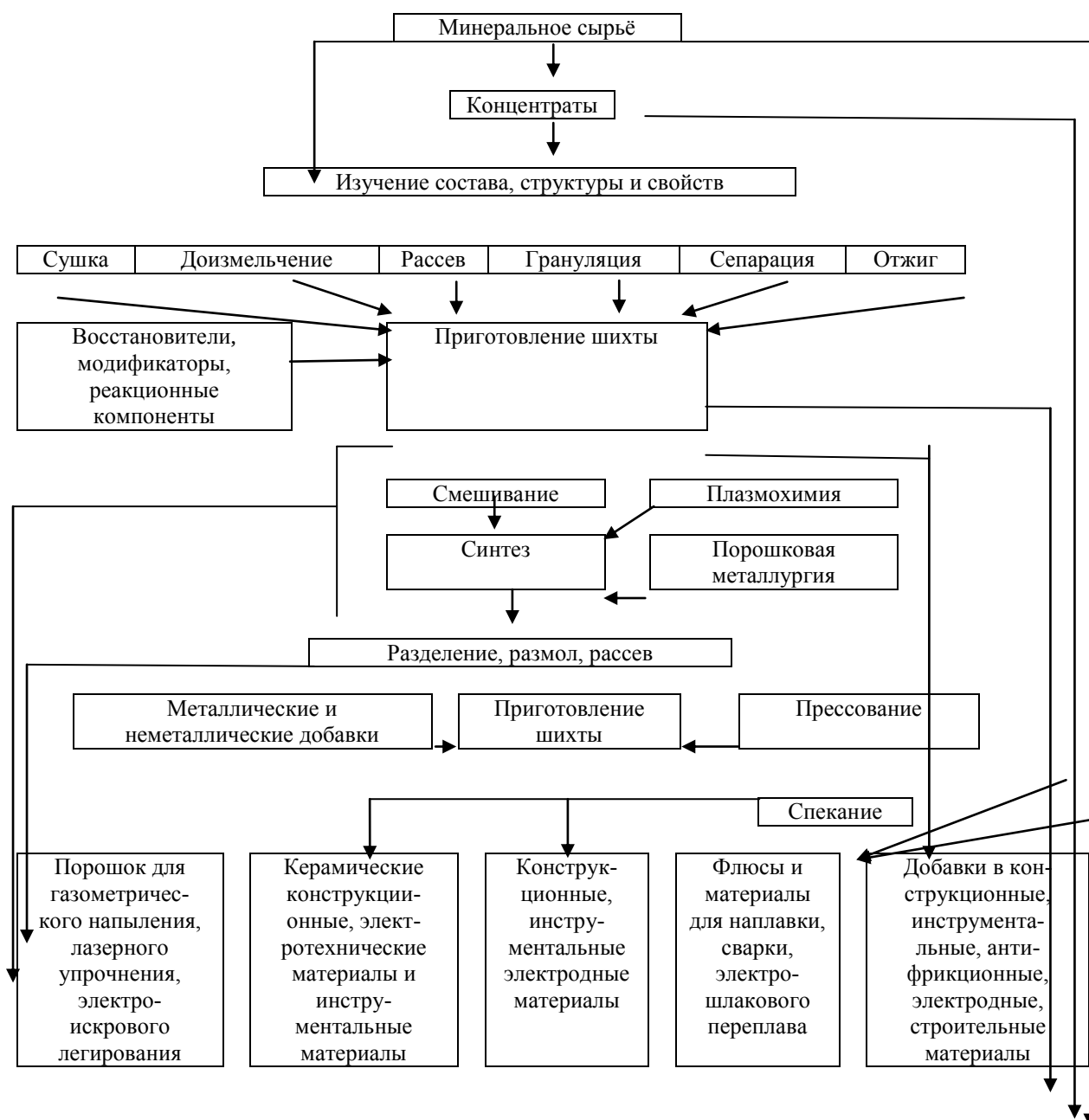


Рисунок 7 – Технологическая схема переработки минерального сырья методами порошковой металлургии

Следует отметить, что в процессе получения материалов на данном этапе развития технология образует отходы, которые в большинстве случаев должны стать материалом для других производств. Образование отходов происходит в меньшем количестве, при лучшей экологической технологии пирогидрометаллургии, безотходное производство возможно созданием котла (плазменного).

В практике Института материаловедения ДВО РАН используются

электрофизические методы, плазменный, алюмотермии, СВС-методы, а также методы порошковой металлургии. Для получения материала целевого назначения с данными свойствами в состав шихты, помимо исследуемого минерального сырья, вводят дополнительные компоненты. Это могут быть восстановители (углерод, бор, алюминий и др.), модификаторы, изменяющие свойства исследуемых материалов, и реакционные компоненты (катализаторы, ингибиторы и др.). Из приготовленной соответствующим образом шихты получают тугоплавкие металлы или соединения (прямой 2 синтез, метод СВС), которые, в свою очередь, используются в качестве исходных веществ для газотермического напыления, лазерного, плазменного, диффузного упрочнения металлов или для получения новых порошковых композиций с применением классических методов порошковой металлургии (прессование и спекание, горячее прессование, динамическое горячее прессование). Шлихи и концентраты также используются без дополнительной обработки как флюсы и материалы для электродуговой, электрошлаковой наплавки, химико-термической обработки и как добавки к различным порошковым материалам конструкционного, инструментального, антифрикционного назначения, а также к строительным материалам, в качестве добавок при получении известных традиционных материалов с целью изменения физико-химических и технологических характеристик и уменьшения их себестоимости. Наибольший интерес для получения материалов в условиях Дальневосточного региона имеют титаномагнетиты, датолит, брусит, вольфрамовый, молибденовый, медный, циркониевый концентраты. Титаномагнетит россыпей Курильской гряды, состав которого после магнитной сепарации составляет (мас %): Fe_2O_3 – 46,7; FeO – 35; TiO_2 – 8,4.

Размер частиц титаномагнетита составлял 0,4–1,5 мм.

Датолитовый концентрат $[\text{CaB}(\text{SiO}_4)\text{OH}]$ следующего состава (мас %): B_2O_3 – 16,5; SiO_2 – 32-34; CaO – 36,50-39,0, – используется в составе борсодержащего компонента при синтезе материалов. Вольфрамсодержащий концентрат (ГОК «Восток-2» Приморского края, Лермонтовский ГОК) состава (мас %): SiO_2 – 27,96; Al_2O_3 – 0,78; Fe_2O_3 – 5,29; WO_3 – 55,4.

Бадделеитовый концентрат (месторождение «Алгома») химического состава (мас %): ZrO_2 – 4149; SiO_2 – 20-37; Fe_2O_3 – 3,6; CaO – 4,1).

Брусит (Кульдурский бруситовый рудник, химико-минералогический состав бруситов (мас %): MgO – 55-67; CaO – 1,3; SiO – 0,2-21; Fe_2O_3 – 0,01-1,0).

Приведем примеры получения ряда материалов непосредственно из минерального сырья, выполненных в Институте материаловедения ХНЦ ДВО РАН.

Электродные материалы для электроискрового легирования. Методом алюмотермии из вольфрамсодержащего концентрата (шеелита) и датолитового концентрата получены электроды, содержащие W_2B_5 , WB , Al_2O_3 , W-Fe , W-Ni , W-Mo-Co , W-Ni-Mo , W-Ni-Zr , W-Cr . Разработанный процесс алюмотермии экологически чист и не требует дополнительных затрат электроэнергии. Более того, возможна утилизация алюминиевого лома. Шлак используется для изготовления абразивных порошков и паст. Себестоимость продукции в 6–15 раз ниже, чем получаемая по традиционным технологиям. Институт получил патенты на эту технологию. Созданы электродные материалы для электроискрового легирования на основе карбида вольфрама с самофлюсующимися добавками 2–4 вес % датолитового концентрата, позволяющие улучшить условия формирования легированного слоя.

Показана возможность непосредственного использования концентратов минерального сырья и шлихов в качестве легирующих материалов. Разработана специальная установка для ЭИЛ порошковыми материалами.

Электродные материалы для электроэрозионной обработки. Разработана технология получения электрод-института на основе вольфраммедного псевдосплава следующего состава: W-Cu , W-Cu-WC , W-Cu-ZrO_2 , $\text{W-Cu-W}_2\text{B}_5$, дисперсно упрочненного тугоплавкими составляющими. Исходным сырьем для получения электродного материала служат вольфрам и цирконийсодержащие концентраты. Обработаны технологические параметры восстановления, карбидизации и борирования шеелитового концентрата. Материалы получены методами горячего прессования, прессования и спекания в вакууме и в среде водорода, консолидацией с использованием энергии взрыва. Полученные

электроды по эксплуатационным свойствам превосходят ныне широко используемые за рубежом электроды на основе сплава «Эльконайт», а их стоимость ниже в 2–36 раза.

Электродные материалы и флюсы для электросварки. Проводятся работы по использованию минерального сырья для изготовления сварочных электродов. В качестве шихты для обмазок экспериментальных электродов использовались концентраты, имеющие в своем составе титан, цирконий, вольфрам. В результате исследований свойств сварного шва установили, что металл, направленный созданными электродами, имеет более мелкозернистую, равномерную структуру, чем получаемый сваркой электродами УОНИ-13-45, а ударная вязкость материала шва в 1,6 раз выше.

Абразивные материалы. Углетермическим восстановлением датолитового концентрата получены абразивные порошки с размером частиц 0,1–0,5 мкм, включающие SiC (41,1 %), CaB₆ (11,1 %), B₄C (93,5 %) и не уступающие алмазной пасте.

Порошковые материалы. Получены порошковые материалы различного назначения, содержащие карбиды и бориды вольфрама и карбид кремния углетермическим восстановлением шеелитового концентрата. На основе изучения изоморфизма природных соединений вольфрама разработан метод ликвидационной плавки вольфрамовых концентратов с получением вольфрама натрия, карбидизация которого приводит к получению чистого карбида вольфрама. Эти технологии обеспечивают экологическую чистоту; себестоимость конечного продукта значительно ниже, чем при применении ныне существующих технологий, что подтверждено испытаниями на опытном участке Лермонтовского ГОКа (Приморский край) и Джидинском молибденовом комбинате (Республика Бурятия).

Керамические материалы. Создана жаростойкая керамика на основе диоксида циркония из бадделеитового концентрата с добавкой брусита, предназначенная для использования в качестве огнеупорного материала, что обусловлено его низкой теплопроводностью, высокой стекло-, шлако-, и металлоустойчивостью, стабильность в окислительной и восстановительной атмосфере. Полученные из жаростойкой керамики

тигли для плавки металла используются в стоматологии при температуре 1300–1500⁰С.

Конструкционные материалы. Из стружковых металлоотходов (отходы титановых сплавов) и минерального сырья Дальневосточного региона (датолитовый и бадделеитовый концентраты) получены порошки на основе боридов титана и циркония. Синтезированные порошки рекомендуются для получения конструкционной керамики и нанесения защитных износостойких покрытий методом плазменного напыления и лазерной наплавки. Преимущество технологии заключается в высокодисперсности порошков (размеры частиц меньше, чем у стандартных (NiB_2 и ZrB_2), повышенной термостойкости и сниженной (за счет использования металлоотходов и минерального сырья) себестоимости. Технология получения боридов защищена патентом.

Для получения качественных сталей с добавками минерального сырья использовался электрошлаковый переплав сталей. Для этой цели был рассчитан и изготовлен ряд флюсов из местного минерального сырья с добавками шеелита, Бадделеита, титаномагнетитового песка и др. Присадочным материалом служила проволока Св 08 ГС. В результате получен ряд сплавов, свойства которых существенно отличаются от свойств присадочного материала (содержание W до 9%). Например, ударная вязкость стали, полученной с использованием бадделеита титаномагнетика в 2,1 раза выше ударной вязкости стали присадочной проволоки, переплавленной при стандартном флюсе АН-348В, а износостойкость в 1,95 раза превышает износостойкость стали 40ХН, улучшенной закалкой и отпуском.

Материалы для лазерной наплавки и легирования. Порошковые композиционные материалы на основе диборида титана (TiB_2) и оксида циркония (ZrO_2) с добавками SiC, получаемые из минерального сырья, а также порошки WC, бадделеитового, хромового концентратов, наносились на стали (сталь 45, X12Ф1, 65Г) методом шликерной намазки с последующей лазерной наплавкой. Все наплавки проводились в режиме оплавления основы, что обеспечивало достаточную глубину упрочнения поверхности стали тугоплавкой фазой. Исследование микроструктуры

поперечного сечения образцов после наплавки показала, что наблюдается формирование чередующихся зон (белой и отпуска) с хорошим перемешиванием наносимого порошка с материалом основы. На незакаленной стали 45 с покрытием из ZrO_2 и Cr_2O_3 получено возрастание твердости от 3,2 до 10-11 ГПа, для ZrO_2 с добавлением Ti в соотношении 2:1-18,3 ГПа, и на покрытии WC-CO – до 30 ГПа. В составах, включающих ZrO_2 и Cr_2O_3 , кроме исходных компонентов, обнаружено образование восстановительных фаз Zr и Cr.

Глава 3 Практическое применение результатов научных исследований минерального сырья вольфрама и бора месторождений Дальнего Востока России

3.1 Свойства и применение композиционных порошковых материалов, полученных из шеелитового и датолитового концентратов

Основные физико-химические и механические свойства композиционных материалов, получаемых в системах вольфрамовый концентрат-углерод, датолитовый концентрат-углерод, вольфрамовый концентрат-датолитовый концентрат-углерод характеризуются высокими значениями твердости, температуры плавления, жаростойкости, химической стойкости в ряде минеральных кислот [10, 11].

Для оценки химических и механических свойств синтезированных соединений из датолитового концентрата были изучены два порошковых материала, отличающиеся фазовым составом компонентов.

В состав 1, полученный термообработкой в среде аргона, после отмытки в 10 %-ном растворе соляной кислоты, входят карбиды SiC и B_4C в примерном соотношении 2:1 (68,2 % SiC и 30,5 % B_4C). Материал содержит 1,3 % остаточного углерода. Присутствуют два вида кристаллов зернистой и нитевидной формы. Мелкозернистая фракция представлена кристаллами карбида кремния и карбида бора размером 0,1-1 мкм. Нитевидные кристаллы SiC ленточной формы по длине от 5 до 30 мкм и в диаметре 0,1-2 мкм. Количество нитевидных кристаллов в порошке составляет 58 %.

В состав 2, полученный в вакууме 0,133 Па, входят: SiC – 41,6 %, B₄C – 11,2 %, CaB₆ – 3,5 % и 0,9 % остаточного углерода, остальное CaO. Есть частицы в виде гранул диаметром 0,02-1 мкм и вытянутой формы длиной 2–5 мкм. Содержание кристаллов вытянутой формы не превышает 15,2 %.

Порошки были исследованы на химическую стойкость при кипячении в концентрированных минеральных кислотах. Результаты представлены в таблице 6.

После кипячения в соляной и серной кислотах в составе присутствует гексаборид кальция, соответственно потери массы происходят за счет перехода в раствор оксида кальция. После обработки порошка в азотной кислоте и фтористоводородной кислоте оставшийся осадок включал только карбиды бора и кремния. Данные таблицы показывают, что по химической стойкости полученные карбиды не уступают синтезированным из оксидов [12].

Таблица 6 – Химическая стабильность композиционных порошковых материалов при кипячении в кислотах

Реагент	$\tau_{\text{обр.}}$ (ч)	Степень растворения (%)	
		Состав 1	Состав 2
HCl	1,5	не разложился	48
H ₂ SO ₄	1,5	не разложился	50
HNO ₃	1,5	не разложился	55
HF	0,5	4	57

Стойкость к высокотемпературному окислению композиционных материалов была оценена в динамическом режиме нагрева в печи дериватографа до 1000°C. Температуры начала окисления B₄C и SiC соответственно равны 610 и 830°C, что согласуется с литературными данными, относящимися к карбидам, полученным карбидизацией оксидов [13; 14]. Как показывает сравнение результатов по составу 1 и составу 2, стойкость к окислению карбидов, полученных в вакууме и в инертной среде равнозначна.

Рассмотренные свойства карбидов бора и кремния в сочетании с механическими характеристиками могут найти применение при

использовании их в качестве легирующей добавки к композиционным материалам с целью улучшения их эксплуатационных характеристик по жаростойкости и износостойкости, например в электродных материалах для электроискровых покрытий металлических поверхностей.

Порошок размером частиц 0,1–1 мкм, содержащий карбиды бора и кремния, полученные прямой карбидизацией датолита, добавляли как дополнительный ингредиент в шихту, включающую карбид вольфрама и кобальт. Для экспериментальной проверки влияния состава на свойства электродного материала были приготовлены смеси ингредиентов, соответствующие граничным и средним значениям содержания карбидов от 0,5 до 2,0 % порошка в составе шихты. Спресованные электроды спекали при 1400–1450°C в вакуумной печи. Электроэрозионное упрочнение проводили на установке «Элитрон-22». Характеристики покрытий, полученных электроэрозионным упрочнением образцов, изготовленных из стали X12Ф1, представлены в таблице 7.

Данные таблицы 3.2 показывают эффективность использования порошкового материала, полученного прямым восстановлением датолита, в составе электродного материала для ЭИЛ.

Таблица 7 – Свойства электроискровых покрытий при различных соотношениях ингредиентов в составе электродного материала

Соотношение дополнительных ингредиентов			Характеристики покрытия				
C	SiC	B ₄ C	Сплошность (%)	Микротв. (Гпа)	Толщина слоя (мкм)	Износ за 10 км	Жаростойкость при 80°C (Δm, г)
0,5	-	-	95-98	20-23	38-45	3-14	0,31
1,0	0,15	0,05	92	22	45	15	0,11
0,5	0,65	0,25	93	23	45	12	0,08
0,1	0,95	0,50	93	24	45	10	0,09

Была также проведена проверка истирающей способности порошка состава 2. При сравнении с алмазной пастой и карбидом кремния истирающая способность порошка изучалась на установке УАС-2М по методике, разработанной в соответствии с техническими условиями

ТУ-2-037-80. Истирание проводили в течение 15 мин, при давлении 30 ГПа. Полученные результаты представлены в таблице 8.

Таблица 8 – Истирающая способность порошковых материалов

Состав (%)			Размер частиц (мкм)	Δm , г
SiC	B ₄ C	CaB ₆		
41,6	11,2	3,5	0,1-1	0,00670
100	-	-	3-7	0,00500
Алмазная паста			3-7	0,00065

Исследуемый материал обладает большей истирающей способностью в сравнении с карбидом кремния и алмазной пастой, что позволяет рекомендовать его к использованию в качестве эффективного абразивного материала.

При получении электродных материалов непосредственно из минерального сырья продукты углестермического восстановления шеелитового концентрата подшихтовывали кобальтом, смешивали с пластификатором (раствор 5 %-ного синтетического каучука в бензине), сушили и прессовали в штабики размером 5х5х45 мм. Электроды спекали в вакууме при температуре 1400–1450°C. Электродный материал имел следующий химический состав (мас. %): вольфрамо-карбид железа в виде Fe₂W₃C-Fe₄W₂C- 4-9 и Fe₆W₆C- 14-21, карбид железа в виде Fe₂C- 4-7, вольфрамо-силицид кобальта в виде Co₃WSi- 1,0-2,5, вольфрамо-карбид кобальта Co₃W₃C- 4,9, карбид вольфрама и карбид кремния – остальное.

Электроискровое легирование полученными электродами проводили на подложке из инструментальной штамповой стали X12Ф1. Кинетика процесса ЭИЛ показала, что максимальный привес катода равен $13 \cdot 10^{-4}$ г/см³ на второй минуте легирования. При легировании стандартным твердым сплавом ВК-8 эта величина равна $1,4 \cdot 10^{-4}$ г/см³. Повышение эффективности ЭИЛ при использовании электродов, полученных непосредственно из вольфрамового концентрата, объясняется их низкой эрозионной стойкостью. Металлографическим анализом покрытий определено, что сплошность легированного слоя, полученного из

электродного материала с использованием концентрата и сплава ВК-8, составляет ~88 %. Толщина слоя равна ~60мкм. Полученные покрытия не равномерны по толщине, имеются бугры. Наблюдается увеличение микротвердости легированного слоя с 12,5 до 18 ГПа по сравнению с использованием стандартного электрода ВК-8.

Современные методы создания защитных покрытий основаны на воздействии концентрированных потоков энергии, к которым относится и лазерное излучение. В качестве источника лазерного излучения применяли лазер ХЭБР-1 российско-болгарского производства, входящий в состав автоматизированного технологического лазерного комплекса ТЛК-1.

Для достижения высокой адгезии продуктов восстановления минерального сырья вольфрама и бора все составы смешивали с металлическими порошковыми связующими, выбор которых осуществляли исходя из условия их взаимной растворимости. Так, для шеелитового концентрата был выбран порошковый кобальт по аналогии порошку ВК-8. К смеси $\text{W}_4\text{C} + \text{SiC} + \text{CaB}_6$ добавляли порошок никеля (20 мас. %). Полученные из минерального сырья композиционные материалы наносили методом шликерной намазки на инструментальные стали Х12Ф1. В качестве клеящей основы использовали цапон-лак, дающий наилучшие результаты. В наших условиях микротвердость материала подложки составляла 5,6 ГПа (сталь Х12Ф1).

Наибольшее поверхностное упрочнение достигалось при лазерной наплавке композиционным материалом, полученным из шеелитового концентрата. В зоне оплавления в этом случае наблюдалась удовлетворительная однородность по составу и структуре. Наибольшая микротвердость, достигнутая в процессе лазерной наплавки, превышала микротвердость основы в 1,5 раза.

Данные полуколичественного элементноизотопного анализа показывают содержание элементов в реактивном карбиде вольфрама с добавкой кобальта; в стали Х12Ф1, использованной в качестве основы; в покрытии, полученном из шеелитового концентрата с кобальтовой связкой на стали Х12Ф1 (таблица 9).

Таблица 9 – Результаты полуколичественного элементноизотопного анализа

Объект	Концентрация масс (%)									
	Fe	W	Co	Mn	Cr	V	Si	Mg	O	C
WC + Co	<0,1	50	8	<0,1	-	-	<0,1	<0,1	0	10
X12Ф1	85	-	-	0,3	12	0,8	0,3	-	-	0,1
Покрытие	43	4,9	2,7	4,5	2,7	2,3	0,1	3,1	1	2

В исследуемой области покрытия, обнаружено большое содержание Cr, Co, Mo, Mg, O. Сравнивая содержание этих элементов в порошке и в покрытии, можно заметить, что доля вольфрама значительно падает, а содержание железа в поверхностных слоях полученных образцов увеличивается. Это доказывает существование активного перемешивания материалов основы и покрытия.

Результаты микрорентгеноспектральных исследований в переходной зоне *покрытие – подложка* позволяют выяснить глубину взаимного проникновения материалов покрытия и подложки. Указанные в таблице 3.4 элементы обнаруживаются вплоть до глубины $x=600$ мкм при средней высоте наплавки 300 мкм. При этом вольфрам проникает в подложку на глубину до 1500 мкм, а кобальт – только до 700 мкм.

С целью определения эксплуатационных свойств полученных покрытий были проведены их испытания на износ. Для этого методом лазерной наплавки их наносили на колодки машины трения МТ-22. Испытания осуществляли в режиме сухого трения с контртелом из закаленной стали 65Г при нагрузке в начале 100 г, а в дальнейшем до 700 г. Общая протяженность испытательного пути превысила 120 км, однако существенного истирания покрытий не выявлено.

3.2 Переработка продуктов ликвационной электроплавки вольфрамовых концентратов

Гидрометаллургическую переработку полученного в результате ликвационной электроплавки вольфрамового сырья, состоящего в основном из вольфрамата натрия, включая примеси, зависящие от вида

продукта, можно осуществлять различными способами. При переработке вольфрамата натрия с целью глубокой очистки от примесей наиболее эффективным направлением является, технология, основанная на сорбционно-экстракционных процессах [15]. Эта технология включает три основных этапа. На первом этапе проводится очистка от примесей Si, F, As и др. Последующий этап заключается в катионообменной экстракции молибдена при pH 2-3 полиакрилфосфонитрильной кислотой. Заключительный этап переработки растворов вольфрамата натрия заключается в экстракции вольфрама с целью глубокой очистки от натрия и других примесей.

Сорбционно-экстракционная технология извлечения вольфрама отличается меньшим количеством циклов по сравнению с существующими многостадийными схемами, что позволяет провести весь цикл в автоматизированном режиме на базе непрерывного процесса. В настоящее время карбид вольфрама получают из трехоксида путем восстановления до металлического вольфрама, затем карбидизируют до WC [16].

Нами разработана технология получения карбида вольфрама непосредственно из вольфрамата натрия, полученного методом ликвационной электроплавки.

Результаты химического анализа полученного вольфрамата натрия показали, что извлечение вольфрама в солевую фазу Na_2WO_4 составляет около 95 %. При ликвационной электроплавке происходит концентрирование всех основных примесей в виде оксидов и силикатов в шлаке. Содержание основных примесей составляет (вес. %): P_2O_5 -1,69, As-0,04, SO_3 -0,02.

Расчет термодинамических параметров процесса (изобарно-изотермический потенциал) при сравнении реакций образования металлического вольфрама из триоксида вольфрама и вольфрамата натрия показал, что термодинамически реакции равновероятны:



Приведенные данные о характере восстановления углеродом, протекающего через образование металлического вольфрама, и близкие

значения изобарно-изотермического потенциала приведенных реакций делают целесообразным выбор режима термообработки в вакууме смеси Na_2WO_4 +сажа.

Учитывая изложенное выше, для получения карбида вольфрама готовилась шихта, содержащая вольфрамат натрия Na_2WO_4 , полученный ликвационной электроплавкой шеелитового концентрата, и сажу, в соотношениях, соответствующих стехиометрическим количествам компонентов реакции, и, кроме того, 10 %-ный количественный избыток и 10 %-ный недостаток по углероду. Процесс проводили в печи с графитовыми нагревателями в вакууме в интервале температур от 800 до 1400°C. Время термообработки варьировали в пределах от 1 до 5 ч.

Кроме того, готовилась шихта для получения ультрадисперсных порошков карбида вольфрама упариванием раствора вольфрамата натрия с сахарозой, с 10 %-ным избытком по углероду. Дальнейший синтез карбида вольфрама проводили по известной методике.

Восстановление водородом смесей Na_2WO_4 +сажа и Na_2WO_4 +сахароза проводили при 1000°C в течение 1,5 ч в графитовых лодочках. Состав, приготовленный упариванием компонентов, восстанавливается в этих условиях до металлического вольфрама.

Восстановление смеси Na_2WO_4 +сажа в этих условиях не происходит. Это, видимо, связано с присутствием в первом составе углерода в более активной форме.

Данные эксперимента показывают, что металлический вольфрам образуется при температуре выше 900°C, а карбидизация проходит при температуре выше 1050°C. Проведение процесса осложняется разложением вольфрамата натрия на оксид и триоксид вольфрама при 1275°C, что приводит к почти полной возгонке продуктов разложения. Поэтому получение монокарбида вольфрама необходимо проводить последовательно, в два этапа подъема температуры.

Первые 3 ч шихта выдерживается при 1050°C до образования металлического вольфрама, затем последующие 2 ч при 1400°C, что позволяет получить монокарбид вольфрама с хорошим выходом (97 %).

Проведенный режим термообработки позволяет исключить присутствие в конечных продуктах оксида натрия, возгонка которого осуществляется на втором этапе нагрева.

Исследование шихты различного состава по содержанию углерода приводит к выводу о необходимости 10–15 %-ного избытка углерода в исходной смеси, что обеспечивает наиболее полную карбидизацию вольфрама. Выбранное оптимальное соотношение компонентов вольфрамата натрия и сажи равно 1:0,3.

Проведены предварительные опыты по использованию шлаков электроплавки для получения тарного стекла, вязущих материалов.

В процессе варки стекла при температуре 1400°C и составе шихты 1000 весовых частей тонкоизмельченного шлака, 40 весовых частей известняка, 1,4–1,5 весовых частей оксида хрома Cr_2O_3 с последующей кристаллизацией по двухступенчатому режиму (870°C, выдержка 1,0 ч; 700°C, выдержка 1,5 ч) получается стекло, близкое по своему составу к бутылочному (%): SiO_2 -45,96; Al_2O_3 -9,23; Fe_2O_3 -5,34; FeO -6,40; P_2O_5 -0,01; MnO -0,12; TiO_2 -0,57; CaO -5,53; MgO -1,43; WO_3 -0,50; K_2O -0,95; Na_2O -14,86; прочие – 7,10. Показатель преломления полученного стекла – 1,52 (для промышленных стекол показатель преломления варьирует в пределах 1,46–1,96).

Химическая устойчивость стекла определялась при кипячении отожженных пластинок в дистиллированной воде в растворах H_2SO_4 (таблица 10).

Таблица 10 – Сравнительная химическая устойчивость синтезированного стекла

Тип стекла	Потери в массе (мг/100 см ²)			
	Дистиллированная вода	2Н раствор	1Н раствор	0,1Н раствор
Синтезированное из шлака	2,0	108,0	12,2	1,18
Химическое	1,7-2,0	70-80	1,0	-

Как видно из таблицы 3.5, синтезированное стекло малоустойчиво по отношению к 1 Н раствору H_2SO_4 , так как содержит большое количество Fe_2O_3 , которое выщелачивается при кипячении. Однако такое стекло может быть использовано для производства тарной посуды.

Шлак электроплавки может быть использован также для получения известково-шлакового цемента марок «100» и «150» на основе как кальцевой, так и датолитовой извести.

При испытании применялся гранулированный шлак, молотый до удельной поверхности $40000 \text{ см}^2/\text{г}$. Тонкость помола негашенной извести на сите 0,075–5–7 %. Оптимальное количество извести, вводимое в состав цемента, зависит от условий его затвердевания.

При твердении во влажных условиях содержание активных $\text{CaO}+\text{MgO}$ составляет 10–15 % как для кальцевой, так и для датолитовой извести, а в воздушно-сухих условиях количество извести должно быть увеличено до 20–25 % для кальцевой и до 15–20 % для датолитовой.

Известково-шлаковые цементы, испытанные в пластичном растворе 1:3, выдерживают 15–30 циклов попеременного замораживания и оттаивания с незначительной потерей при сжатии.

В гидротермальных условиях интенсивность твердения значительно возрастает. После пропаривания при 90–95°C в течение 8 ч прочность при сжатии составляет $150\text{--}200 \text{ кг/см}^2$. При твердении в автоклавах (8 атм.) прочность при сжатии составляет $250\text{--}300 \text{ кг/см}^2$.

Таким образом, в результате проведенных опытов выявлена принципиальная возможность получения строительных материалов (стекла, цемента) из шлаков электроплавки, что позволяет сделать вывод о комплексном использовании исходного сырья.

3.3 Принципы создания перспективных материалов на основе карбида вольфрама

В соответствии с условиями эксплуатации требования к химическому и фазовому составу карбидов вольфрама и сплавов на его основе могут быть следующими.

1. Карбид вольфрама должен быть химически чистым и иметь наименьшее количество примесей.

2. Карбид вольфрама и сплавы на его основе должны иметь в своем составе определенное количество оксидов, нитридов, боридов, карбидов (CaO , ZrO_2 , SiO_2 ...) в соответствии с требованиями, предъявляемыми к фазовому и химическому составу материала. Однако в некоторых случаях в карбиде вольфрама допускается по условиям эксплуатации определенное количество этих соединений.

В первом случае требование получения химически чистого WC и сплавов на его основе необходимо для ответственных деталей машин, инструмента и связано со сложным и дорогостоящим пирометаллургическим производством.

Во втором случае возможно получение WC и сплавов на его основе по приведенной технологической схеме с добавлением в шихту перед смешиванием соответствующих карбидов, оксидов, нитридов, боридов. Однако в этих случаях возможно получение WC и непосредственно из вольфрамовых концентратов (содержащих WO_3 , SiO_2 , CaO , MnO , Fe_2O_3 , Mo) на горнообогатительных комбинатах (ГОКах) при значительном сокращении материальных затрат и улучшении экологической обстановки.

При этом возможно два направления по созданию материалов на основе WC :

1. Машинный поиск аналоговых сочетаний с использованием банка данных известных материалов на основе WC , а также банка данных по химическому, фазовому составу вольфрамсодержащих концентратов. Этот

поиск позволит подобрать для определенного класса материалов соответствующие составы концентратов и пути их дальнейшей переработки. Это направление даст возможность использовать для создания заданных материалов либо стандартные порошки WC, WC-Co, WC-Co-TiC, либо вольфрамсодержащие концентраты. Возможно также совместное использование стандартных порошков и концентратов (рисунок 8).

2. Производство карбида вольфрама и сплавов на его основе непосредственно при использовании концентратов на ГОКах в вольфрамодобывающих регионах.

Ранее создание вольфрамсодержащих материалов основывалось прежде всего на получении химически чистого WC и добавках строго определенного состава пластифицирующего металла (обычно Co или Ni или карбиды TiC, TaC и др.). Это оправдано в том случае, если по условиям эксплуатации материала требуется равнопрочность поверхности и его основы.

Однако по причине требования к поверхности вольфрамсодержащих материалов более жесткие, особенно при эксплуатации режущего инструмента, штамповой оснастки. В процессе эксплуатации инструмента состав, структура поверхности изменяются, то есть происходит образование так называемых вторичных структур.

При трении в процессе образования вторичных структур на рабочих поверхностях деталей на поверхности наблюдаются изменения фазового, химического состава за счет взаимодействия материалов трущихся пар и окружающей среды, а также изменения структуры приповерхностного слоя.

Образование вторичных структур наблюдается на рабочих поверхностях вольфрамсодержащих твердых сплавов, используемых в качестве инструментальных, электродных материалов. В этом случае на

поверхности твердых сплавов образуются W_2C , Fe_2O_3 , W_5Fe_7 , WC и др.

В связи с этим нами предложен принцип создания перспективных материалов с учетом образования на их поверхности вторичных структур. Он заключается в том, что состав, структура создаваемого перспективного материала должны соответствовать химическому составу вторичной структуры.

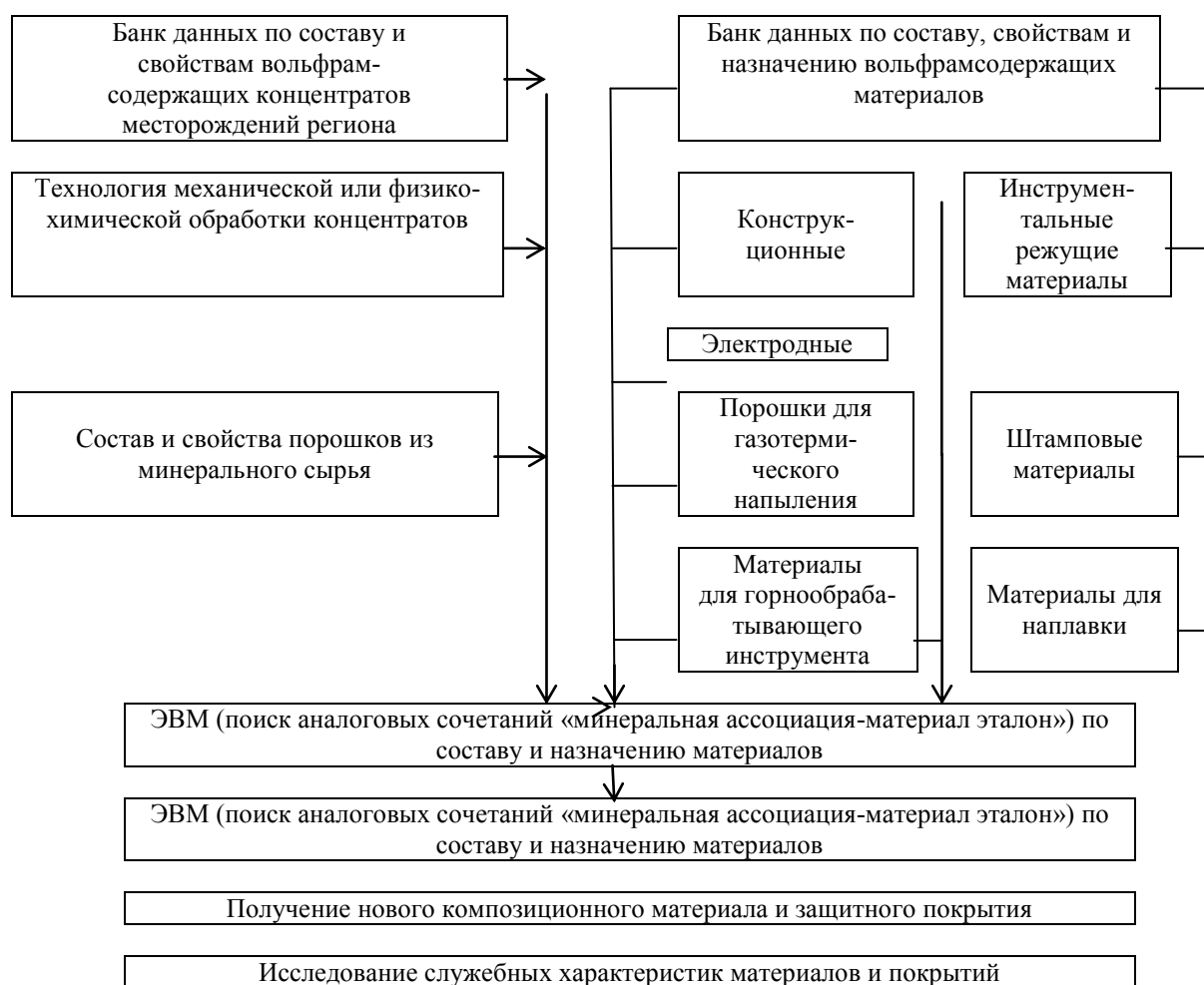


Рисунок 8 – Принципиальная схема получения композиционных материалов из вольфрамсодержащих концентратов

Список использованных источников

- 1 Путин В. В. Минерально-сырьевые ресурсы в стратегии развития российской экономики / В. В. Путин // Записки горного института. 1999. Т. 144 (1). С. 3–9.
- 2 Никифоров К. А. Наука. Технология : проблемы современного общества / К. А. Никифоров. Улан Удэ : БНЦ СО РАН, 1995. 83 с.
- 3 Чантурия В. А. Состояние и перспективы обогащения руд России / В. А. Чантурия // Цветные металлы. 2002. № 2. С. 15–21.
- 4 Харлампиди Х. Э. Проблема сырья в обстановке истощения природных ресурсов / Х. Э. Харлампиди // Соросовский образовательный журнал. 1999. № 1. С. 41–46.
- 5 Бутуханов В. Л. Физико-химические основы комплексного и рационального сырья вольфрама / В. Л. Бутуханов, Е. В. Хромцова. Хабаровск : ТОГУ, 2015. 147 с.
- 6 Верхотуров А. Д. Начало материаловедения / А. Д. Верхотуров, А. М. Шпилев. Комсомольск-на-Амуре : изд-во Комсомольск-на-Амуре гос. техн. ун-та, 2008. 437 с.
- 7 Бутуханов В. Л. Основы технологии производства потребительских товаров : учеб. пособие для студентов специальности 060800 «Экономика и управление на предприятиях (торговли)» очной и заочной форм обучения / В. Л. Бутуханов. Хабаровск : РИЦ ХГАЭП, 2005. 182 с.

8 Трефилов В. И. Горное дело и порошковая металлургия / В. И. Трефилов, Е. И. Богданов, А. Д. Верхотуров, И. А. Подчерняева // Горный журнал. 1988. № 2. С. 12–14.

9 Верхотуров А. Д. Использование природного минерального сырья в качестве наплавочных флюсов / А. Д. Верхотуров, Ю. Ф. Гладких, Н. С. Ткачук // Сварочное производство. 1998. № 8. С. 21–22.

10 Бутуханов В. Л., Хромцова Е. В. Способ получения карбида вольфрама. Патент РФ № 217995 27.02.2002.

11 Дергунова В. С. Взаимодействие углерода с тугоплавкими металлами / В. С. Дергунова, Ю. В. Левинский, А. Н. Шуракова [и др.]. М. : Металлургия, 1974. 288 с.

12 Соболев В. С. Введение в технологию силикатов / В. С. Соболев. Львов : Изд-во Львовск. гос. ун-та, 1949. 331 с.

13 Стромберг А. Г. Физическая химия / А. Г. Стромберг, Д. П. Семченко. М. : Высш. шк., 1973. 479 с.

14 Ткаченко Е. В. Диффузионная подвижность в реакциях твёрдофазного синтеза сложных оксидов со структурой шеелита / Е. В. Ткаченко // Изв. АН СССР. Неорган. матер. 1981. Т. 17. № 6. С. 1080–1084.

15 Гнесин Г. Г. Карбидокремниевые материалы / Г. Г. Гнесин. М. : Металлургия, 1977. 215 с.

16 Дельмон Б. Кинетика гетерогенных реакций / Б. Дельмон. М. : Мир, 1972. 554 с.

Приложение

Расчёт основных технико-экономических показателей технологии
прямого восстановления и карбидизации вольфрамсодержащего сырья

Наименование показателей	Ед. измер.	Количество
1. Количество перерабатываемого концентрата в год	т	10 000
2. Содержание WO_3 в перерабатываемом продукте	%	60
3. Количество WO_3 в перерабатываемом продукте	т	6 000
4. Извлечение WO_3 в конечный продукт	%	90
5. Выпуск товарной продукции а) карбид вольфрама	т	4 680
6. Оптовая цена за 1т готовой продукции а) за 1т карбида вольфрама	руб.	66 000

Расчёт численности производственных рабочих и цехового персонала

Наименование профессии	Норматив численности в смену на ед. оборудования	Число смен в сутки	Потребное количество оборудования, (шт.)	Число рабочих (чел.)
1	2	3	4	5
I. Пирометаллургическое отделение сульфидирующего обжига				
1. Оператор обжига	0,5	3	1	3
2. Аппаратчик на обжиговых печах	-	3	1	3
3. Машинист сушильных барабанов	0,082	3	1	4
Итого по участку				10
1. Оператор смесителей	0,18	3	1	4
2. Машинист брикетировочного пресса	0,36	3	1	4
Итого по участку				8
II. Отделение карбидизирующего обжига				
Участок подготовки шихты				
1. Оператор смесителей	0,18	1	1	2
2. Машинист брикетировочного пресса	0,36	1	1	2
Итого по участку				4
Прокладочный участок				
1. Прокальщик на вакуумных печах	-	1	1	3
Итого по отделению				7
Итого по цеху				35
Прочие неучтённые рабочие (5%)				2
Всего рабочих				37
Цеховой персонал				
Начальник цеха				1
Старший механик				1
Старший электрик				1
Мастер производства				4
МОП				2
Итого				9

**Расчёт потребности в капитальных вложениях в основное производство
по технологии восстановления и карбидизации
вольфрамсодержащего сырья**

Наименование показателей	Стоимость единицы (руб., %)	Необходимое количество оборудования (шт.)	Сумма (руб.)
1	2	3	4
I. Пирометаллургическое отделение			
Участок сульфидирующего обжига			
1. Основное технологическое оборудование. Трубчатая муфельная печь	22`166	1	22 170
2. Удельный вес основного оборудования в общей стоимости оборудования	60,7		
3. Общая стоимость оборудования			36 520
4. Стоимость монтажных работ (в % от стоимости оборудования)	18,8		6 860
5. Стоимость строительных работ (в % от стоимости оборудования)	137,0		50 030
Итого по участку			93 410
Участок подготовки шихты			
1. Основное технологическое оборудование:			
Смеситель (18 м ³ /ч)	1`390	1	1 390
Брикетировочный пресс УСБ-3 (3 т/ч)	8`700	1	8 700
Барабанная сушилка 1,6×8	6`750	1	6 750
Итого			16 840
2. Удельный вес стоимости основного оборудования от общей стоимости оборудования	60,5		
3. Общая стоимость оборудования			27 830
4. Стоимость монтажных работ (в % от стоимости оборудования)	18,8		5 230
5. Стоимость строительных работ (в % от стоимости оборудования)	137,0		38 130
Итого по участку			71 190
II. Отделение карбидизирующего обжига			
1. Основное технологическое оборудование:			
Вакуумнокомпрессионная печь с графитовым нагревателем СКБ-5004 на 260 кВт		4	
Удельные капитальные вложения на 1 кВт установленной мощности	30		31 200
2. Удельный вес стоимости основного оборудования от общей стоимости оборудования	60,6		
3. Общая стоимость оборудования			51 200
4. Стоимость прочих основных средств, кроме здания	27,0		5 230
5. Стоимость здания (в % от стоимости оборудования и прочих основных средств)	50		32 510
Итого по участку			128 730
Итого по отделению			128 730
Итого по цеху			434 800
Капитальные вложения в объекты основного производственного назначения, в т.ч.:			128 730
здание			167 830
оборудование			189 810

**Расчёт эксплуатационных затрат на переработку
вольфрамсодержащего сырья Лермонтовской горнорудной компании**

Наименование статей затрат	Единицы измерения	Цена за единицу, руб., %	Количество	Сумма (руб.)
1	2	3	4	5
I. Сырьё				
1. Шеелитовый концентрат	т	114	10 000	1 140 000
II. Основные и вспомогательные материалы				
Участок подготовки шихты				
1. Электроды графитовые	т	353	310	165 850
2. Прочие материалы, %		0,25	п.п. 1-2	3 010
Итого				168 860
III. Топливо	ТУТ	11,63	1 334	15 510
IV. Энергозатраты				
1. Электроэнергия	т.к. Вт/ч	6,98	42 845	299 060
2. Пар	Ткал	2,56	7 671	19 640
3. Вода	т×м ³	133,65	213	28 470
Итого				347 170
V. Основная и дополнительная з/плата основных производственных рабочих				
Начисления на з/плату	Чел.	2 280	43	98 040
	%	7,90	-	7 740
Итого				105 780
VI. Расходы по содержанию и эксплуатации оборудования				
1. Амортизация оборудования:	%	13,00	-	15 020
36,52+27,83+51,2=115,55				
2. Содержание и эксплуатация оборудования	%	2,00	-	2 310
3. Текущий ремонт оборудования	%	8,00	-	9 240
4. Прочие расходы	%	2,00	п.п. 1-3	530
Итого				27 100
VII. Цеховые расходы				
1. Содержание цехового персонала				20 140
2. Начисление на з/плату	%	7,90	-	1 590
3. Охрана труда (в % от основной и дополнительной з/платы рабочих и содержание цехового персонала)	%	11,00	-	15 760
4. Амортизация здания и сооружений	%	5,00	-	3 120
5. Содержание и ремонт здания и сооружений	%	3,00	-	1 870
6. Прочие цеховые расходы	%	17,00	п.п. 1-5	7 220
Итого				49 700
Цеховая себестоимость				2 290 810
VIII. Общекомбинатовские и внепроизводственные расходы				
	%	0,70	-	16 040
Полная себестоимость				2 306 850

**Основные технико-экономические показатели технологии
восстановления и карбидизации вольфрамовых концентратов**

Наименование показателей	Единица измерения	Величина
1	2	3
1. Количество перерабатываемого промпродукта в год	т	10 000
2. Содержание WO ₃ в перерабатываемом промпродукте	%	60
3. Количество WO ₃ в перерабатываемом промпродукте	т	6 000
4. Извлечение WO ₃ в товарный продукт WC	%	97
5. Выпуск готовой продукции: WC	т	4 916
6. Капитальные вложения в объекты основного производственного назначения	руб.	357 640
7. Эксплуатационные затраты на переработку вольфрамового концентрата	руб.	2 306 850
8. Выпуск товарной продукции – карбид вольфрама	руб.	324 456 000
9. Прибыль	руб.	322 150 000
10. Приведённые затраты (Ен=0,15)	руб.	2 360 000
11. Срок окупаемости капитальных вложений	лет	1
12. Удельные затраты на 1 руб. товарной продукции:		
– капитальные	руб./руб.	0, 001/0,1
– эксплуатационные	руб./руб.	0,007/0,7
– приведённые	руб./руб.	0,007/0,7

Ориентировочный расчёт экономической эффективности технологии
прямого восстановления и карбидизации шеелитового концентрата в
сравнении с существующей технологией

Наименование показателей	Единицы измерения	По существующей технологии	По предлагаемой технологии
1	2	3	4
1. Производительность по перерабатываемому промпродукту в год	т	10 000	10 000
2. Содержание WO ₃ в перерабатываемом промпродукте	%	60	60
3. Количество WO ₃ в перерабатываемом промпродукте	т	6 000	6 000
4. Извлечение WO ₃ в товарный продукт	%	90,00	96,00
5. Выпуск товарной продукции – концентрат КШ (60% WO ₃)	т	4 998	-
6. Капитальные вложения в переработку промпродукта	руб.	915 300	357 640
7. Эксплуатационные расходы на переработку промпродукта	руб.	1 045 700	2 306 850
8. Выпуск товарной продукции – карбид вольфрама	руб.	-	324 456 000
9. Прибыль	руб.	195 580	322 150 000
10. Приведённые затраты	руб.	1 182 990	-
11. удельные затраты на 1 руб. товарной продукции			
– капитальные	руб./руб.	0,74	0,001
– эксплуатационные	руб./руб.	0,84	0,007
– приведённые	руб./руб.	0,95	0,007
12. Экономический эффект (0,95–0,007) 324 456	руб.		305 962 000

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
Глава 1 Научные основы комплексного и рационального использования минеральных ресурсов.....	5
Глава 2 Сырьё и материалы.....	17
2.1 Сырьевая база России и повышение эффективности её использования.....	17
2.2 Современная классификация.....	32
2.3 Свойства материалов.....	54
2.4 Расчёты технологических характеристик применения отходов, обогащённого золотосодержащего сырья.....	63
Глава 3 Практическое применение результатов научных исследований минерального сырья вольфрама и бора месторождений Дальнего Востока России.....	74
3.1 Свойства и применение композиционных порошковых материалов, полученных из шеелитового и датолитового концентратов.....	74
3.2 Переработка продуктов ликвационной электроплавки вольфрамовых концентратов.....	79
3.3 Принципы создания перспективных материалов на основе карбида вольфрама.....	84
Список использованных источников.....	87
Приложение.....	89

Научное издание

Бутуханов Владимир Лаврентьевич

**ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЭКОНОМИКЕ
КОМПЛЕКСНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ**

Монография

Редактор Е.Ю. Лаврентьева

Подписано к печати 25.05.2017 г. Формат 60х84/16. Бумага писчая.
Печать цифровая. Усл.-печ. л. 5,6. Уч.-изд. л. 4,0. Тираж 700 экз. Заказ № 306.

680042, г. Хабаровск, ул. Тихоокеанская, 134, ХГУЭП, РИЦ