В соответствии с ГОСТ 17359-82 с переизданиями "Порошковая металлургия. Термины и определения" и Международным стандартом ISO 3252:

**Порошковая металлургия – область науки и техники, охватывающая производство металлических порошков, а также изделий из них или их смесей с неметаллическими порошками.**

**Металлический порошок – совокупность частиц металла, сплава или металлоподобного соединения размерами до миллиметра, находящихся во взаимном контакте и не связанных между собой.**

В определение порошковой металлургии не вошла ее главная отличительная черта – на всем протяжении технологической цепочки получения изделия из порошка (**но не самого порошка**), ***а именно это и является основной задачей метода ПМ***, основа не переходит в жидкое состояние. При производстве металлического порошка такой переход вполне возможен, например, при получении порошков диспергированием расплавов.

Один из отечественных корифеев порошковой металлургии, Михаил Юльевич Бальшин, как-то сказал: "Порошковая металлургия так же стара, как египетские пирамиды, и так же современна, как реактивный самолет". В этой фразе, как бы поэтично она не звучала, скрыт глубокий смысл.

Дело в том, что металлические изделия "железного века", сменившие, как известно, изделия "бронзового века" не могли быть получены расплавлением чистого железа или сплава железа с небольшим содержанием углерода, поскольку для этого нужны температуры выше тех, которые тогда могли получать (1000 ÷ 1100 оС). Правда, некоторые серьезные исследователи истории древней металлургии и, в частности истории булата, утверждают, что в древней Индии могли получать температуры, достаточные для расплавления высокоуглеродистых составов. Даже если это так, то все равно такая технология не получила повсеместного распространения.

Проблему обработки железных изделий решил метод получения ковкого железа под названием "кричной метод". Крица – сцепленные кристаллы железа, представляющие собой губчатую массу. Образец такой массы можно видеть в одном из залов Исторического музея в Москве. Сырьем для получения крицы служила обогащенная Fe-руда, восстановителем – древесный уголь.

Схемы примитивных печей для осуществления этого процесса приведены на стр. 7 I части учебника. В таких печах (домницах) при восстановлении руды образовывалось большое количество высокожелезистых шлаков (40 ÷ 50 % оксида железа (II)). Именно этот оксид ошлаковывал пустую породу руды до того, как процесс восстановления доходил до образования чистого железа. Это железо в виде твердых частиц опускалось в нижнюю часть печи, где спекалось в губчатую массу, которая собственно и называлась крицей. Обычно масса крицы составляла от 2 до 6 кг, и чистота ее была достаточно высокой:

Углерод не более 0,2 %

Сера до 0,01 %

Фосфор от 0,01 до 0,3 %

Кремний до 0,2 %

Марганец до 0,2 %

Шлаки не более 1,5 ÷ 2,0 %

Извлечение железа в крицу было невысоким – примерно 50 %. Затем крицу проковывали в горячем состоянии, при этом остаточные шлаки выдавливались на ее поверхность и удалялись. Иногда процедуру повторяли несколько раз для уменьшения пористости, и такое железо получило название "сварочного". В этом прослеживается определенная аналогия с современным способом получения мастерами-оружейниками узорчатого дамаска для клинков, который иногда даже называют "сварным булатом".

Считается, что колыбелью древней металлургии является Ближний Восток (Иран, Ирак, Сирия, Египет, Турция). Оттуда описанный метод через Кавказ распространился на территорию Европы и на Восток – в Индию. Известен исторический памятник – Делийская колонна (415 г. до н.э.). Чистота железа, из которого она изготовлена, весьма велика – 99,72 %.

Более подробно кричная металлургия и история булатов и дамасков описана в книге Юрия Григорьевича Гуревича "Тайна крылатого коня". Большое место в ней уделено личности Павла Петровича Аносова, что может быть достаточно интересно для студентов, обучающихся в МИСиС.

Когда речь заходит о научных основах порошковой металлургии, то нельзя не упомянуть нашего гениального соотечественника Михаила Васильевича Ломоносова. Его работы в этой области датируются 1752 – 1763 годами. Им изучались механизмы разрушения твердых тел и диспергирования расплавов на примере порошка свинца.

В книге "Первые основания металлургии и горных дел", напечатанной при Императорской Академии наук в 1763 году М.В.Ломоносов описывает процесс получения порошка свинца следующим образом: "*Свинец дробят таким образом: растопи сего металла в легком жару в большой железной ложке или уполовнике фунт или два, отлей немного на лоток, мелом отбеленный, и тряси от низа кверху часто, но чтоб свинец из лотка не выскакивал. Через такое трясение разбивается он в мелкие дробинки; и сим способом весь металл расплавленный раздробив, надлежит сквозь жестяное решето просеять и для употребления к месту положить*". (Ч I, стр. 8)

Если судить по одному из экспонатов дома-музея Ломоносова в Санкт-Петербурге, то вполне вероятно, что великий русский ученый муж занимался прессованием металлических порошков. Этот экспонат – малогабаритный гидравлический пресс, по габаритам очень напоминающий современный ПГПР (с максимальным усилием 4 т).

М.В. Ломоносов ввел понятие процесса спекания, как "*…способа перевода порошкообразного тела, которому при желании придана известная форма, затем медленно высушенного силой огня, в каменистое вещество*".

Вполне вероятно, что определение это было сформулировано для соответствующей операции технологической цепочки производства керамики (известного ломоносовского фарфора), но с определенными допущениями его можно применить и к металлическим порошкам.

История отечественной порошковой металлургии неотъемлемо связана с именем Петра Григорьевича Соболевского (1782 – 1841 г.) (*слайд "Петр Григорьевич Соболевский"*).

Он получил образование в Петербургском сухопутном кадетском корпусе (окончил в 1798 году). В 1804 году оставил военную службу и занялся переводами в Коммерц-коллегии (современный аналог – Торговая палата). С 1815 по 1825 год Соболевский работал на Урале и оставил очень значительный след в виде "термолампа" (1811 г.) – прибора для газового освещения, нашедшего применение в Санкт-Петербурге и на Урале, способа пудлингования чугуна, различных химических технологий, конструкций машин и судов. В 1817 году по Волге и Каме начали ходить пароходы, построенные по его проекту или по проекту с его участием. Кстати, П.Г. Соболевский был не единственным известным человеком, сменившим военную карьеру на карьеру металлурга и организатора отечественного производства. Таким же путем прошли упоминавшийся ранее П.П. Аносов и А.Ф. Дерябин, с именем которого связано начало производства оружия в Ижевске и соответствующее интенсивное развитие в этом городе металлургических технологий.

Вряд ли все упомянутые изобретения принесли бы такую славу П.Г. Соболевскому, какую принесло ему оформление целостной и стройной технологии метода обработки порошка платины, а фактически и других металлических порошков.

Проблемой платины П.Г. Соболевский начал заниматься в 1825 году, причем отнюдь не первым в мире. К этому времени уже несколько десятилетий над этим бились ученые разных стран.

На Урале залежи платины были открыты в 1819 году в виде спутника золота, а затем в 1825 году – в виде чистой платиновой россыпи.

Для разработки технологии платиновых изделий Соболевский создал Соединенную лабораторию Департамента горных и соляных дел Горного кадетского корпуса (в конце концов, превратившегося в Горный институт им Плеханова) и Главной горной аптеки. Помощником Соболевского был Василий Васильевич Любарский (1795 – 1852 г.г.) – известный российский исследователь платины и мастер В. Сысоев.

Химическая часть метода заключалась в том, что самородную платину (65 ÷ 90 % Pt) с примесями Os, Pd, Fe, Pb, Cu и других металлов растворяли в "царской водке" (75 % HCl + 25 % HNO3) и из этого раствора хлоридом аммония осаждали (NH3)[PtCl6]. Осадок промывали и прокаливали на воздухе при 800  1000 оС, в результате чего получали порошок платины. Далее порошок прессовали "в холодную" и обрабатывали давлением "в горячую".

24 мая 1826 года этим способом были получены первые промышленные изделия из платины, и за год обработано около 20 кг. С 1828 года была налажена чеканка монет достоинством 3, 6 и 12 рублей (на серебро) (*слайд "Платиновые монеты достоинством 3, 6 и 12 рублей"*).

21 марта 1827 года П.Г. Соболевский сделал доклад на собрании Ученого Комитета по горной и соляной части. Он продемонстрировал медали, жетоны, тигли, брусок массой 2,4 кг. Текст доклада "Об очищении и обработке сырой платины" был опубликован в "Горном журнале".

"*Способ сей заключается в следующем: очищенную платину в губчатом виде набиваем мы холодную весьма плотно в толстую, железную кольцеобразную форму произвольной величины, сдавливаем ее сильным натиском винтового пресса и, вынув из формы, получаем плотный кружок, имеющий металлический блеск. В сем состоянии платиновый кружок не имеет ковкости, а сила сцепления частиц между собой не противостоит в нем сильным ударам; оный ломается и крошится. Для обращения таких кружков в ковкую платину надлежит только нагреть их до белого раскаления и при сей степени жара подвергнуть давлению того же пресса. От одного удара кружок платины вовсе изменяет вид свой; зернистое сложение его становится плотным и оный делается совершенно ковким. После такого обжатия кружки проковываются в полоски или прутки желаемого вида обыкновенным способом*" (Ч I, стр. 8  9) (*слайд "Цитата из доклада 21 марта 1827 года"*). Следует оговориться, что под "платиной в губчатом виде" П.Г.Соболевский подразумевал платину в виде рыхлого, подобного губке вещества, состоящего из мельчайших частиц серого цвета. Сейчас это назвали бы агломератами частиц или просто порошком.

Как это часто бывает, приоритет Соболевского в создании (или окончательном оформлении) метода ПМ оспаривался. Англичане считали, и сейчас считают, что первенство применения метода порошковой металлургии принадлежит ученому Волластану, который получал изделия из платиновой губки еще в 1804 году, правда, горячим прессованием, что может считаться укороченной технологической цепочкой. При рассмотрении вопроса первенства также нужно учитывать, сообщение Волластана о его методе было сделано только в 1828 году, т.е. через год после Соболевского.

В 1830 году П.Г. Соболевский был избран член-корреспондентом Петербургской Академии наук. После его смерти в 1841 году чеканка платиновых монет постепенно сокращалась и в 1845 году царским указом они были изъяты из обращения, хотя еще долгое время пользовались изрядным спросом у народа, так как при довольно частых пожарах в городах и деревнях почти не теряли своей формы, цвета и т.д. (Тпл платины – 1773 оС).

Попутно стала сокращаться добыча платины, появились печи с кислородным дутьем, развивающие температуру более 1800 оС, и де-факто промышленное применение метода порошковой металлургии практически сошло на нет. Такая ситуация продолжалась примерно до конца XIX века.

Было бы неправильным считать, что работы в области порошковой металлургии совсем не велись. В 60-х годах XIX века Н.Н. Бекетов вел работы по металлотермии, оказавшие большое влияние на развитие ПМ.

Порошки эпизодически применялись в различных областях: порошок свинца – в аккумуляторах, порошок железа – в химии, в первом радиоаппарате Попова, порошок меди – в медно-графитовых электротехнических изделиях (г. Кинешма, 1880 – 1882 г.г.). Возрождение интереса к ПМ приходится на начало XX века, в первую очередь в связи с потребностями электротехники. Для ламп накаливания требовались тугоплавкие материалы, для электродвигателей и генераторов – щетки из композиции Cu-C.

В 1900 году Ладыгин продемонстрировал в Париже на Всемирной выставке лампочку накаливания с нитью из вольфрама, изготовленную методом порошковой металлургии.

После этого порошковые материалы стали производиться по всему миру:

1922 г. – самосмазывающиеся подшипники

1923 – 1925 г.г. – твердые сплавы системы WC-Co (патент Шретера, Германия)

1937 г. – магнитные и электроконтактные, конструкционные материалы.

В годы II Мировой войны из порошка железа в фашистской Германии изготавливались так называемые суррогатированные ведущие пояски снарядов (пористые), поскольку медь и ее сплавы находили иное применение, а из порошков карбидов вольфрама и их смесей, в которые добавлялась металлическая связка – сердечники для бронебойных пуль и снарядов.

В нашей стране в 1921 году было создано Бюро по редким элементам (Бюрэл), большинство из которых получались в виде порошка. В 1923 году был получен первый советский порошок вольфрама и организовано производство нитей накаливания для электроламп. В 1925 году был получен порошок молибдена.

К 1928 – 29 г.г. в СССР было налажено производство отечественных твердых сплавов. Один из первых таких сплавов получил собственное название "победит", ставшее на долгое время синонимом твердых сплавов вообще.

В 1932 году на Ленинградском механическом заводе получен порошок железа. В 1937 году организовано производство железных порошков в Подольске и Кольчугино, в 1942 году – на "Сибсельмаше".

В 1932 году разработаны бронзо-графитовые, а в 1934 году – железо-графитовые подшипники, способные работать без принудительной смазки.

На конец 30-х годов прошлого столетия приходятся многочисленные работы по теории прессования металлических порошков, выполненные М.Ю. Бальшиным.

Великая Отечественная война оказала значительное влияние на развитие порошковой металлургии в нашей стране. К середине 1943 года, в связи с проявлением у Вермахта тяжелых танков T-VI "Тигр" и T-V "Пантера", САУ "Фердинанд", а также в связи с усилением бронирования средних T-IV и САУ на базе Т-III и T-IV проблема снарядов повышенной бронепробиваемости для Красной Армии встала весьма серьезно. Строго говоря, работы по боеприпасам с сердечниками из тяжелых материалов начались еще до войны, и в 1942 году на вооружение были приняты два подкалиберных снаряда – 45 и 76 мм (немалую роль в этом сыграли захваченные в начале войны немецкие снаряды (*слайд "Немецкий подкалиберный снаряд для 75/55-мм пушки Pak 41"*)), но наиболее массовое их производство началось именно в 1943 году, достигнув больших объемов к началу Курской битвы. К двум упомянутым снарядам был добавлен еще один калибра 85 мм (*слайд "Советские подкалиберные снаряды (1941 – 1943 г.)"*). Производством сердечников занимались Московский комбинат твердых сплавов, завод №4 (г. Кировград) и завод №521, развернутый на базе Уральского хромпикового завода, переданного из Наркомата легкой промышленности в Наркомат цветной металлургии. Примечательно, что и Кировградский завод разворачивался в 1941 году на базе только что отстроенного (и не занятого) здания городской автобазы и городской бани с использованием оборудования частично эвакуированного Московского комбината.

Сразу после окончания войны в мире наблюдался резкий всплеск работ, посвященных в первую очередь теории процессов порошковой металлургии. Помимо уже упоминавшегося М.Ю.Бальшина следует отметить Якова Ильича Френкеля и Бориса Яковлевича Пинеса, внесших огромный вклад в развитие науки о спекании порошков. За рубежом фундаментальные работы в этой области были выполнены Жоржем Кучинским, МакКензи, Шаттлворсом и другими.

После Второй мировой войны развитие порошковой металлургии "в практическом направлении" шло весьма интенсивно и в СССР, и за рубежом. В нашей стране открывались новые цеха и участки ПМ, создавались новые НИИ и НПО, в сферу интересов которых входили порошковые материалы. Конечно, во многом этот прогресс был обусловлен гонкой вооружений и соответствующим развитием оборонных отраслей.

В СССР за 1965 – 1970 г. объем выпуска порошковых материалов общемашиностроительного и электротехнического назначения удвоился; за 1967 – 1977 г. производство железного порошка возросло в 2,7 раза, а изделий из него – в 7 раз.

Все это было обусловлено присущими методу порошковой металлургии**преимуществами**, которые заключаются в следующем:

1. Возможность создания материалов и изделий с уникальными свойствами, недостижимыми другими методами обработки материалов. Примером могут служить электрические контакты системы W-Cu и металлические фильтры. Именно это обстоятельство предопределило большой интерес к ПМ со стороны оборонных отраслей в нашей стране и за рубежом (тугоплавкие, жаропрочные, жаростойкие материалы, композиты для "особых" условий работы).
2. Возможность создавать изделия и материалы с меньшими затратами по сравнению с другими методами обработки материалов (при сопоставимых комплексах свойств или даже с более высокими свойствами). Благодаря этому обстоятельству и был обеспечен упомянутый ранее рост объемов производства порошковых материалов. Второе преимущество ПМ обусловлено целым рядом факторов:

* За счет сокращения потерь металла в отходы коэффициент его использования (КИМ) может быть приближен к 100 %. **(Если раньше при упоминании приближения к 100 % делалась оговорка, что это возможно для деталей не очень сложной формы, то сейчас можно обойтись без этой оговорки благодаря методу инжекционного формования.)**
* Экономическую выгоду можно получить за счет повышения производительности технологической цепочки от исходного сырья до конечного изделия.
* Метод ПМ позволяет снизить энергозатраты на производство единицы продукции.
* Метод ПМ позволяет высвободить довольно большой парк металообрабатывающих станков и обслуживающих их персонал.
* Порошковая металлургия позволяет вовлекать, и вовлекать весьма успешно, в производство вторичное (техногенное) сырье и отходы, способствуя улучшению экологической ситуации на крупных металлургических комбинатах и даже в целых регионах. При этом источник отходов (сырья) и его переработка могут быть разделены пространственно. В принципе сама технология ПМ не предусматривает существенного загрязнения окружающей среды при грамотной организации процесса.
* Большая доля технологических операций порошковой металлургии позволяет использовать основной и вспомогательный персонал с невысокой квалификацией.

Второе преимущество также было оценено и в тех отраслях промышленности, которые в первую очередь ориентировались исключительно на первое преимущество. Так, в своих воспоминаниях Михаил Тимофеевич Калашников упоминал об экономической выгоде при изготовлении некоторых деталей его систем из металлических порошков.

1. Третье преимущество порошковой металлургии заключается в том, что сам по себе порошок (порошкообразное состояние твердого вещества) представляет большой интерес с той точки зрения, что из него можно изготавливать части изделий, а не изделия целиком. То есть речь идет о функциональных покрытиях, которые формируются различными способами на поверхностях деталей, изготавливаемых традиционными методами. Это коррозионно-, износо-, жаростойкие покрытия, наносимые термическими методами.
2. На порошкообразных компонентах, в том числе и металлических, базируются твердотопливные двигатели для самых разных областей применения: от малогабаритных ракет для ПТРК и ЗРК/ПЗРК до межконтинентальных баллистических ракет наземного и морского базирования. С горением твердых топлив с порошкообразными компонентами тесно связан самораспространяющийся высокотемпературный синтез (СВС) различных соединений – синтез материалов в режиме горения. Огромную роль в развитии СВС сыграл академик Александр Григорьевич Мержанов (1931 – 2013 г.г.)
3. Без порошкообразного состояния вещества невозможны многие аддитивные технологии (3D-технологии): селективное плавление и селективное спекание, в которых нагрев осуществляется лазером (селективное лазерное плавление – SLM и селективное лазерное спекание – SLS), плазмой или электронным пучком. Фактически, отличие этих двух технологий сводится к тому, что в одном случае материал в зоне теплового воздействия переходит в жидкое состояние, а в другом – нет. С формальной точки зрения к аддитивным технологиям можно отнести и упомянутое выше нанесение функциональных порошковых покрытий. Весьма перспективным считается сочетание аддитивной технологии и традиционной механической обработки в комбинированной установке, представляющей собой 5-координатный станок с числовым программным управлением, оснащенный модулем для лазерной наплавки (т.е. нанесении своего рода покрытий). Такой комплекс позволяет не только изготавливать новые изделия, но и ремонтировать старые. Первые гибридные установки появились не так давно – в 2014 году. Их разработал концерн DMG Mori, потом к выпуску таких комплексов подключились Okuma и Mazak (*слайд "Гибридный станок"*). Правда гибридные установки вряд ли можно считать панацеей от всех бед. К сожалению, в современном их исполнении при работе один из двух модулей будет неизбежно простаивать – если осуществляется механическая обработка, то нанесение слоев металлического порошка невозможно и наоборот.
4. Существуют и другие области применения металлических и керамических порошков. Крайне экзотическим, но при этом очень интересным, является использование порошка вольфрама в генетике. Выстреливаемые из пневматического пистолета (в специальной оболочке, разрушающейся у дульного среза) и несущие на себе необходимый биологический материал, частицы как бронебойные снаряды пробивают оболочку клетки, не повреждая основной ее объем.

Современные тенденции в развитии порошковой металлургии весьма многообразны. Среди них в первую очередь хочется отметить получение методами ПМ композиционных и керамических материалов (последние могут быть композитами с керамической матрицей). Невзирая на формальные ограничения, налагаемые на исходные порошки определением из ГОСТ 17359-82, де-факто в сферу ПМ прочно вошли оксидные материалы на базе Al2O3, ZrO2, сложные композиции, используемые для изготовления биосовместимых имплантантов (причем это уже перестало быть экзотикой).

В первой половине 80-х годов прошлого века мир облетела сенсационная весть о создании в Японии керамического двигателя внутреннего сгорания. Как вскоре выяснилось, из керамики были сделаны блок цилиндров и его головка. Имея в виду гораздо более высокую термостойкость керамики, предполагали, что такой двигатель сможет работать без жидкостного охлаждения. В серию эти двигатели не пошли, но история "автокерамики" на этом не закончилась.

Более практичные американцы, а именно компания "Дженерал Моторс", решили наладить серийный выпуск не целых двигателей, а сначала только выпускных клапанов, работающих в весьма жестких условиях, причем материалы и соответствующие технологии были доведены до уровня готовности к серийному производству. Вот тут технические специалисты ЦРУ поняли, что перед ними идеальный материал для изготовления оружия, которое, не имея ни одной металлической детали, не будет опознаваться переносными и стационарными металлодетекторами. Из всех разработок в открытую печать попала информация только об изделии, получившем название "Glass Gun" и представляющим собой автоматический пистолет, который ведет огонь преимущественно очередями (*слайд "Автоматический пистолет Glass Gun"*).

Точный состав керамического материала, который был использован в "Glass Gun", видимо еще долго будет засекречен. Однако, как это часто бывает с техникой специального назначения, можно определить **примерный** круг систем, из которых **можно было бы** это изделие изготовить, тем более что "автомобильная родословная" известна.

С гораздо большей достоверностью можно говорить о технологии изготовления "пистолета-невидимки". Наиболее целесообразно иметь исходный керамический материал в порошкообразном состоянии и превращать его в консолидированное тело горячим прессованием или инжекционным формованием с последующим спеканием. Второй вариант, по-видимому, более предпочтительный, поскольку существенно уменьшает объем последующей механической обработки алмазосодержащим инструментом.

Говоря о преимуществах порошковой металлургии, нельзя не упомянуть и о ее **недостатках**.

1. Металлические порошки дороги по сравнению с компактными металлами и сплавами аналогичного состава. Исключение составляют тугоплавкие металлы и металлоподобные соединения, которые изначально получаются в виде порошка. Их перевод в беспористое состояние потребует значительных затрат и, соответственно, увеличит стоимость материала.
2. Пресс-оснастка для наиболее распространенных методов формования дорогая (*слайд "Экономическая эффективность метода ПМ"*).

Себестоимость

Объем производства

***Порошковая металлургия***

***Традиционные технологии***

Для изделий простой формы граница объема производства соответствует примерно 100  300 тысячам штук, для изделий сложной формы – примерно 5 тысячам штук.

1. Большинство методов формования металлических порошков не позволяют получать изделия сложной геометрии. До недавнего времени этот недостаток формулировался более безаппеляционно: "...методы ПМ не позволяют получать ... ". Появившийся уже достаточно давно метод инжекционного формования металлических порошков **позволяет** получать изделия **очень сложной формы**, но и ему присущи свои недостатки, один из которых – необходимость удаления связующего перед спеканием. Тем не менее, объемы производства порошковых материалов этим способом весьма велики, также достаточно большим является объем уже выполненных и выполняемых сейчас научных исследований по данной тематике. На международной конференции в Новом Орлеане в 2001 году от 30 до 60% докладов в разных секциях были посвящены именно этому методу. Есть большая вероятность, что недостаток №3 рано или поздно будет полностью исключен из соответствующего списка. Также изделия очень сложной формы можно изготавливать из порошка упомянутыми выше аддитивными технологиями.
2. До сих пор существует проблема достижения заданной (т.е. довольно высокой) точности изделий после спекания и высокой чистоты поверхности. Инжекционное формование и здесь позволяет осуществить значительный прорыв, в первую очередь по точности изделий. Однако следует иметь в виду, что на данный момент нельзя говорить о том, что спекание (от успеха проведения которого и зависит точность размеров) удается контролировать полностью.
3. Далеко не всегда порошковая металлургия позволяет получать материалы со свойствами, аналогичными свойствам компактных материалов, в первую очередь из-за остаточной пористости, несмотря на то, что технологии окончательной обработки порошковых изделий непрерывно совершенствуются.
4. К сожалению, порошковая металлургия – это металлургия "малых форм". Существуют большие трудности в изготовлении изделий большого размера, которые связаны, в первую очередь, даже не с формованием, а со спеканием. Не будет большим преувеличением, если сказать, что эти трудности преодолевать сложнее, чем проблемы с заданной формой.
5. Упоминавшаяся ранее возможность использования малоквалифицированного персонала имеет обратную сторону, а именно возможность создания в рабочем коллективе нежелательной психологической атмосферы. Правда, с появлением на производстве во все больших количествах сложного специализированного оборудования требования к квалификации рабочих неуклонно возрастают.
6. Нельзя не упомянуть и о пожаровзрывоопасности и токсичности, присущих всем металлическим порошкам в той или иной степени. Это заставляет принимать затратные меры безопасности, увеличивающие стоимость конечных изделий.

Следует иметь в виду, что порошковая металлургия – вовсе не панацея от всех бед и средство решения любых материаловедческих проблем. Время от времени на ту или иную технологию возникает мода, что сопровождается резким нарастанием количества соответствующих научно-исследовательских работ и мест внедрения этой технологии. Со временем все приходит к разумному исходу: технология остается там, где она нужна, где она приносит ощутимую выгоду в виде новых изделий или материалов или в виде сэкономленных средств.

***Обобщенная технологическая схема порошковой металлургии***

Производство порошка

Подготовительные операции

(отжиг, классификация, смешивание)

Формование порошка

Вспомогательные операции

(механическая обработка)

Спекание порошковой

формовки

Дополнительные операции

(механическая, термическая обработка)

Горячее

прессование,

газостатическое формование

Готовые изделия

(*слайд "Обобщенная технологическая схема ПМ"*)