

В.С.РАКОВСКИЙ
В.В.САКЛИНСКИЙ

**Порошковая
металлургия
В МАШИНОСТРОЕНИИ**



СПРАВОЧНИК

621.462
Р 19
В. С. РАКОВСКИЙ, В. В. САКЛИНСКИЙ

86034 1793
БЫЛ НЭ098

ПОРОШКОВАЯ МЕТАЛЛУРГИЯ В МАШИНОСТРОЕНИИ

СПРАВОЧНОЕ ПОСОБИЕ

Издание 3-е, исправленное и дополненное

KIC - 1793

БИБЛИОТЕКА
Сумского филиала
ХИИ им. В. И. Ленина



МОСКВА
„МАШИНОСТРОЕНИЕ“
1973

Раковский В. С., Саклинский В. В. Порошковая металлургия в машиностроении. Справочное пособие. Изд. 3-е, переработ. и доп. 1972. 126 с.

В пособии приведены сведения о металлических порошках, методах их формования, спекания, горячего прессования, основных типах металлокерамических изделий, их обработке, способах контроля, экономике порошковой металлургии.

В третьем издании (2-е изд. 1963 г.) учтены последние достижения в области порошковой металлургии, замечания и пожелания читателей.

Книга предназначена для инженеров-конструкторов и технологов машиностроительных и приборостроительных проектно-конструкторских и технологических организаций.

Ил. 70, табл. 68, список лит. 27 назв.

Рецензент — Засл. деят. науки и техники РСФСР
д-р техн. наук проф. Г. И. Погодин-Алексеев

ГЛАВА I

ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ ПОРОШКОВОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

1. ПРИНЦИПИАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СХЕМЫ

Изделия из металлических порошков изготавливают несколькими способами. Основными из них являются следующие.

Холодное прессование—спекание. Исходные порошки прессуют в стальных или твердосплавных пресс-формах. Далее сформованные изделия подвергают спеканию в вакууме или в защитной атмосфере.

Этим способом изготавливают большинство изделий.

Горячее прессование. Исходный порошок нагревают вместе с пресс-формой до температуры спекания и затем подвергают сжатию под давлением, которое значительно ниже давления при холодном прессовании. Этот процесс можно (в зависимости от состава формуемого порошка) осуществлять в вакууме, в защитной атмосфере или в воздушной среде. Пресс-формы изготавливают из графита или жароупорного металлического сплава. Нагревают либо контактным способом электрическим током, протекающим через пресс-форму, либо индукционным.

Способ горячего прессования не получил широкого применения, так как он сравнительно малопроизводителен. Этим методом изготавливают в основном различные специальные изделия.

Пропитка. Исходный порошок прессуют в холодном состоянии в изделия нужной формы и далее подвергают пропитке расплавленным компонентом; пропитанное изделие подвергают гомогенизирующему отжигу, а некоторые изделия — и другим видам термической обработки.

Этот способ довольно широко используют для изготовления изделий из псевдосплавов (например, W—Cu) или керметов (например, из карбида титана, пропитанного никелевым сплавом).

Пластифицирование. Порошкообразную шихту подвергают холодному прессованию в соответствующую заготовку. Далее эту заготовку пропитывают каким-либо пластификатором (обычно парафином); из пропитанной заготовки путем механической обработки изготавливают изделия нужной формы. Затем из них удаляют (испарением) пластификатор, после чего изделие подвергают спеканию.

Этим методом обычно изготавливают изделия сложной формы из твердых сплавов.

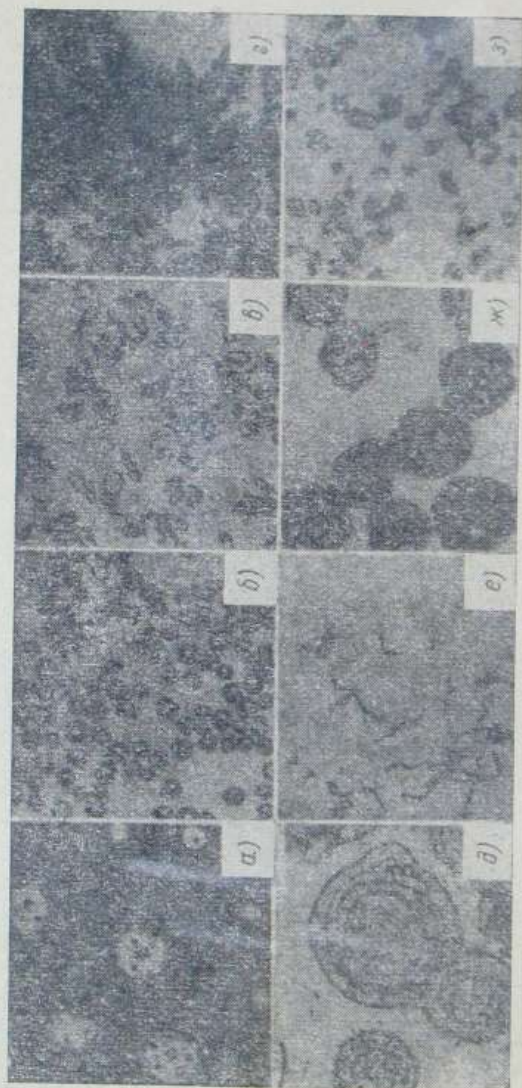


Рис. 1. Общий вид типичных частиц металлических порошков: а — распыленное железо; б — распыленная медь; в — распыленный цинк; г — электролитическое железо; д — электролитический никель (луповичная структура); е — карбонильный никель (хлопковидная структура); ж — сталь вихревого размола; з — порошок нержавеющей стали

2. МЕТОДЫ ПОЛУЧЕНИЯ ИСХОДНЫХ ПОРОШКОВ

Применяемые методы получения металлических порошков могут быть разделены на химические, при которых металлический порошок получают в результате химической реакции, и механические, сущность которых состоит в измельчении различными способами исход-

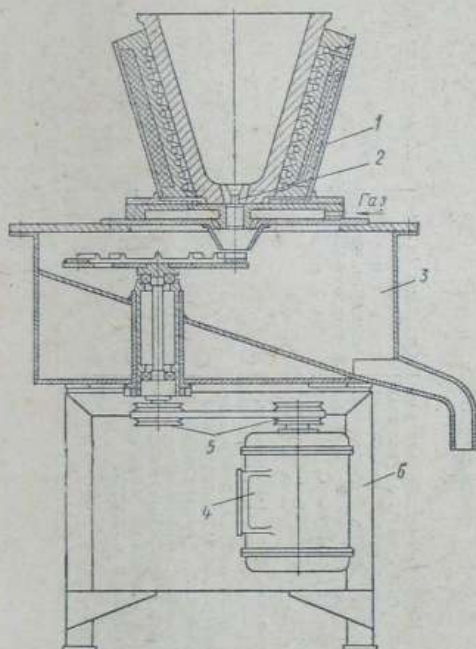


Рис. 2. Схема установки для получения металлических порошков распылением расплава жидкостью; 1 — тигельная индукционная печь; 2 — сопло; 3 — камера для спуска жидкости и порошка; 4 — двигатель с лопаточным диском; 5 — шкив; 6 — стойка

ного материала (табл. 1). На процесс формирования и на свойства металлокерамической продукции большое значение оказывает форма частиц порошка (рис. 1).

На рис. 2—4 показаны принципиальные схемы оборудования для получения порошков механическими методами.

От метода получения порошков в значительной степени зависит их себестоимость (табл. 2).

1. Характеристика основных методов получения металлических порошков [1]

Наименование метода	Сущность метода	Исходное сырье	Основные виды продукции (порошки)	Получаемая форма частиц
<i>Химические методы</i>				
Восстановление углеродом	На технические или химически чистые окислы воздействуют углеродом (кокс, сажа, древесный уголь, антрацит и др.) при 900—1200° С. Реакция протекает по схеме $n_1 \text{Me}_x \text{O}_y + n_2 \text{C} = n_3 \text{CO} + n_4 \text{Me}$, где n_1, n_2, n_3, n_4 — соответствующие числовые коэффициенты, показывающие количество молекул, участвующих в реакции, а x и y — числовые коэффициенты, показывающие количество атомов в молекуле	Окалина (в основном для железа) или химически чистые окислы	Железо, вольфрам	Осколочная
Восстановление водородом или газами, в которых водород является основным компонентом (диссоциированный аммиак, генераторный газ, природный газ)	Принципиальная схема процесса может быть представлена уравнением $n_1 \text{Me}_x \text{O}_y + n_2 \text{H}_2 = n_3 \text{H}_2\text{O} + n_4 \text{Me}$	То же	Железо, никель, кобальт, вольфрам, молибден, медь	Осколочная

Восстановление натрия	Воздействие металлического натрия на окислы или соли (преимущественно фтористые) с последующей обработкой полученного продукта подкисленной водой. Сущность процесса можно представить уравнениями $n_1 \text{Me}_x \text{O}_y + n_2 \text{Na} = n_3 \text{Na}_2\text{O} + n_4 \text{Me}$ $n_1 \text{K}_x \text{Me}_y \text{F}_z + n_2 \text{Na} = n_3 \text{KF} + n_4 \text{NaF} + n_5 \text{Me}$	Химически чистые окислы или фтористые соли	Тантал, ниобий	Осколочная
Восстановление гидридом кальция (CaH_2)	Восстанавливающим агентом является атомарный водород, образующийся при разложении гидроксида кальция при нагревании. Полученный продукт восстановления промывается слабым солянокислым раствором и водой. Процесс протекает по следующей принципиальной схеме: $n_1 \text{Me}_x \text{O}_y + n_2 \text{CaH}_2 \rightarrow n_3 \text{Me}_x \text{H}_y + n_4 \text{CaO}$	Химически чистые окислы	Титан, хром, нержавеющая сталь, порошки на основе титана, хрома и других металлов	
Термическая диссоциация (карбонильный метод)	Разложение (диссоциация) под влиянием нагрева карбониллов, т. е. химических соединений металла с карбонильной группой (CO). Процесс протекает по схеме $\text{Me}_x (\text{CO})_y \rightarrow x \text{Me} + y \text{CO}$	Карбониллы, химические соединения типа $\text{Me}_x (\text{CO})_y$	Железо, никель, кобальт	Сферическая или лунковидная

Наименование метода	Сущность метода	Исходное сырье	Основные виды продукции (порошки)	Получаемая форма частиц
<i>Механические методы</i>				
Распыление водой	Расплавленный металл подвергают распылению струей воды под давлением 5—15 ат	Чугун в случае получения железного порошка или другой расплавленный металл	Железо, ферросплавы, порошки цветных металлов	Сферическая или осколочная
Распыление газом	Расплавленный металл подвергают воздействию струи газа (воздуха, азота, аргона) под давлением 5—15 ат	Чугун для получения железного порошка, металлы с температурой плавления до 1600—1700° С	Железо, нержавеющая сталь, ферросплавы, порошки жаропрочных сплавов	То же
Вихревой размол	Размол исходного продукта в вихревой мельнице, рабочее пространство которой заполнено защитной атмосферой (гелий, азот и др.). Размол происходит в результате взаимных соударений частиц исходного материала, выходящих вихревыми потоками, которые отражаются в рабочем пространстве мельницы	Стружка, сечка, кусочки проволоки	Железо, сталь, бронза, различные сплавы	Блуднеобразная

Дробление в шаровых мельницах	Размол осуществляется под воздействием шаров (стальных или из твердых сплавов). Если при-меняют шары из твердых сплавов, рабочее про-странство мельницы фу-теруют твердыми спла-вами. Обычно размол про-изводят в соответствую-щих средах (воде, спирте и др.), в ряде случаев для активизации процесса размола добавляют по-верхностно-активные ве-щества	Стружка, крупка, грубо-дисперсные порошки	Стали, чугуны, бронза, электро-литический хром	Осколочная
Дробление в вибрацион-ной мельнице	То же		То же, отходы твердых сплавов	
Дробление в толчеях	Дробление осуще-ствляется с помощью па-дающего песта	Стружка	Алюминий, бронза	Лепестковая

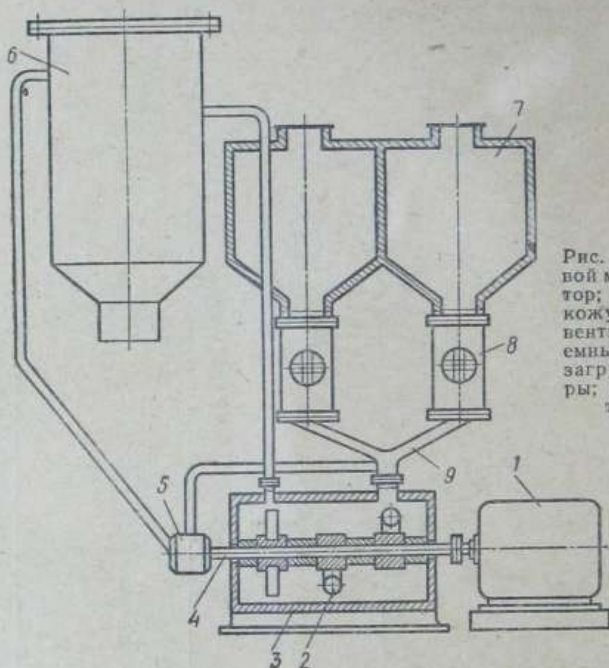


Рис. 3. Схема вихревой мельницы: 1—мотор; 2—била; 3—кожух; 4—вал; 5—вентилятор; 6—приемный бункер; 7—загрузочные бункеры; 8—дозатор; 9—трубопроводы

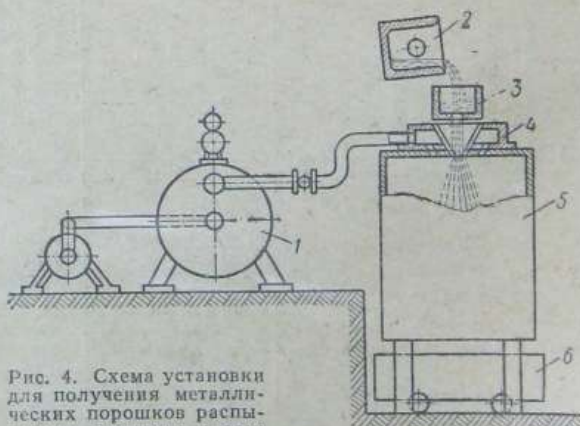


Рис. 4. Схема установки для получения металлических порошков распылением расплава газом: 1 — воздуходувка; 2 — разливочный ковш; 3 — металлоприемник; 4 — воздушное кольцо с соплом; 5 — камера распыления; 6 — тележка

2. Относительная себестоимость железного порошка, полученного различными методами

Наименование метода	Относительная себестоимость порошка	Наименование метода	Относительная себестоимость порошка
Восстановление окислы:		Распыление чугуна:	
углеродом	1,0	водородом	0,6—0,7
водородом	1,2—1,3	водой	0,6—0,7
конвертированным природным газом	1,2—1,3	вихревой размол проволоки	1,4—1,6
электролиз чистых солей	1,8—2,0		
карбонильный метод	2,0—3,0		

3. ФОРМОВАНИЕ ПОРОШКОВ

Процесс формирования металлических порошков состоит в уплотнении порошка под влиянием приложенного давления и в сохранении заданной формы после снятия нагрузки. Процесс формирования слэгаеся из трех основных стадий — плотной упаковки, упругого сопротивления и деформации (рис. 5).

На первой стадии уплотнение идет за счет перераспределения частиц и их более плотной упаковки, на второй стадии сжатый порошок упруго сопротивляется возрастающему давлению, и на третьей стадии уплотнение происходит за счет пластической деформации или хрупкого разрушения частиц (в зависимости от природы и свойств прессуемых порошков). Для большинства порошков вторая стадия очень мала и практически почти не обнаруживается.

Рядом авторов предложены различные математические уравнения, характеризующие процесс прессования (табл. 3).

В современной технологии порошковой металлургии получили распространение различные методы формирования исходных металлических порошков. Характеристика важнейших из них дана ниже.

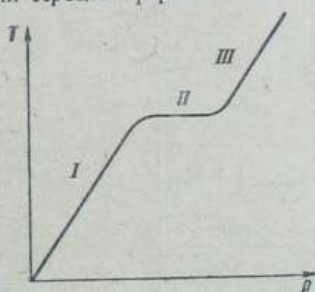


Рис. 5. График уплотнения порошков в процессе прессования: I — стадия плотной упаковки; II — стадия упругой деформации; III — стадия пластической деформации или хрупкого разрушения; ρ — плотность; P — давление

3. Уравнения прессования

Автор	Предлагаемое уравнение	Наименование величин, приведенных в уравнении
Бальшин М. Ю.	$L = \left(\frac{1}{\tau} - 1 \right) = -\lg p + \lg p_{\max}$ $m \lg \tau = -\lg p + \lg p_{\max}$ $\lg p_{\min} - \lg p_n = L (\beta - 1)$	L — фактор прессования; τ — относительная плотность; $p_{\max}$ — давление, соответствующее максимальному уплотнению до компактного состояния; m — константа; p_n — давление прессования; β — относительный объем брикета;
Конопницкий К.	$A \lg \tau = p + \lg \tau_p = 0$	A — константа; $\tau_{p=0}$ — относительная плотность порошка в состоянии насыпки
Смит Г.	$\rho_n = k p^{1/3} + \rho_n$	ρ_n — плотность спрессованного брикета; ρ_n — насыпная масса порошка; p — давление прессования; k — фактор уплотнения;
Агте К.	$\rho_n = k p^{\frac{1}{n-1}} + \rho_T$	ρ_n — объем утряски порошка; n — числовой коэффициент ($n = 2 \div 5$); ρ_T — плотность компактного материала
Лихтман В. И.	$\ln \tau = k p + \ln \tau_p = 0$	n — числовой коэффициент

Автор	Предлагаемое уравнение	Наименование величин, приведенных в уравнении
Торре С.	$p_H = 2\sigma_T \ln \frac{1}{n} + C$	n — текущее значение пористости; σ_T — предел текучести материала порошка; C — константа
Кукин Н. Ф., Юрченко Б. Д.	$\rho = \rho_{np} - \frac{k_0}{\alpha} e^{-\alpha p_H}$	ρ_{np} — условная предельная плотность; k_0 — начальный коэффициент прессования; α — коэффициент потери снижаемости
Николаев А. Н.	$p_H = c\sigma_T \vartheta \ln \frac{\vartheta}{1-\vartheta}$	ϑ — относительная плотность прессовки; p_H — давление прессования; σ_T — предел текучести материала порошка; c — коэффициент, const
Дорофеев Ю. П., Жердников Н. Г.	$\rho = \rho_0 \left[1 + (\beta_0 - 1) \times \left(\frac{w}{w_{\max}} \right)^k \right]$	ρ_0 — плотность насыпки; ρ — плотность в рассматриваемой точке прессовки; β_0 — относительный объем насыпки; w — величина приведенной работы уплотнения; $w_{\max}$ — максимальная приведенная работа уплотнения
Примечание. Из всех приведенных уравнений наиболее часто применяется второе уравнение М. Ю. Бальшина $m \lg \tau = -\lg \rho + \lg \rho_{\max}$		

Прессование в стальных пресс-формах применяют для формирования сравнительно небольших изделий с соотношением высоты к диаметру (или к ширине) не более 2,0—2,5. Формование осуществляется под давлением 1—10 т/см^2 на гидравлических или механических прессах.

Гидростатическое прессование — обжатие порошка, помещенного в эластичную оболочку, с помощью жидкости (рис. 6).

Современные гидростаты позволяют осуществлять сжатие под давлением до 10 тыс. ат. Преимуществом этого метода является

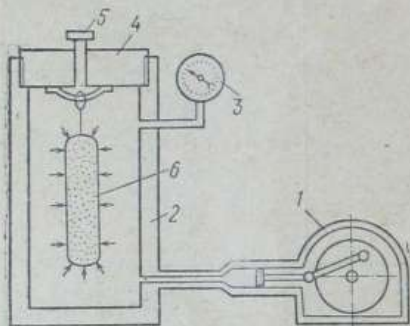


Рис. 6. Схема гидростатического формования; 1 — насос высокого давления; 2 — камера; 3 — манометр; 4 — затвор; 5 — воздушный клапан; 6 — прессовка

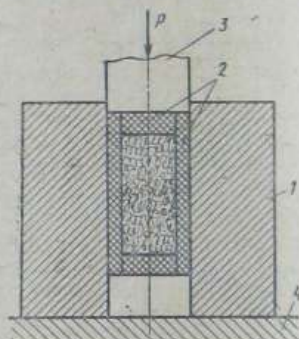


Рис. 7. Схема изостатического формования; 1 — стальная пресс-форма; 2 — эластичная оболочка; 3 — пуансон пресса; 4 — стол пресса

создание в изделии весьма равномерной плотности независимо от его величины и формы.

Этим способом формуют крупногабаритные заготовки типа цилиндров или труб.

Изостатическое прессование — прессование порошков в стальных пресс-формах с помощью резинового или другого эластичного резервуара, вставленного в пресс-форму (рис. 7).

Динамическое прессование (взрывное) осуществляют с помощью давления газов, создаваемого в результате взрыва пороха. Применяется для изготовления плит, труб, цилиндрических и других заготовок из различных материалов.

Непосредственная прокатка порошка представляет собой обжатие порошка между горизонтально расположенными вальками. Применяется для получения пористых и компактных лент, полос, листа из железа, никеля, нихрома, нержавеющей стали, титана и других металлов (рис. 8).

Шликерное литье. Исходной смесью для формования служит взвесь (суспензия) порошка в жидкости (спирт, бензол и др.). Взвесь

заливается под давлением в соответствующую форму, изготовленную из влагопоглощающего материала (например, гипса и др.).

Экструдирование. Осуществляется в двух вариантах.

1. Исходный порошок замешивают с каким-либо пластификатором (парафин, воск и др.), взятым в таком количестве, что порошок приобретает консистенцию пластилина. Пластифицированную смесь продавливают через соответствующее очко.

2. Исходный порошок засыпают в оболочку и подвергают горячему экструдированию вместе с оболочкой.

Вибрационное уплотнение — обычное прессование в стальных пресс-формах с одновременным воздействием вибраций высокой частоты (12 000—16 000 гц).

Для улучшения прессуемости порошков и придания им консистенции пластилина или же для создания возможности механической обработки в полуспеченном состоянии применяют следующие наполнители:

раствор синтетического каучука в бензине. Применяют обычно 7—8%-ный раствор в количестве 100—150 см³ на 1 кг смеси. Порошки замешивают либо вручную, либо в специальных смесителях. Назначение — улучшение прессуемости. Замешанную смесь сушат сначала на воздухе, а затем в сушильном шкафу при 80—100° С. Спрессованные изделия подвергают дополнительной сушке в течение 12—24 ч;

парафиновый наполнитель вводят в смесь обычно с целью создания возможности механической обработки полуспеченных заготовок. Предварительно спеченные заготовки пропитывают расплавленным парафином.

В ряде случаев применяют сплав парафина с воском с содержанием последнего 30—50%. Такой пластификатор удаляют путем прогрева пропитанных полуспеченных изделий при 300—400° С в течение 15—18 ч.

В практике порошковой металлургии обычно применяются поверхностно-активные вещества (ПАВ), которые, адсорбируясь в дефектах кристаллических решеток частиц порошка, способствуют процессу деформации и тем самым облегчают процесс прессования порошков.

ПАВ вводят непосредственно в шихту либо в виде порошков путем смешивания с шихтой, либо в виде растворов путем ее пропитки.

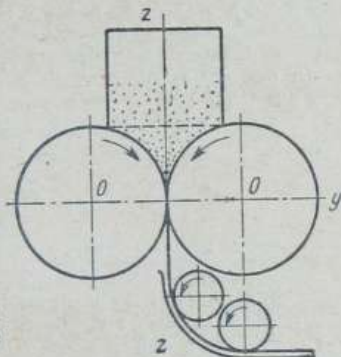


Рис. 8. Схема формования порошков прокаткой

В отличие от наполнителей ПАВ специально не удаляют, они разлагаются или сгорают в процессе спекания изделий.

Наиболее широко применяемыми являются следующие ПАВ: растворимые ПАВ. К ним относятся карбоновые кислоты, спирты жирного ряда. Применяются эти ПАВ в основном для формирования порошков из железа, никеля, кобальта, тугоплавких металлов, титана;

смесь солей жирных кислот. Эти ПАВ представляют собой водные коллоидные растворы различных жирных кислот (например, различные мыла) и предназначены в основном для формирования порошков различных цветных металлов;

защитные коллоиды — производные сульфоновой или альгиновой кислот. Их применяют при формировании всевозможных порошков.

4. ПРОЦЕСС СПЕКАНИЯ

Спекание осуществляют путем нагревания сформованного изделия до температуры, которая составляет примерно $\frac{2}{3}$ температуры плавления материала. В процессе спекания происходит «залечивание» пор, уплотнение и упрочнение материала.

Процессы спекания можно разделить на два основных вида:

спекание однокомпонентных систем;

спекание многокомпонентных систем;

а) в твердой фазе;

б) с образованием жидкой фазы.

В первом случае спекание происходит за счет взаимодействия частиц в твердом состоянии, причем у всех частиц одинаковый химический состав (например, спекание порошков чистых металлов — железа, никеля, меди, а также сплавов).

Спекание второго вида относится к системам, которые состоят из частиц различного химического состава. При спекании в этом случае возможно взаимодействие частиц либо только в твердой фазе (например, спекание бронзографита $\text{Cu} + \text{Sn} + \text{графит}$), либо с образованием жидкой фазы (типичный пример — металло-керамический твердый сплав $\text{WC} \div \text{Co}$).

Механизм спекания обусловлен главным образом миграцией вакансий, прямым обменом атомов местами, перемещением атомов по междоузлиям и другими явлениями. В процессе спекания имеет место также восстановление поверхностных окислов и собирательная рекристаллизация (рост частиц).

Кинетика процесса спекания схематически показана на рис. 9. В процессе спекания можно различить три основные стадии. На первой стадии идет активное уплотнение и наращивание прочности материала, вторая стадия — стадия малоактивной усадки и третья — резкое затухание процесса главным образом за счет внутреннего давления газов, находящихся в замкнутых порах.

Активизация процесса спекания способствует повышению дефектности (концентрация вакансий, дислокаций и др.), повышение температуры спекания, активизация поверхности частиц за счет их освобождения от поверхностных окислов, увеличение удельной поверхности порошков и др.

Между давлением прессования, температурой спекания и величиной частиц имеется определенная закономерная связь, которая графически изображается диаграммой рекристаллизации. На рис. 10 показаны такие диаграммы для хрома и молибдена.

Кинетика процесса спекания может быть охарактеризована рядом математических уравнений, предложенных различными исследователями (табл. 4).

Процесс спекания можно искусственно активизировать, т. е. получить необходимую плотность изделия за более короткое время или при более низкой температуре. Наиболее распространенными методами активизации процессов спекания являются следующие.

Спекание с предварительным окислением. Этот процесс осуществляется в две стадии. На первой стадии происходит поверхностное окисление частиц в увлажненном водороде. Эта стадия осуществляется при сравнительно низкой температуре. На второй стадии производится окончательное спекание при более высокой температуре в атмосфере хорошо осушенного водорода (с точкой росы не менее $60-70^{\circ}\text{C}$); во второй стадии происходит восстановление поверхностных окислов и обнажение активной металлической поверхности.

Этот метод активизации спекания применяется для порошков железа, никеля, кобальта, молибдена, вольфрама и других металлов, окислы которых легко восстанавливаются водородом.

Спекание в парах галогенидов. Спекание осуществляется в присутствии легко диссоциирующих галогенидов (например, NH_4Cl); галогениды обычно вводят в засыпку. Образующийся при диссоциации хлор способствует очистке поверхности частиц.

Спекание под воздействием ультразвука. Спекание осуществляется с одновременным наложением на спекаемое тело ультразвуковых колебаний с частотой $18-20$ гц. Физическая сущность воздействия ультразвука пока еще недостаточно исследована.

Циклическое спекание. Сущность процесса состоит в спекании в несколько этапов, соответствующих различным температурам и фазовым превращениям при изотермической выдержке на каждом



Рис. 9. График процесса спекания
I, II, III — стадии спекания

26034

этапе. Суммарная продолжительность всех этапов меньше продолжительности обычного спекания.

Для защиты изделий от воздействия атмосферы печи применяют различные порошкообразные засыпки, слоем которых покрывают спекаемые изделия.

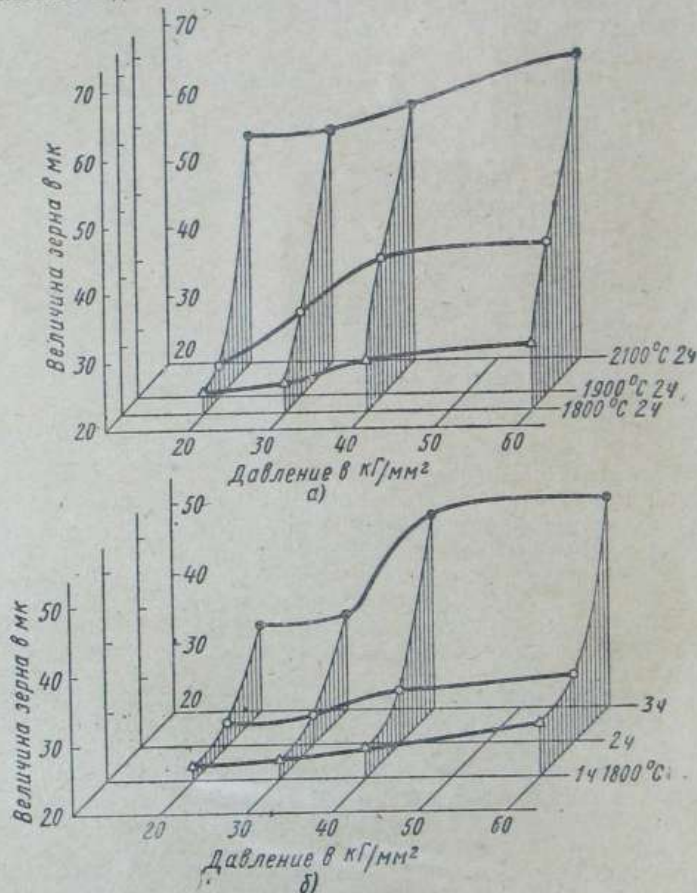


Рис. 10. Типичная диаграмма рекристаллизации при спекании:
а — хром; б — молибден

В качестве засыпок обычно применяют графит, смесь графита с окислами при спекании твердых сплавов или материалов на основе тугоплавких соединений или же чистые тугоплавкие окислы (Al_2O_3 ,

4. Основные уравнения, характеризующие процесс спекания

Автор	Уравнение процесса	Наименование величин, приведенных в уравнении
Ивенсон В. А.	$\frac{v_c}{v_n} = \frac{d_n (d_k - d_c)}{d_c (d_k - d_n)}$	v_c — объем пор после спекания; v_n — объем пор до спекания; ρ_n — плотность до спекания; ρ_c — плотность после спекания; ρ_k — плотность компактного материала
Френкель Я. И.	$\frac{d\tau}{dt} = \frac{3}{2} \left(\frac{4\pi}{3} \right)^{1/3} \frac{\sigma n^{1/3}}{\eta}$	τ — относительная плотность; t — время; n — число пор в 1 см ³ ; σ — коэффициент вязкости; η — поверхностное натяжение
Скороход В. В.	$\frac{1 - 2\theta}{\theta (3 - \theta) (1 - \theta)} d\theta =$ $= - \frac{3}{2} \cdot \frac{\sigma}{R\eta} \cdot dt$	R — начальный радиус частиц; θ — пористость; η — поверхностное натяжение; σ — коэффициент вязкости
Пинес Б. Я.	Термодинамическое условие при спекании частиц; $\sigma_{AB} < \sigma_A + \sigma_B$	σ_{AB} — поверхностная энергия межфазной границы, образовавшейся при спекании; σ_A и σ_B — поверхностные энергии компонентов
Примечание. Наиболее часто для практических расчетов используется уравнение Скорохода В. В.		

ZrO₂, MgO) при спекании изделий из материалов на основе железа, никеля, хрома и других металлов, активных по отношению к углероду.

5. ЗАЩИТНЫЕ АТМОСФЕРЫ

Характеристика наиболее часто применяемых защитных атмосфер приведена в табл. 5.

5. Характеристика защитных атмосфер

Исходный продукт	Метод приготовления атмосферы	Состав атмосферы в объемных процентах					Влажность атмосферы		Выход атмосферы из 1 м³ исходного продукта в 1 м³	Применяемое оборудование
		CO	CO ₂	H ₂	CH ₄	N ₂	Точка росы в °C	H ₂ O в %		
Аммиак	Диссоциация аммиака Частичное сжигание диссоциированного аммиака	—	—	75 7—20	—	25 99—80	—60 —20 —40	0,002 0,10 0,01	2,61 4,4— 3,8	Испаритель, диссоциатор, адсорбер Испаритель, диссоциатор, камера сжигания, охладитель, рефрижератор, адсорбер
Древесный уголь	Получение сухого генераторного газа Получение генераторного газа в реторте с внешним обогревом при 1000° C	30 33	2 0,2—0,7	6 6	1 1	01 59,5	—10 —25	0,25 0,06	3,8 3,8	Газогенератор, фильтр, воздушная дунка Газогенератор, реторта с внешним обогревом, охладитель, фильтр, воздушная дунка
Генераторный газ	Очистка от H ₂ , сжигание, очистка от CO ₂ , осушка до —40° C; $\alpha = 0,9$	4	0,2	4	—	92	—40	0,01	1,4— 1,7	Колонка поглощения H ₂ , камера сжигания, колонка поглощения CO ₂ , адсорбер, колонка восстановления раствора, теплообменники

Антрацит, древесные чурки	Получение генераторного газа, осушка от CO_2 , осушка до -40°C	25	0,2	12	1—2	62	—40	0,01	0,9	Газогенератор, холодильник, колонка поглощения CO_2 и H_2 , колонка восстановления раствора, теплообменники, адсорбер
Угледородородный газ	Крекирование углеводородных газов в смеси с воздухом при температуре газа 1000°C Частичное охлаждение углеводородного газа с подогревом газозовоздушной смеси до 210°C . Охлаждение до $+20^\circ\text{C}$. Добавка исходного газа	21 9	0,5 3	40 16	2 10	37 62	—20 20	0,06 2,3	4,0—4,5 4,5—5,0	Реторта с внешним обогревом, фильтр, охладитель, газодувка, регуляторы сжигающей рекуператор, воздушодувка, регуляторы, охладитель
Керосин	Пиролиз и крекинг керосина в смеси с водяным паром, очистка от смол, сажи	16	0,5	60	10		12	1,4	1,1—1,2	Крекинг-камера, скрубберы, насосы

Примечание. α — коэффициент избытка воздуха.

6. Техническая характеристика силикагеля (по ГОСТу 3956—54*)

Наименование показателей	Кусковой мелкопористый				Кусковой крупно-пористый	
	КСМ	ШСМ	МСМ	АСМ	КСК	ШСК
Стекловидные прозрачные или матовые						
Внешний вид и цвет зерен	2,7—7,0	1,5—3,5	0,25—2,0	0,2—0,5	2,7—7,0	1,5—3,5
Величина зерна в мм	5/5	5/5	3/5	3/5	5/5	5/5
Количество зерен в %	92	80	Не нормируется		80	60
Механическая прочность в %, не менее						
Объемная масса в г/л в пересчете на силикагель, высушенный при 150° С, не менее			670			
Влагоемкость по водяным парам в % при 20° С при относительной влажности:						
20%, не менее	9,5	9,5	9,0	9,0	—	—
40%, »	20,5	20,0	20,0	19,0	Не нормируется	
60%, »	29,0	29,0	29,0	28,0	—	—
100%, »	35	35	35	35	70	70
Потери при высушивании при 150° С в %, не более	10	10	10	10	5	5

Наименование показателей	Кусковой крупно- пористый		Гранулированный			
	МСК	АСК	Мелкопористый		Крупнопористый	
			КСМ	ШСМ	КСК	ШСК
Внешний вид и цвет зерен			Стекловидные или стекловидноматовые овальной или сферической формы от бесцветного до темного цвета с черными включениями			
Величина зерна в $\mu\text{м}$	0,25—2,0	0,2—0,5	2,7—7,0	1,0—3,5	2,7—7,0	1,0—3,5
Количество зерен в %	3,5/5	3,5/2	5/5	5/5	5/5	5/5
Механическая прочность в %, не менее	Не нормируется	Не нормируется	94	85	86	62
Объемная масса в г/л в пересчете на силикател, высушенный при 150° С, не менее	400—500	400—500	670		400—500	
Влажность по водяным парам в % при 20° С при относительной влажности:						
20%, не менее	—	—	9,0	9,0	—	—
40%, »	Не нормируется	Не нормируется	16,0	16,0	Не нормируется	Не нормируется
60%, »	—	—	Не нормируется	Не нормируется	—	70
100%, »	70	70	35	35	70	70
Потери при высушивании при 150° С в %, не более	5	5	10	10	5	5

Удаление влаги из защитных атмосфер производится тремя способами:

1. От начальной влажности, соответствующей точке росы $+20^{\circ}\text{C}$, охлаждением проточной водой в трубчатых холодильниках;
2. От влажности при $+20^{\circ}\text{C}$ до влажности, соответствующей точке росы от -1 до -10°C , в камерах холодильных машин;
3. От влажности, соответствующей точке росы от -65 до -70°C в адсорберах с применением силикагеля (табл. 6) или алюмогеля.

6. МЕХАНИЧЕСКАЯ И ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОКЕРАМИЧЕСКИХ ЗАГОТОВОК И ИЗДЕЛИЙ

В большинстве случаев металлокерамические изделия изготовляют сразу необходимой формы и размеров, без последующей механической обработки. Однако при изготовлении сложных по форме деталей, когда требуется большая точность, необходима механическая обработка (табл. 7).

7. Скорость резания $v_{\text{ср}}$ и коэффициент относительной обрабатываемости K_M металлокерамических материалов

Материал	$v_{\text{ср}}$ в м/мин и K_M при обработке резцами из сплавов						
	P18	BK2	BK3M	BK8	BK6M	T15K6	T30K4
Чугун (Ч15-32)	$\frac{62}{1,0}$	—	$\frac{183}{1,0}$	$\frac{145}{1,0}$	—	—	—
Железографит (до 1,3% C)	—	$\frac{28}{0,36}$	$\frac{72}{1,0}$	—	$\frac{59}{0,82}$	$\frac{18}{0,25}$	$\frac{50}{0,69}$
Металлокерамический сплав: 96,0 Fe + 2,5% Si + 1,5% C	$\frac{10,4}{—}$	$\frac{9}{0,11}$	$\frac{85}{0,8}$	$\frac{66}{0,37}$	—	—	$\frac{50}{0,59}$
Сульфидированный сплав: железо + медь (до 3% Si)	$\frac{5,4}{0,09}$	—	$\frac{115}{0,63}$	$\frac{53}{0,37}$	—	—	—
Примечание. В числителе — скорость резания $v_{\text{ср}}$, в знаменателе — коэффициент относительной обрабатываемости K_M							

Влияние скорости резания на высоту неровностей приведено в табл. 8 и на рис. 11.

8. Высота неровностей R_z при обработке металлокерамических материалов

Состав материала (шихта)	Скорость резания в м/мин	Максималь- ное значе- ние R_z в мкм	Состав материала (шихта)	Скорость резания в м/мин	Максималь- ное значе- ние R_z в мкм
Сталь 40X	10,5	14	100% Fe	16	23
Чугун СЧ 15-32	12,5	15	96% Fe + 2,5% S + + 1,5% C (суль- фидирование)	10,5	14
98% Fe + 2% C	10	14	96% Fe + 2,5% S + + 1,5% C (суль- фидирование)	8,5	13
98,5% Fe + 1,5% C	11	15			
98,8% Fe + 1,2% C	12,5	16,5			

Пропитка маслом улучшает чистоту обработанной поверхности металлокерамической заготовки (табл. 9), но при обработке пропитанных маслом заготовок происходит загрязнение воздуха из-за выгорания масла.

В табл. 10—15 даны оптимальные условия обработки металло-керамических материалов.

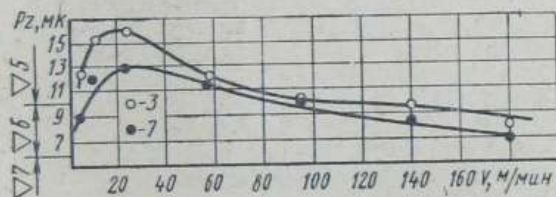


Рис. 11. График влияния скорости резания на шероховатость обработанной поверхности

Поправочный коэффициент K_v на скорость резания в зависимости от твердости металлокерамических материалов приведен ниже:

HВ	35—50	60—80	90—110	120—130	> 130
K_v	3,5	1,5	0,8	0,6	0,5

Металлокерамические изделия, изготовленные из материалов на основе железа и никеля, в ряде случаев подвергают термической и химико-термической обработке.

Термическая обработка включает отжиг, закалку и отпуск. Отжиг представляет собой нагрев изделий или порошков несколько ниже температуры спекания и выдержку в течение 1—3 ч при этой температуре.

9. Влияние пропитки маслом металлокерамических материалов на высоту неровностей R_z

Состав материала (шихта)	Пористость в %	Пропитка маслом	R_z в мкм	Класс чистоты
100% Fe	22—23	+ —	16 28	5 4
98,5% Fe + 1,5% C	14—15	+ —	5 9	7 6
		+ —	7 17	6 5
	19—20	+ —	9 19	6 5
		+ —	9 19	6 5
	29—30	+ —	18 25	5 4
		+ —	20 27	4—5 4
97% Fe + 3% C	21—22	+ —	18 25	5 4
		+ —	20 27	4—5 4
	30—31	+ —	20 27	4—5 4
		+ —	20 27	4—5 4

10. Геометрия резцов, имеющих наибольшую стойкость (при $r = 1,5$ мм)

Обрабатываемый металло-керамический материал	Материал резцов	γ	α	φ	φ_1
		в град			
Железографитовый, пропитанный маслом	ВКЗМ	5	10	30	5
	T30K4	10			
	ВКЗМ		15		
	T30K4	15	10		
Железомеднографитовый, пропитанный маслом	ВКЗМ	10	15		
	T30K4				
Обозначения. γ — передний угол; α — главный задний угол; φ — главный угол в плане; φ_1 — вспомогательный угол в плане.					

**11. Шероховатость обработанной поверхности
металлокерамических материалов, не пропитанных
маслом, в зависимости от подачи**

Обрабатываемый материал	Интервал подач на 1 оборот в мм			
	0,03—0,06	0,06—0,10	0,10—0,25	0,25—0,50
	Класс чистоты по ГОСТу 2789—59			
1,3—1,5% C; Fe — остальное (пластинчатый перлит, небольшое количество феррита, местами включения цементита)	5	5—4	4	4—3
1,3—1,5% C; Fe — остальное (феррит + перлит)	5—4	4	4—3	3
100% Fe (феррит)	4	4	4—3	3
96% Fe + 2,5% Si + 1,5 C (пластинчатый перлит, небольшое количество феррита, местами включения цемента)	6—5	5	5—4	4—3
96% Fe + 2,5% Si + 1,5 C, сульфидирование (феррит + сульфиды + пластинчатый перлит)	7—6	6	6—5	5—4
96% Fe + 2,5% Si + 1,5% C, сульфидирование (феррит + сульфиды + зернистый перлит)	7—6	6	6—5	5—4
П р и м е ч а н и е. При обработке металлокерамических материалов, пропитанных маслом, шероховатость поверхности уменьшается на один класс по ГОСТу 2789—59.				

12. Основные показатели при обработке железистографитовых металлокерамических материалов резцами, оснащенными твердым сплавом ВКЗМ

Подача в мм/об	Глубина резания в мм									
	0,2		0,4		0,6		0,8		1,0	
	v_{80}	P_z	v_{80}	P_z	v_{80}	P_z	v_{80}	P_z	v_{80}	P_z
Не пропитанные маслом (пористость 20%, HB 90)										
0,03	102	2,4	77	4,8	65	7,4	58	9,7	53	12,2
0,05	77	3,6	58	7,5	50	10,8	44	14,8	40	18,3
0,08	60	5,6	45	11,2	39	16,7	34	22,4	31	28,1
0,10	53	6,7	40	13,5	34	20,3	30	27,0	28	33,8
0,15	42	9,5	32	19,1	27	28,6	24	38,1	22	47,7
0,20	36	12,1	27	24,2	23	36,4	21	48,6	19	60,7
0,25	32	14,7	24	29,1	20	44,0	18	59,0	17	73,5
0,30	29	17,1	22	34,5	18	51,5	16	68,7	15	85,8
Пропитанные маслом (пористость 20%, HB 95)										
0,03	141	1,9	12,2	3,7	108	5,7	100	7,5	93	9,4
0,05	112	2,8	9,9	5,8	86	8,3	79	11,4	74	14,2
0,08	91	4,3	78	8,6	70	12,9	64	17,2	59	21,6
0,10	82	5,2	71	10,4	63	15,6	58	20,8	54	26,0
0,15	69	7,3	59	14,7	52	22,0	49	29,3	44	36,7
0,20	60	9,3	52	18,8	46	28,0	42	37,4	39	46,7
0,25	55	11,3	47	22,2	41	33,9	38	45,3	36	56,6
0,30	50	13,2	43	26,5	38	39,6	35	52,8	32	66,0
Примечание. P_z — сила резания в кг; v_{80} — скорость резания в м/мин при часовой стойкости.										

13. Поправочные коэффициенты на скорость K_v и силы резания K_{Pz} в зависимости от состава и микроструктуры металлокерамических материалов

Состав материала (шхста)	Микроструктура	HB	K_v	K_{Pz}
1,3 — 1,5% С; Fe — остальное	Пластинчатый перлит, небольшое количество феррита, местами включения цемента	90	1,0	1,0
	Феррит+перлит	70	1,9	0,8
100% Fe	Феррит	50	3,7	0,7

Состав материала (шхста)	Микроструктура	HV	K_v	K_{pg}
96% Fe+2,5% S+ +1,5% C (суль- фидирование)	Феррит+сульфиды+пла- стинчатый перлит	70	1,6	0,85
	Феррит+сульфиды+зер- нистый перлит	70	2,4	0,75
97% Fe—3% C	Феррит + твердый раствор меди в железе	55	2,5	0,75
96% Fe+2,5% Cu+ +1,5% C	Пластинчатый перлит, не- большое количество фер- рита, местами включения цементита	100	1,0	1,0

14. Поправочный коэффициент (K_v)
на скорость резания в зависимости
от пористости металлокерамических
материалов на железной основе

15. Поправочный коэффициент (K_v)
на скорость резания в зависимости
от пористости металлокерамических
материалов на медной основе

Порис- тость в %	Для изделий, не про- питанных маслом	Для изделий, пропи- танных маслом
15	0,9	0,85
20	1,0	1,0
30	1,1	1,25

Порис- тость в %	Для изделий, не про- питанных маслом	Для изделий, пропи- танных маслом
15	1,0	1,18
20	1,0	1,25
30	1,0	1,55

Закалка — нагрев спеченных изделий в защитной атмосфере до температур, обусловленных фазовыми превращениями, и быстрое охлаждение в воде или в масле. Закалка применяется для придания спеченным изделиям, главным образом на основе железа, никеля, титана, надлежащей структуры и свойств.

Отпуск — нагрев закаленных изделий после закалки до температуры, обусловленной фазовыми превращениями, с последующим медленным охлаждением. Применяется для тех же материалов, что и закалка.

Термомеханическая обработка представляет собой нагрев изделий выше определенной температурной точки превращения с последующей интенсивной деформацией, закалкой и отпуском.

Такая обработка значительно повышает прочность металлокерамических изделий.

Химико-термическая обработка применяется для насыщения поверхности спеченных изделий соответствующими элементами (Cr, Ni, Mo, Be, Si, Al и др.) в соответствующих газовых средах или в порошкообразных компонентах.

Химико-термическая обработка приводит к упрочнению поверхностного слоя, повышению жаростойкости.

ГЛАВА II

ХАРАКТЕРИСТИКА МЕТАЛЛОКЕРАМИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ И ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ИХ ИЗГОТОВЛЕНИЯ

1. КЛАССИФИКАЦИЯ МЕТАЛЛОКЕРАМИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ

В табл. 16 приведена номенклатура металлокерамических изделий из материалов со специальными свойствами. Кроме изделий, перечисленных в таблице, методом порошковой металлургии изготовляют также различные детали машин и приборов из материалов с обычными свойствами на основе Fe, Cu, Ni, Ti и других металлов.

Конструкционные металлокерамические материалы и изделия могут быть, в свою очередь, классифицированы на определенные виды (рис. 12).

16. Классификация изделий порошковой металлургии

Тип изделий	Общая характеристика	Основное назначение
Антифрикционные	Различные втулки из металлокерамических сплавов Fe, Cu или Al с графитом и другими твердыми смазками. Пористость изделий 15—20%, пропитаны маслом	Различные пористые подшипники в узлах трения автомобилей, самолетов, тракторов, текстильных и других машин
Фрикционные	Различные биметаллические накладки (со стальной основой) из металлокерамических сплавов Fe или Cu с различными неметаллическими добавками (графит, барит, асбест, карбиды кремния и бора и др.), играющими роль смазки или же повышающими коэффициент трения	Тормозные узлы самолетов, экскаваторов, тракторов и других машин

Тип изделий	Общая характеристика	Основное назначение
Пористые	Пластины, втулки, кольца из металлокерамических материалов на основе Fe, Ni, Cu, Ti, пористость изделий 20—40%	Различные фильтры для очистки газов и жидкостей, а также узлы летательных аппаратов для пористого охлаждения
Магниты	Втулки, кольца, бруски из металлокерамических материалов на основе Fe или Ni с добавками Al, Si, Cu и иногда смолы	В узлах различных аппаратов связи, в медицинской и другой аппаратуре
Контакты	Цилиндры, полусферы, кольца псевдосплавов на основе W, Mo, CdO, с добавками Cu, Ag, Ni, графита, а также из материалов на основе композиций графита с Cu и Ag	Контакты для сварки, токосъемники в электромашинках, магнето и других аппаратах
Инструментальные	Изделия из металлокерамических твердых сплавов на основе карбидов W и Ti	Инструмент для обработки металлов, пластмасс, дерева и других материалов резанием и давлением; инструмент для бурения
	Композиционные инструментальные изделия, состоящие из крошки искусственных или натуральных алмазов, цементованных металлами или металлическим сплавом	Инструмент для бурения, правки шлифовальных камней
Жаропрочные	Изделия из различных жаропрочных сплавов, на основе Ni, тугоплавких металлов, тугоплавких соединений, упрочненные дисперсными тугоплавкими соединениями (окислы, интерметаллиды и др.) или волоком	Различные детали летательных аппаратов, работающие при высоких температурах

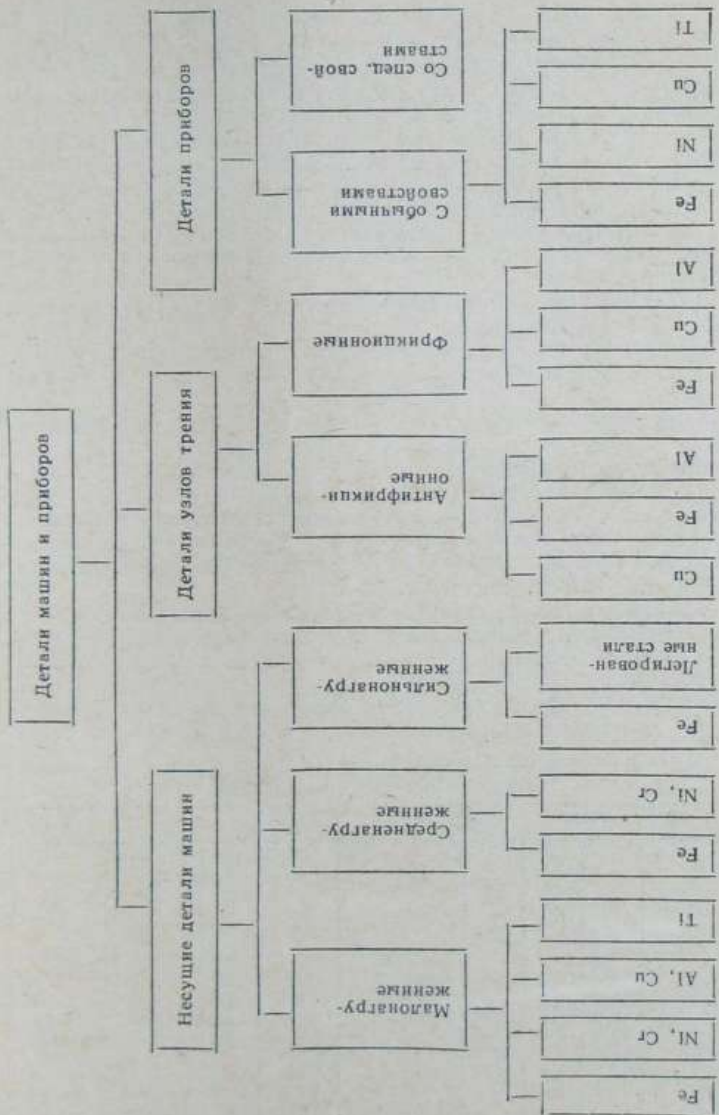


Рис. 12. Классификация деталей машин и приборов, изготавливаемых методами порошковой металлургии

2. АНТИФРИКЦИОННЫЕ ИЗДЕЛИЯ

Изделия из антифрикционных материалов применяют в различных узлах трения. Они обладают высокой износостойкостью, малым коэффициентом трения и могут работать без принудительной смазки в условиях загрязнения среды твердыми примесями.

Изделия из этих материалов выпускают в основном в виде различных втулок. В автомобильной и некоторых других отраслях промышленности нашли также применение подшипниковые изделия (вкладыши), изготавливаемые из многослойных лент. Изделия ленточного типа представляют собой стальную подложку с нанесенными на нее двумя порошковыми слоями (промежуточным и рабочим) соответствующего состава.

Различают следующие основные типы металлокерамических антифрикционных изделий.

1. Пористые сплавы на основе железа и графита (железографит), бронзы и графита (бронзографит), алюминия и графита (алюмографит).

В некоторых материалах этого типа вместо графита применяют другие твердые смазки, например нитрид бора.

Железографит используют при рабочем давлении не более 100—150 кг/см² и температуре до 80—100° С (рис. 13, а).

2. Сплавы на основе железа, меди и других металлов, пропитанные различными пластмассами, обычно тефлоном. Эти материалы применяют в тех же условиях, что и железографит, но при температуре до 150° С (рис. 13, б).

3. Материалы в виде двухслойных (свинцовистая бронза) или трехслойных лент, из которых изготавливают подшипниковые вкладыши. Такие изделия применяют в автомобильной промышленности (рис. 13, в).

В табл. 17 приведен химический состав наиболее широко применяемых антифрикционных материалов, а в табл. 18 их свойства.

17. Химический состав в % антифрикционных металлокерамических материалов

Железографит				Бронзографит				
Марка	Fe	Графит	Сульфид (Fe или Mo)	Марка	Cu	Sn	Графит	Прочие
ЖГр-03	99,7	0,3	—	Бр0Гр10-2	88	10	2	—
ЖГр-1	99,0	1,0	—	Бр0Гр8-4	86	10	4	—
ЖГр-3	97,0	3,0	—	Бр010ФГ	Осн.	8—10	2—4	5—10 фторопласта
ЖГр-7	93,0	7,0	—					
ЖГр-2Д2,5	95,5	2,0	2,5					
ЖГр-1,5Д5	93,0	2,0	5,0	Бр046ФГ	Осн.	6—8	2—4	То же
ЖГр-2Д10	88,2	1,8	10,0	Свинцовистая бронза	70—72	0—15	Свинец 11,5—30	0—1,5

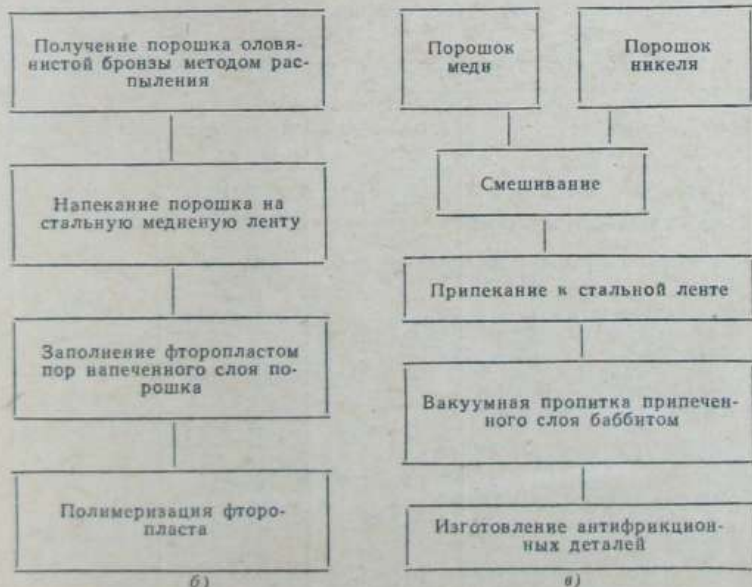


Рис. 13. Схемы изготовления антифрикционных изделий

Железографит отличается от остальных антифрикционных материалов значительно большей чувствительностью структуры к изменению содержания графита и режимов технологии: в зависимости

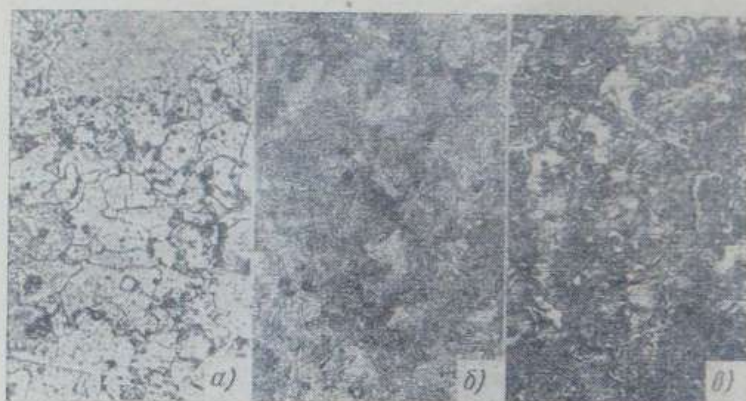


Рис. 14. Микроструктура железографита; $\times 300$

18. Физико-механические свойства антифрикционных материалов

Свойства	Железографит	Бронзографит	Свинцовистая бронза
Плотность в $г/см^3$	6,4—6,8	6,0—6,3	8,55
НВ в $кг/мм^2$	35—125	18—40	25—30
Предел прочности в $кг/мм^2$ при сжатии	60—80	30—60	—
Осадка при сжатии в %	35—40	45—50	—
Предел прочности при растяжении в $кг/мм^2$	20—38	10—18	5—6
Ударная вязкость в $кг-м/см^2$	0,2—0,3	0,2—0,3	0,5
Коэффициент линейного расширения в $1/град$	9^{-6} — 11^{-6}	12^{-6} — 17^{-6}	—
Максимальная допустимая рабочая температура в $^{\circ}C$	120—200	60—80	80
Максимальное допустимое рабочее давление в $кг/см^2$	50—200	60—80	260
Максимальная маслостойкость в %	2—3	2—3	—
Коэффициент трения по стали:			
всухую	0,07—0,09	0,04—0,07	—
со смазкой	0,07—0,09	0,05—0,007	0,05

от этих факторов его структура может быть ферритной (рис. 14, а), перлитной (рис. 14, б), цементитной (рис. 14, в).

Применяют материалы в основном с перлитной структурой. Железографит с ферритной структурой имеет пониженную износостойкость, а цементитная структура способствует повышенному износу сопрягаемой детали.

Основные технологические режимы изготовления металлокерамических антифрикционных изделий приведены в табл. 19.

19. Технологические режимы изготовления
металлокерамических антифрикционных изделий

Наименование материала	Технологические режимы			
	Давление прессования порошка в т/см^2	Температура спекания в $^{\circ}\text{C}$	Продолжительность в ч	Среда при спекании
Железографит	1,5—2,0	1050—1100	1,5—2,0	Водород, эндогаз
Бронзографит	1,5—1,8	720—750	1,5—2,0	Водород
Материал на основе легированного железа	1,5—2,0	1100—1150	1,5—2,0	Водород, эндогаз
Триметаллическая антифрикционная лента . . .	1,0—1,5	1150—1180	1,5—2,0	То же
Свинцовистая бронза . . .	0,8—1,0	720—760	1,5—2,0	Водород

3. ФРИКЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Изделия, изготавливаемые из фрикционных материалов, предназначены для узлов трения с целью обеспечения процесса торможения или сцепления сопрягаемых деталей.

Фрикционные материалы должны обладать большим коэффициентом трения, высокой износостойкостью и достаточно высокой прочностью (табл. 20, 21).

В их химический состав входят компоненты трех типов — основа, смазочные и фрикционные. В качестве компонентов основы применяют железо и медь. Материалы на алюминиевой основе промышленного применения пока не получили. К смазочным компонентам относят графит, свинец, сульфиды. Для повышения износостойкости и достижения достаточно высокого коэффициента трения в состав вводят тугоплавкие окислы, карбиды, бориды, асбест.

**20. Химический состав (в %) назначение
фрикционных металлических материалов**

Марка мате-риала	Fe	Cu	Sn	Pb	Ni	Прочие элементы	Асбест	Барит	Графит	FeS ₂	CuS
ФМК-8 *	Осн.	7	—	—	25	10Cr; 6W	—	—	7	—	—
ФМК-11 *	Осн.	15	—	—	—	5B ₄ C;	—	6	9	—	—
МКВ-50 *	Осн.	9—11	—	—	—	5SiC	3	5	8	—	—
МК-5 **	4	Осн.	10	8	—		—	—	8	—	—

* Применяется для тормозов самолетов, тормозных узлов экскаваторов в условиях работы при сухом трении.
 ** Применяется для гидротрансмиссий различных станков и автомашин.

21. Свойства фрикционных материалов

Наименование свойств	ФМК-8	ФМК-11	МКВ-50	МК-5
Плотность в г/см ³	6,0	5,0	5,0	7,2
НВ в кг/мм ² :				
при 20° С	60—100	67—110	80—120	25—40
» 500° С	—	—	45—50	—
Предел прочности в кг/мм ²				
при растяжении	—	3,5—4,5	3—4	—
» срезе	—	9,0	6,7—8,5	—
» сжатии	—	16,4	18—20	—
» изгибе	—	10,2	10—14	—
Коэффициент трения:				
по чугуну всухую	0,18—0,25	0,25—0,29	0,33—0,40	0,17—0,25
» стали в масле	—	—	—	0,08—0,12
Коэффициент линейного расширения α·10 ⁶ в интервале 20—900° С	11,0—12,0 *	11,5—16,0	12,6—12,8	—
Износ за одно торможение в мкм	6—12	12—20	5—8	—

* Температурный интервал 20—500° С.

Сложный химический состав фрикционных материалов и наличие в нем весьма разнородных по свойствам компонентов являются причиной того, что эти материалы обладают повышенной хрупкостью, и поэтому изделия из них, как правило, изготавливают в виде биме-

22. Влияние удельной мощности торможения на фрикционные характеристики и износостойкость материалов МКВ-50 и ФМК-11

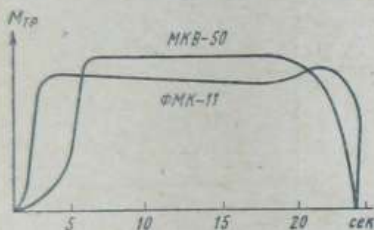


Рис. 15. Зависимость момента трения $M_{тр}$ от времени торможения для фрикционных материалов

таллов, в которых подложкой служит обычно сталь.

В табл. 22 и на рис. 15 приведены цифровые характеристики фрикционных свойств.

4. КОНТАКТЫ

Различают контакты двух видов — разрывные и скользящие. К разрывным относят контакты, предназначенные для периодического размыкания и замыкания электрической цепи, а к скользящим — подвижные контакты, в которых контактирующие части скользят друг по другу, не размыкаясь.

Металлокерамические контакты изготавливают:

1) путем прессования порошка или смеси порошков тугоплавких компонентов с последующей пропиткой сформованного брикета расплавленным менее тугоплавким металлом;

2) путем смешивания всех исходных порошков, последующего формирования смеси и спекания сформованных изделий.

Наиболее распространенным является второй вариант.

Удельная мощность (средняя) в $\text{кг} \cdot \text{м} / \text{см}^2 \cdot \text{сек}$	Средний коэффициент трения по чугуну всухую		Стабильность коэффициента трения	
	ФМК-11	МКВ-50	ФМК-11	МКВ-50
25	0,27	0,37	0,90	0,90
32	0,26	0,34	0,80	0,85
42	0,25	0,30	0,80	0,80
52	0,21	0,28	0,70	0,70

Удельная мощность (средняя) в $\text{кг} \cdot \text{м} / \text{см}^2 \cdot \text{сек}$	Линейный износ в мкм на одно торможение				Объемная температура в $^{\circ}\text{C}$	
	Металлоке-рамка		Чугун			
	ФМК-11	МКВ-50	ФМК-11	МКВ-50	ФМК-11	МКВ-50
25	16	6	2,0	5,5	430	500
32	28	8	1,0	5,0	510	550
42	36	10	0,5	4,5	520	580
52	44	13	0	4,0	590	610

В табл. 23 приведены характеристики основных типов контактов, а в табл. 24 их свойства.

23. Химический состав в % и области применения контактных материалов

Марка материала	Ag	Прочие элементы	Основные области применения
CH-15 CH-30 CH-40 CH-45	85 70 60 55	15 Ni 30 Ni 40 Ni 45 Ni	Магнитные пускатели, реле тяжелого режима, вибропреобразователи сварочных машин
OK-8 OK-12 OK-15	92 88 85	8 CdO 12 CdO 15 CdO	Контакты, магнитные пускатели, сигналы, контроллеры, стартеры двигателей, выключатели
СП-2 СП-3 СП-5	98 97 95	2 графита 3 » 5 »	Переключатели радиоприемников, управляющие аппараты лифтов, реле сигнализации, токонесущие контакты, регуляторы напряжения
CB-30 CB-50 CB-60 CB-65 CB-75 CB-85	70 50 40 35 25 15	30 W 50 W 60 W 65 W 75 W 85 W	Мощные воздушные выключатели, контакты анодных автоматов, контакты трансформаторов, регуляторы объектов моторов, кассовые машины, преобразователи тока
CM-30 CM-60 CM-65 CM-70 CM-75 CM-80	70 40 35 30 25 20	30 Mo 60 Mo 65 Mo 70 Mo 75 Mo 80 Mo	Контакты, дугонесущие контакты, выключатели бытовых приборов, реле, вибропреобразователи радиоприемников
OM-10	90	10 Cu	Сварочные контакты
OC-3 OC-5	97 95	3 PbO ₂ 5 PbO ₂	Низковольтные выключатели, вибрационные контакты для постоянного тока
СКВ-50 СКВ-65	50 35	50 W ₂ C 65 WC	Воздушные выключатели, выключатели аппарата управления лифтом

Марка материала	Ag	Прочие элементы	Основные области применения
МКВ-80 МВ-20 МВ-40 МВ-60 МВ-80	20 Cu 80 Cu 60 Cu 40 Cu 20 Cu	80 WC 20 W 40 W 60 W 80 W	Воздушные выключатели для больших нагрузок, контакты сварочных аппаратов, высоковольтные выключатели, дверные выключатели на морских судах
МГ-5	95% Cu или Ag	5 графита	Разрывные контакты селективных автоматов, ручные выключатели

24. Свойства спеченных контактов

Марка материала	Плотность в г/см ³	НВ в кг/мм ²	Предел прочности при сжатии в кг/мм ²	Теплопроводность в ккал/(см·град·сек)	Удельное электро-сопротивление в ом·мм ² /м
СН-15	10,2	50	—	0,96	0,021
СН-30	9,9	55	—	0,87	0,025
СН-40	9,6	69	—	0,78	0,029
СН-45	9,25	70	—	0,67	0,031
ОК-8	9,7	58	—	0,88	0,021
ОК-12	9,65	56	51	0,84	0,024
ОК-15	9,55	59	47	0,78	0,027
СГ-2	9,7	40	—	0,91	0,020
СГ-3	9,1	30	22	—	0,021
СГ-5	8,15	25	16	—	0,027
СВ-30	12,1	75	65	0,81	0,021
СВ-50	13,5	105	85	0,74	0,025
СВ-60	14,4	130	—	0,65	0,028
СВ-65	14,7	160	—	0,60	0,030
СВ-75	15,8	205	—	0,55	0,034
СВ-80	16,3	220	—	—	0,037
СМ-30	—	70	—	0,60	0,022
СМ-60	—	127	85	—	0,027
СМ-70	10,4	165	117	—	0,030

Марка материала	Плотность в г/см ³	НВ в кг/мм ²	Предел прочности при сжатии в кг/мм ²	Теплопроводность в кал/(см·град·сек)	Удельное электро-сопротивление в ом·мм ² /м
СМ-80	—	180	—	—	0,032
ОМ-10	9,2	70	—	—	0,024
ОС-3	10,0	37	24	—	0,018
ОС-5	9,9	40	18	—	0,019
СКВ-50	12,5	110	—	—	0,030
СКВ-65	13,2	200	—	—	0,048
МВ-20	9,85	100	65	—	0,024
МВ-40	11,25	135	96	—	0,041
МВ-80	15,75	220	—	—	0,049
МГ-5	6,5	17	—	—	0,043

5. МАГНИТЫ

Все магнитные материалы, изготавливаемые методом порошковой металлургии, могут быть разделены на следующие четыре группы:

1. **Магнитномягкие материалы** металлического типа. В эту группу входят материалы, обладающие высокой магнитной проницаемостью: химически чистое железо, сплавы на основе железа, на основе меди и кобальта и сплавы на основе системы Pt—Co.

2. **Магнитножесткие материалы** металлокерамического типа. Сплавы на основе железа, легированного Ni, Al, Si, Cu. Для этих материалов характерна высокая магнитная индукция.

3. **Металлопластмассовые материалы**. Они представляют собой сплавы второй группы, но с добавками различных пластмасс преимущественно фенольного типа в количестве 5—10%.

4. **Ферриты** — спеченные сплавы на основе окислов железа, марганца, цинка, никеля, бария.

Различают три основных типа технологического процесса изготовления металлокерамических магнитных материалов (табл. 25, 26):

1-й тип — смешивание исходных порошков, формование и спекание. По этой схеме производят все магнитно-мягкие материалы и большинство ферритов;

2-й тип — выплавка соответствующего сплава, его измельчение в порошок, формование и спекание. Так изготавливают магнитные изделия из сплавов на основе системы Fe—Ni—Al;

25. Химический состав магнитных материалов

Материал	Химический состав в %	Материал	Химический состав в %
Магнитномягкие материалы		Магнито	50 Fe; 15 Ni; 24 Co; 8 Al
Чистое железо	100 Fe		
Пермаллой	70—72 Fe; 30—38 Ni		
Пермендюр	88—80 Fe; 12—20 Co	Альсифер	24 Ni; 41 Co; 35 C
Магнитно-жесткие материалы		Ферриты	
Альни	57—65 Fe; 17—25 Ni; 12—13,5 Al 0,4 Cu	Бариевый	86 Fe ₂ O ₃ ; 14 BaO
Альнико	53—56 Fe; 13,5—19,0 Ni; 12—23 Co; 8—10 Al; 4—12 Cu	Вектолит	44 Fe ₃ O ₄ ; 30 Fe ₂ O ₃ ; 26 Co ₂ O ₃

26. Основные свойства металлокерамических магнитов

Материал	Остаточная индукция в гс	Коэрцитивная сила в э	Удельная магнитная энергия в Эрг/см ³
Альнико . . .	3 500—6 200	500—600	3 500—9 500
Магнито . . .	9 500—12 000	550—700	29 000—41 000
Альни	5 000—7 000	250—500	28 000—36 000
Альниси . . .	4 000—4 500	700—750	42 000—43 000
Альсифер . .	3 500—4 000	350—400	4 500—5 000

3-й тип — выплавка соответствующего сплава, его измельчение в порошок, замешивание со смолой стекольного типа, формование, полимеризация.

На рис. 16 изображены типичные графики, характеризующие важнейшие свойства спеченных магнитных материалов.

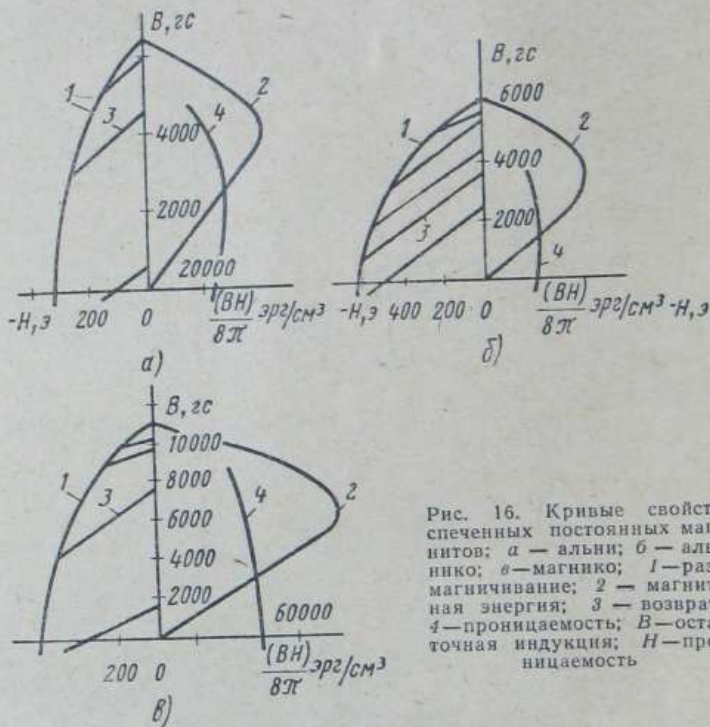


Рис. 16. Кривые свойств спеченных постоянных магнитов; а — альни; б — альнико; в — магнито; 1 — размагничивание; 2 — магнитная энергия; 3 — возврат; 4 — проницаемость; В — остаточная индукция; Н — проницаемость

6. ФИЛЬТРЫ

Металлокерамические фильтры предназначены для фильтрации жидкостей и газов с целью очистки их от взвешенных в них твердых частиц, а также для пористого охлаждения, т. е. для охлаждения различных узлов летательных аппаратов с помощью пористых элементов.

Металлокерамические фильтры различают по химическому составу, форме частиц и технологии изготовления.

По химическому составу фильтры могут быть бронзовые, никелевые, железные, из нержавеющей стали, титановые, из тугоплавких соединений, из жаростойких сталей.

По форме частиц фильтры применяются двух типов — из порошков со сферической и неравноосной формой частиц.

По методу технологии различают фильтры, изготавливаемые путем непосредственной прокатки порошков, свободной насыпкой гранул и прессованием в пресс-формах.

Большинство порошков для изготовления фильтров получают методами, описанными в гл. I.

Для получения бронзовой дробы применяется грануляция. Порошки из различных материалов, стойкие против химической и газовой коррозии, получают распылением жидкого металла (табл. 27).

27. Характеристика режимов получения гранул и порошков

Материал	Наименование способа	Среда распыления	Среда охлаждения	Температура расплава в °C	Давление среды распыления в кг/см ²	Диаметр отверстия в мм
Бронза	Грануляция	Воздух	Вода	750—800	—	В зависимости от величины дробы
Нержавеющая сталь или жаростойкие стали	Распыление расплава	Воздух, азот		1300—1400	5—6	18—25

Технологические схемы изготовления фильтров представлены на рис. 17—19.

В табл. 28 приведена характеристика некоторых материалов, применяемых для изготовления фильтров, а в табл. 29 — свойства фильтров.

Весьма важны эксплуатационные свойства фильтров, т. е. чистота фильтрации, проницаемость и стабильность.

Чистота фильтрации — минимальная величина частиц, взвешенных в жидкости или в газе, которые фильтр способен отделить.

Проницаемость — количество газа или жидкости, которое фильтр способен пропустить в единицу времени через единицу фильтрующей поверхности.

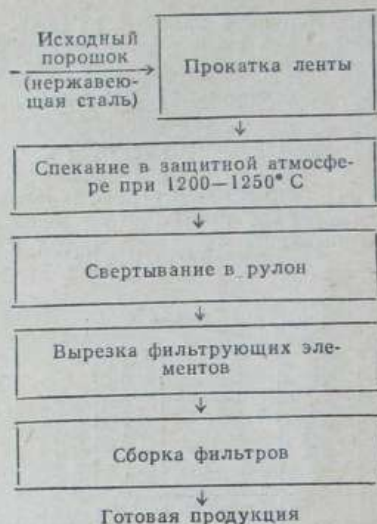


Рис. 17. Технологическая схема изготовления фильтров из ленты

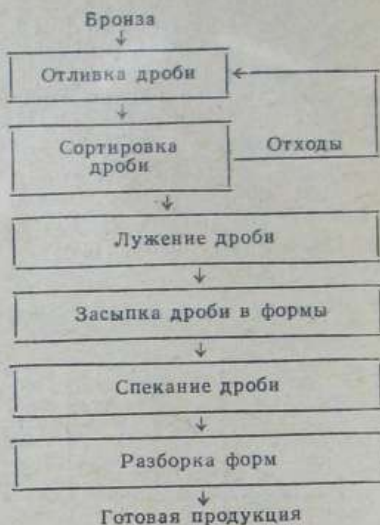


Рис. 18. Технологическая схема изготовления фильтров методом свободной насыпки



Рис. 19. Технологическая схема изготовления фильтров методом прессования

28. Методы получения и форма частиц исходных материалов

Наименование материала	Метод получения	В какой форме применяется	Средний размер частиц в мкм
Бронза	Грануляция	В виде дробы	300—600
Вольфрам	Восстановление водородом из окиси (WO_3)	В виде частиц сферической формы	1,5—3,0
Никель	Термическая диссоциация карбонила		20—50
Титан	Гидридно-кальциевый или метод гидрирования и дегидрирования	В виде частиц несферической формы	5—20
Железо	Восстановление углеродом из окалины или распыление воздухом чугуна	В виде частиц осколочной или сферической формы	10—30
Нержавеющая сталь, жаростойкие стали	Совместное восстановление окислов гидридом кальция	В виде порошка с неравноосными частицами	20—60
	Распыление расплавленного металла	В виде порошка со сферическими частицами	80—150

29. Свойства бронзовых фильтров

Наименование свойств	Фильтры из бронзы	Фильтры из нержавеющей стали
Плотность в $г/см^3$	4,3—5,2	6,2—6,5
Пористость в %	20—30	20—30
Твердость НВ в $кг/мм^2$	40—50	58—70
Предел прочности в $кг/мм^2$ при:		
изгибе	6,5—8,5	9,5—11,0
сжатия	8,5—10,5	12,0—14,0
Ударная вязкость в $кг \cdot м/см^2$	0,4—0,6	0,5—0,7
Средний размер частиц в мм	175—200	150—160
» контактов в мкм	58—39	—
Среднее количество контактов на одну частицу (в двух измерениях)	3,5—3,0	—
Теплопроводность в $кал/(см \cdot сек \cdot град)$ (20—500° С)	0,022—0,008	0,016—0,005
Коэффициент линейного расширения $\alpha \cdot 10^6$	12,8—14,6	11,5—12,0

Стабильность — способность фильтра сохранять свои свойства в процессе эксплуатации в течение определенного, достаточно длительного времени.

В табл. 30—32 приведены характеристики эксплуатационных свойств фильтров.

30. Коэффициент проницаемости k и средний размер пор фильтров из спеченной нержавеющей стали (толщина стенки 3 мм)

Средний размер пор в мкм	$k \cdot 10^8$ в см ²	Расход воздуха при перепаде 70 мм вод. ст. в м ³ (м. мин)
6,5	0,32	0,225
12,0	0,64	0,45
33,0	3,2	2,25
46,0	6,4	4,5
70,0	16,1	11,5

31. Падение давления (в Г/см²) в бронзовых фильтрах при очистке воды

Скорость фильтрации в л/мин	Толщина стенок в мм			
	1,5	2,25	3,0	3,75
15	0,35	0,30	0,50	0,78
30	0,70	0,85	1,40	1,75
45	1,0	1,6	2,10	2,80
60	1,40	2,10	2,80	3,50
75	1,70	—	—	—

32. Падение давления (в Г/см²) в бронзовых фильтрах при очистке воздуха в см вод. ст.

Скорость фильтрации в л (см ² ·сек)	Толщина стенок в мм				Скорость фильтрации в л (см ² ·сек)	Толщина стенок в мм			
	1,5	2,25	3,0	3,75		1,5	2,25	3,0	3,75
0,045	0,02	0,03	0,08	0,15	4,50	2,0	5,0	10,0	20,0
0,09	0,04	0,06	0,19	0,25	9,0	5,0	10,0	20,0	35,0
0,45	0,15	0,25	0,50	0,75	18,0	20,0	22,0	50,0	110,0
0,90	0,25	0,50	1,50	2,0	45,0	100,0	100,0	120,0	175,0
1,80	0,75	1,50	3,0	5,0					

Основным фактором, от которого зависит чистота фильтрации, является величина частиц порошка (гранул), из которого изготовлен фильтр, и, следовательно, величина пор. Чем меньше размер пор, тем выше степень чистоты фильтрации. В лучших современных фильтрах степень чистоты фильтрации равна 2 мкм и менее.

Проницаемость фильтра зависит от пористости (размера и формы пор) и от применяемого давления фильтрации. Проницаемость тем

выше, чем больше величина пор, чем больше форма частиц приближается к сфере, чем больше процент открытых пор и выше применяемое давление фильтрации.

Стабильность фильтров зависит от многих факторов, но важнейшими являются форма пор, равномерность их распределения и величина пор. Стабильность тем выше, чем однороднее гранулометрический состав исходного порошка, равномерное распределение пор и выше степень сферичности частиц порошка.

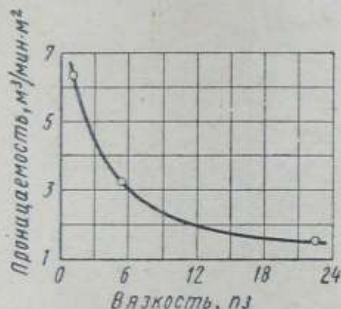


Рис. 20. Влияние давления на воздухопроницаемость фильтров по газойлю (давление прессования порошка 3 Т/см², фракция 0,2 мм)

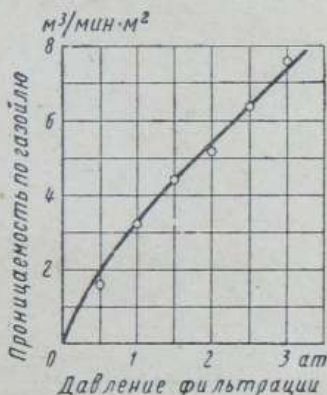


Рис. 21. Влияние вязкости топлива на проницаемость фильтров (порошок: фракция 0,2 мм; давление прессования порошка 3 Т/см²)

Проницаемость фильтра по жидкости может быть подсчитана по формуле

$$D = \frac{P_f B N_t \pi d_n^2 t}{S \eta \beta \cdot 4},$$

где P_f — давление жидкости в кг/см²; B — поверхность фильтра в см²; N_t — число сквозных пор в %; t — время в мин; d_n — средний диаметр пор в мм; S — толщина стенок фильтра в мм; η — вязкость фильтруемой среды в пз; β — величина, обратная степени сферичности порошков.

На рис. 20—22 показаны графики зависимости влияния различных факторов на проницаемость фильтров.

К числу эксплуатационных свойств фильтров относится также их коррозионная устойчивость в агрессивных средах и устойчивость против воздействия газов при высоких температурах (табл. 33, 34).

Металлокерамические фильтры применяют при различных условиях эксплуатации:

1) очистка воздуха при обычной температуре, фильтрация воды, фильтрация топлива в двигателях внутреннего сгорания — фильтры из бронзы;

2) очистка горячего воздуха, кислорода, азота; очистка отходящих газов в химической и металлургической промышленности,

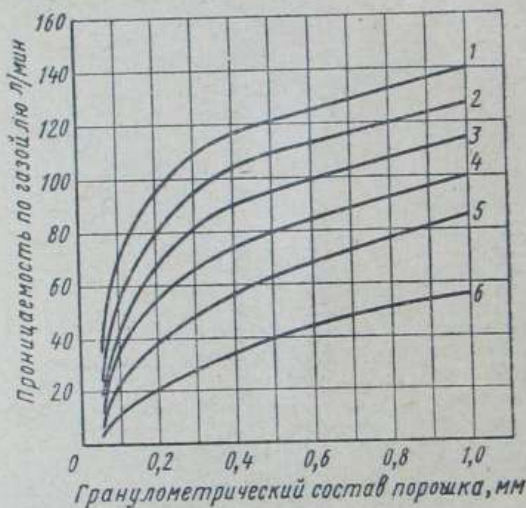


Рис. 22. Влияние гранулометрического состава порошка и давления на проницаемость по газу: 1 — $\Delta p = 3,0$ кг/см²; 2 — $\Delta p = 2,5$ кг/см²; 3 — $\Delta p = 2,0$ кг/см²; 4 — $\Delta p = 1,5$ кг/см²; 5 — $\Delta p = 1,0$ кг/см²; 6 — $\Delta p = 0,5$ кг/см²

пористое охлаждение — фильтры из нержавеющей стали, жаростойкой стали, никеля и титана;

3) очистка расплавленных металлов — фильтры из тугоплавких соединений;

4) очистка топлива, нефти — фильтры из нержавеющей стали, титана.

33. Сроки службы фильтров в различных средах

Среда	Нержавеющая сталь	Никель	Титан
Серная кислота (68—70%-ная)	До 20 лет	До 30 лет	До 30 лет
Серная кислота (10%-ная)	» 2 мес.	» 1 мес.	» 6 мес.
Топливо типа Т1	1 год	2 года	5 лет
Бензин	2 года	5 лет	5 »
Нефть	5 лет	8 »	5 »

**34. Характеристика стойкости фильтров
в различных газовых средах**

Среда	Нержавеющая сталь	Никель	Бронза	Титан
Воздух, 20° С	Очень хорошая	Очень хорошая	Очень хорошая	Очень хорошая
Воздух, 500° С	Удовлетво- рительная	Хорошая	Удовлетво- рительная	То же
Азот, 20° С	Очень хорошая	Очень хорошая	Хорошая	Хорошая
Азот, 500° С	Удовлетво- рительная	Хорошая	Удовлетво- рительная	Удовлетво- рительный
Топливо ТС-1, 1000° С	Хорошая	»	То же	Хорошая
Топливо ТС-1, 1500° С	Удовлетво- рительная	»	»	»

7. ИЗДЕЛИЯ ИЗ МАТЕРИАЛОВ ТИПА САП

Материалы на основе алюминия или его сплавов, упрочненные дисперсной окисью алюминия, называют материалами типа САП. Основной особенностью САП является их более высокая прочность и жаропрочность, чем у стандартных алюминия и его сплавов, что обусловлено наличием высокодисперсной окиси алюминия (табл. 35, 36).

**35. Содержание Al_2O_3
в материале типа САП**

Марка мате- риала	Марка исход- ного сырья	Содержа- ние Al_2O_3 в %
САП-1	АПС-1	6—9
САП-2	АПС-2	9,1—13,0
САП-3	АПС-3	13,1—18,0
САП-4	АПС-4	18,1—23,0

**36. Основные свойства материала
типа САП в деформированном
состоянии**

Температура испытания в °С	Предел прочности при растя- жении	Предел текучести	Относитель- ное удлине- ние в %
	в кг/см²		
20	30—42	18—24	4—10
250	18—26	10—19	5—5
500	6—13	4—8	1,5— 2,5

Для изготовления изделий из САП (рис. 23) применяют алюми-
ниевую пудру марок АПС, поставляемую по ГОСТу 10096—62 и
ВТУ 108—64.

Свойства изделий из САП зависят в основном от содержания
 Al_2O_3 и в меньшей степени от технологических режимов спекания.

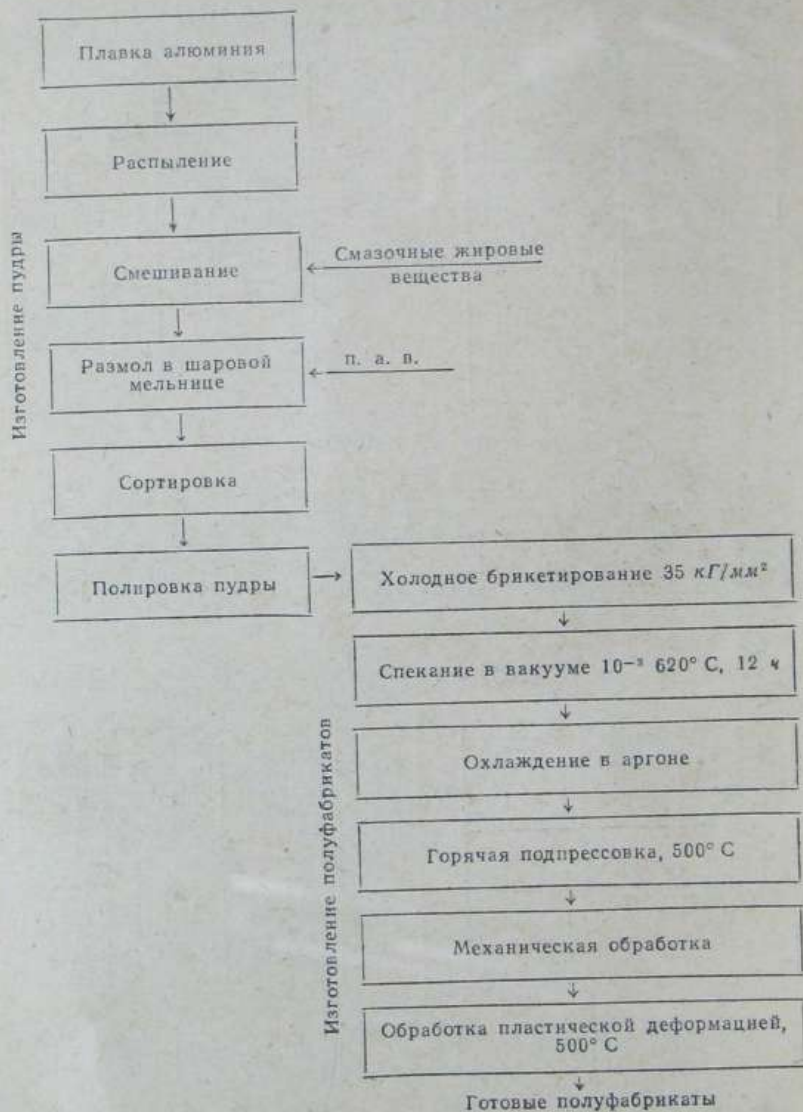


Рис. 23. Технологическая схема изготовления изделий из материала САП

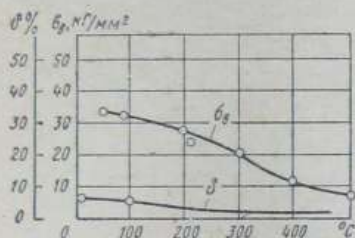


Рис. 24. Влияние кратковременных нагревов на прочность и пластичность САП

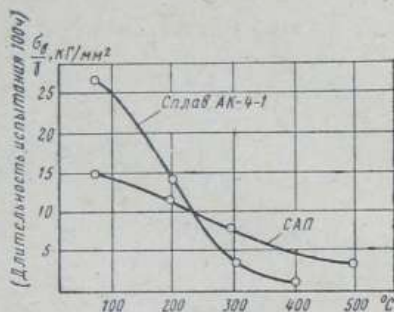


Рис. 25. Удельная длительная жаропрочность САП

На рис. 24, 25 показано влияние температуры на прочностные свойства САП.

Материалы типа САП поддаются аргоно-дуговой сварке. Сварку можно производить неплавящимися электродами (из вольфрама) или плавящимися (из сплава АМГ-6). Расход аргона при сварке составляет 6—9 л/мин, скорость сварки находится в пределах 15—20 м/ч. Рекомендуемое напряжение тока 10—15 в.

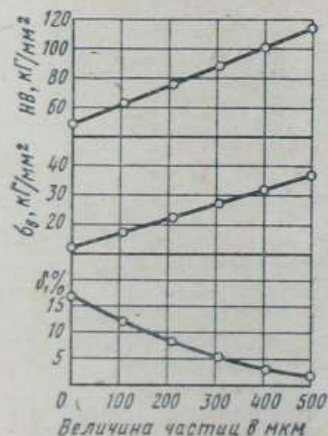


Рис. 26. Влияние дисперсности исходной алюминиевой пудры на свойства САП

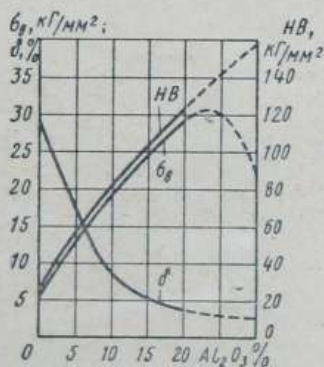


Рис. 27. Влияние количества Al_2O_3 в САП на его свойства

Сила тока при сварке листов из САП зависит от их толщины:

Толщина листа в мм	1,0	1,5	2,0	3,0
Сила тока в а	67—75	80—110	110—130	180—200

На свойства САП существенное влияние оказывают дисперсность исходной пудры и содержание окиси алюминия (рис. 26, 27).

Номенклатура основных изделий из САП приведена в табл. 37.

37. Общая характеристика номенклатуры изделий из САП

Изделия	Толщина	Ширина	Длина	Диаметр
	в мм			
Профиль разных видов	1,5—3,0	20—50	3000—5000	—
Трубы (прессованные, холоднокатаные, холодно-тянутые)	—	—	3000—4000	15—150
Лист	2—10	300—700	До 2000	—
Прутки	—	—	» 1000	10—50

8. МЕТАЛЛОКЕРАМИЧЕСКИЙ ТИТАН

Метод порошковой металлургии позволяет изготавливать различные полуфабрикаты и готовые детали из титанового порошка.

В настоящее время освоен и получил промышленное применение основной метод технологии изготовления изделия из титана, т. е. прессование исходного порошка под давлением 4—5 т/см², спекание сформованных изделий в вакууме (10^{-4} — 10^{-6} мм рт. ст) при температуре 1200—1250°С в течение 4—6 ч и последующая обработка давлением (ковка, прокатка, прессовка) или же доводочная механическая обработка.

Титановые порошки получают тремя основными способами — гидридно-кальциевыми, гидрированием-дегидрированием и электролитическим. Первый способ дает высокодисперсный порошок, обеспечивающий получение изделий с высокими показателями твердости и прочности, но недостаточно пластичные; два других способа обеспечивают получение спеченных изделий с меньшей твердостью, но с более высокой пластичностью.

Спеченный титан хорошо поддается обработке давлением и резанием.

Из порошка титана можно изготавливать брикеты плотностью 90—92% от теоретической, и после спекания такие брикеты можно прокатывать в лист или прессовать из них прутки и профиль.

Большое влияние на механические свойства спеченного титана (табл. 38) оказывают зернистость и чистота исходного металлического порошка. Прочностные свойства и пластичность с увеличением

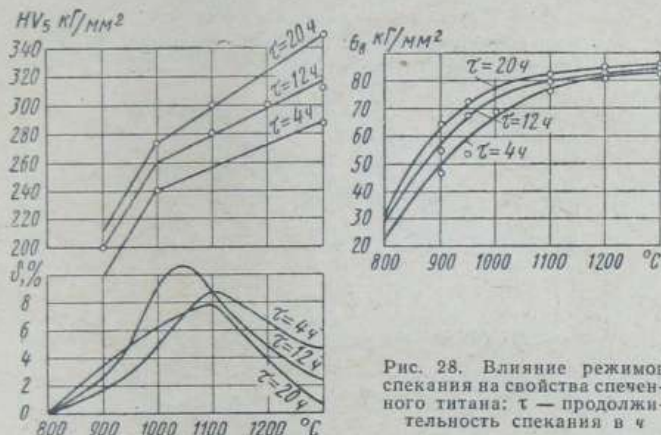


Рис. 28. Влияние режимов спекания на свойства спеченного титана: τ — продолжительность спекания в ч

38. Механические свойства спеченного титана

Наименование свойств	Тк		Тг	
	Спечен.	Деформ.	Спечен.	Деформ.
Плотность в г/см³	4,2—4,3	4,4—4,5	4,4	4,5
HV в кг/мм²	175—180	200—220	120—130	160—165
Предел прочности при растяжении в кг/мм²	58—62	80—85	45—48	50—52
Относительное удлинение в %	4—6	8—10	16—18	20—23
Ударная вязкость в кг·м·см²	3,6—4,5	4,5—5,0	8,0—9,0	9,0—10,0
Модуль упругости кг/мм²	10 500	11 000	11 000	11 500

Условные обозначения:

Тк — из порошка, полученного гидридно-кальциевым способом.
Тг — из гидридного порошка, подвергнутого электролитической очистке.

Спечен. — прошедший только спекание (1200° С, 6 ч).

Деформ. — спеченный, подвергнутый деформации на 60—70%.

степени дисперсности порошка возрастают. Существенное влияние оказывает наличие в порошке примесей кислорода и азота, а также режима спекания (рис. 28). С увеличением содержания этих примесей заметно возрастают твердость и прочность и резко падает пла-

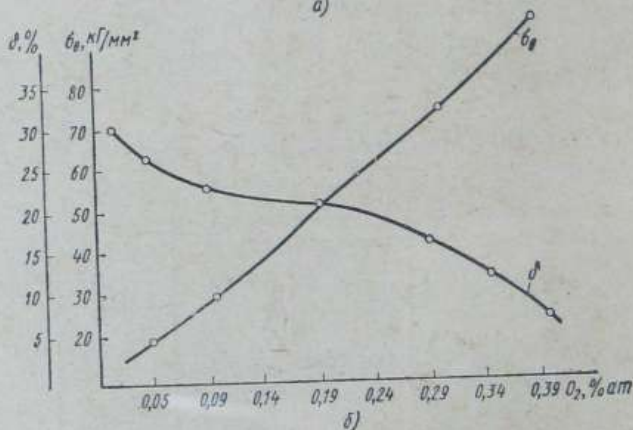
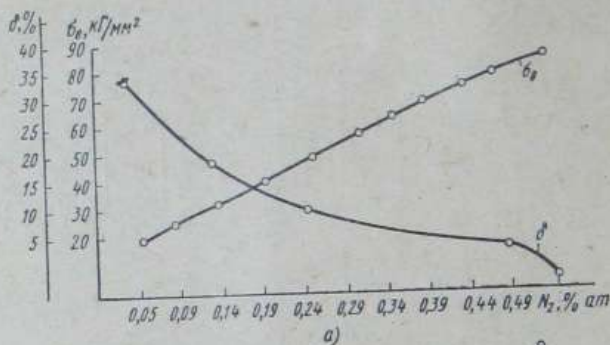


Рис. 29. Влияние содержания азота (а) и кислорода (б) на свойства спекенного титана

стичность (рис. 29). Для получения нормальных свойств спекенного титана допустимое количество примесей O_2 и N_2 не должно превышать 0,02—0,03%.

Метод порошковой металлургии позволяет изготавливать изделия не только из порошка титана, но и из титановых сплавов (рис. 30).

Режимы обработки давлением титановых сплавов, полученных методом порошковой металлургии, их термической и термомеханической обработки, те же, что и для титановых сплавов, полученных обычным металлургическим путем, т. е. вакуумной плавкой.



Рис. 30. Технологическая схема изготовления спеченных изделий из порошков сплавов

9. ТУГОПЛАВКИЕ МЕТАЛЛЫ И СПЛАВЫ НА ИХ ОСНОВЕ

Методом порошковой металлургии изготавливают изделия из тугоплавких металлов молибдена, вольфрама, хрома и сплавов на их основе (табл. 39, 40).

Порошки Mo и W изготавливают методом восстановления соответствующих окислов (MoO_3 , WO_3) водородом. Порошок хрома получают методом гидридно-кальциевого восстановления окислов хрома или же электролизом соответствующих солей.

Вольфрам повышенной пластичности получают при высокой температуре спекания (выше 2200°C) и продолжительной выдержке (более 15 ч), что приводит к очистке от примесей внедрения.

Молибден и вольфрам легко окисляются на воздухе при температуре ниже 700°C . В табл. 41 приведены наиболее широко применяемые защитные покрытия для тугоплавких металлов. Хром, цирконий и гафний при окислении образуют прочную защитную оксидную пленку.

Кроме изделий из чистых тугоплавких металлов применяют также изделия из сплавов на основе тугоплавких металлов (табл. 42, 43).

**39. Условия изготовления компактных изделий
из тугоплавких металлов методом порошковой металлургии
(степень деформации 50—70%)**

Условия технологии	Mo	W	Cr
Давление прессования исходного порошка в кг/мм ²	15—20	25—35	25—30
Среда спекания	Водород, вакуум	Водород, вакуум	Остро осушенный чистый водород
Продолжительность спекания в ч.	2—3	2—3	5—6
Температура спекания в °C	1700—1800	1900—2000	1500—1600
Температура обработки давлением в °C	760—925	980—1150	—

40. Свойства некоторых тугоплавких металлов

Наименование свойств	W	Mo
Плотность в г/см ³	19,2	10,3
НВ при 20° C	180—220	160—180
Предел прочности при растяжении в кг/мм ²	200—250	100—120
Модуль упругости в кг/мм ²	40 000	35 000
Длительная жаропрочность при 1000° C в течение 100 ч в кг/мм ²	15,6	8,2
Теплопроводность (20—500° C) в кал/(см град.сек)	0,38	0,346
Коэффициент линейного расширения (20—500° C) $\alpha \cdot 10^6$	4,5—4,8	5,8—6,2
Температура плавления α °C	3370	2567

41. Защитные покрытия для молибдена и вольфрама

Покрyтия	Химический состав	Способ нанесения	Предельная рабочая температура в °C
Эмалевые	На основе тугоплавких окислов (BeO, ZrO ₂ , Al ₂ O ₃ , Cr ₂ O ₃ и др.)	Напыление суспензии с последующим обжигом	1200—1300
Тугоплавкие соединения	На основе MoSi ₂ и других кремневых соединений	Нанесение из газовой фазы	1300—1400
Термо-диффузионные	На основе Al, Cr, Si	Химико-термическая обработка	1200—1300

42. Общая характеристика сплавов на основе тугоплавких металлов, изготавливаемых методами порошковой металлургии

Наименование сплава	Химический состав в %	Основные области применения
Уплотнительный сплав на основе ферровольфрама	W — основа; 35—40 Fe; 8—10 Ni; 4—6 Co	Уплотнения в приборах высокого вакуума
Уплотнительный сплав на основе ферромolibдена	Mo — основа; 20—25 Fe; 8—10 Ni; 2—6 Co	
«Тяжелый сплав»	W — основа; 18—20 Ni; 5—8 Cu	Для балансиров контейнеров радиоактивной техники
Жаропрочный сплав на основе хрома	3—5 V; 2—3 Si; 5—9 MgO	Для деталей различных машин, работающих при высоких температурах (1200—1400° C), нагревательные стержни электропечей
Жаропрочный сплав на основе молибдена	0—4 W 0—4 ZrO ₂	Для деталей узлов атомной техники
Псевдосплав на основе вольфрама	95—85 W; 5—15 Cu	Для деталей ракетных двигателей, контакты сварочных машин

43. Физико-механические свойства сплавов на основе тугоплавких металлов

Сплав	Плотность в г/см ³	HB	Предел прочности при разрыве в кг/мм ²	Относительное удлинение в %
«Тяжелый»	17,0—17,5	185—200	50—60	1,8—2,2
Уплотнительный ферровольфрамовый	14—12	160—180	40—50	5,5—7,0
Уплотнительный ферромolibденовый	9—8	150—160	35—45	5,5—7,0

10. МЕТАЛЛОКЕРАМИЧЕСКИЕ ТВЕРДЫЕ СПЛАВЫ И МАТЕРИАЛЫ, БЛИЗКИЕ К НИМ

Общая характеристика этих материалов приведена ниже.

Спеченные твердые сплавы — сплавы карбидов тугоплавких металлов (в основном WC, TiC), сцементированные металлами железной группы (Co, Ni). Из этих материалов изготавливают инструмент для обработки металлов и других материалов резанием и давлением, инструмент для бурения.

Сплавы на основе тугоплавких соединений — спеченные сплавы на основе преимущественно карбидов и боридов Ti, Cr, Zr, W, Mo. Из них изготавливают огнеупорные тигли и изложницы, держатели испытательных машин, нагреватели электропечей.

Керметы — сплавы металлов или металлических сплавов с тугоплавкими окислами. Предназначены для изготовления различных деталей, работающих в условиях высоких температур, а также для огнеупорных изделий.

Композиционные материалы — металлы и металлические сплавы, упрочненные металлическим или неметаллическим волокном и нитевидными кристаллами. Предназначены для изготовления изделий, работающих при высоких температурах.

В Советском Союзе в соответствии с ГОСТом 3882—67 выпускают металлокерамические твердые сплавы трех типов.

1. Вольфрамовые, состоящие из карбида вольфрама и кобальта. Сплавы этого типа предназначены в основном для обработки чугуна, цветных металлов, их сплавов и различных неметаллических материалов, а также для волочения проволоки и бурения.

С повышением содержания кобальта снижается твердость сплава и повышаются его показатели вязкости и прочности на изгиб.

Поэтому чем выше ударная нагрузка на сплав в процессе его эксплуатации, тем выше должно быть содержание кобальта в сплаве. Сплавы этого типа маркируются буквами ВК, и после букв ставится цифра, означающая содержание кобальта в сплаве. Некоторые марки сплавов этого типа имеют дополнительные буквы «В» или «М» после цифр. Буква «В» указывает на то, что сплав имеет грубую, а буква «М» — дисперсную структуру.

2. Титано-вольфрамовые, состоящие из карбида вольфрама, карбида титана и кобальта. Структура этих сплавов состоит из твердого раствора карбида вольфрама в карбиде титана, сцементированного кобальтом. Некоторые марки этого типа сплавов содержат, кроме того, избыточные зерна карбида вольфрама.

Принцип маркировки сплавов того типа заключается в следующем. Марку обозначают двумя буквами Т, что означает карбид титана, и К, относящейся к кобальту. После буквы Т ставят цифру, указывающую на содержание карбида титана в %, а после буквы К — цифру, показывающую содержание кобальта. Некоторые марки этого типа сплавов после последней цифры имеют еще и букву «В»,

что означает более грубую структуру. Сплавы этого типа применяют в основном для обработки сталей.

3. Титано-тантало-вольфрамовые, состоящие из карбидов титана, тантала, вольфрама, цементированных кобальтом. Структура представляет собой сложный твердый раствор этих карбидов, связанных кобальтом. Сплавы этого типа отличаются более высокой эксплуатационной прочностью и сопротивлением ударным воздействиям, чем сплавы второго типа.

Обозначение марок сплавов этого типа состоит из двух первых букв ТТ, цифры после них, указывающей количество карбида титана в %, буквы К, означающей кобальт, цифры после нее, указывающей на его количество. У некоторых марок в конце обозначения ставится еще буква В, указывающая на повышенную вязкость сплавов. В табл. 44 приведены свойства сплавов.

В табл. 45 и 46 приведены свойства некоторых тугоплавких соединений и кремнеземов.

44. Свойства металлокерамических твердых сплавов
(ГОСТ 3882—67)

Марка сплава	Плотность в г/см ³	Твердость HRA (не менее)	Предел прочности при изгибе в кг/мм ² (средний)	Марка сплава	Плотность в г/см ³	Твердость HRA (не менее)	Предел прочности при изгибе в кг/мм ² (средний)
Вольфрамовые сплавы				Титано-вольфрамовые сплавы			
ВК2	15,0—15,4	90,0	110	T30K4	9,5—9,8	92,0	90
ВК3	15,0—15,3	89,0	100	T15K6	11,0—11,7	90,0	115
ВКЗМ	15,0—15,3	91,0	110	T14K8	11,2—12,0	89,5	125
ВК4	14,9—15,1	89,5	135	T5K10	12,3—13,2	88,5	135
ВК4В	14,9—15,1	88,0	140	T5K12В	12,8—13,3	87,0	160
ВК6М	14,8—15,1	90,0	135				
ВК6	14,6—15,0	88,5	145				
ВК6В	14,6—15,0	87,5	150				
ВК8	14,4—14,8	87,5	160				
ВК8В	14,4—14,8	86,5	170				
ВК10	14,2—14,6	87,0	160				
ВК15	13,9—14,1	86,0	180				
ВК20	13,4—13,7	84,5	190				
ВК25	12,9—13,2	83,0	200				
				Титано-тантало-вольфрамовые сплавы			
				ТТ7К12	13,0—13,3	87,0	160
				ТТ10К8В	13,5—13,8	89,0	140

45. Характеристика свойств важнейших тугоплавких соединений

Тугоплавкое соединение	Химическая формула	Температура плавления в °C	Плотность в г/см³	Микротвердость в кг/мм²	$\sigma_{сж}$ в кг/мм²	$\sigma_{в}$ в кг/мм²
Карбид вольфрама	WC	2870	15,6	1780	360	71,0
Карбид титана	TiC	3150	4,92	3000	380	46,0
Карбид циркония	ZrC	3530	6,90	2930	167	35,5
Карбид ванадия	VC	2830	5,36	2100	—	—
Карбид тантала	TaC	3880	14,30	1590	—	29,1
Карбид ниобия	NbC	3760	7,56	2000	—	—
Борид титана	TiB₂	2980	4,52	3370	135	54,0
Борид хрома	CrB₂	2200	5,60	1800	128	21,5
Борид циркония	ZrB₂	3040	5,80	2250	159	35,0
Борид ванадия	VB	2400	4,60	2800	—	27,0
Карбид кремния	SiC	2600	3,20	3340	225	39,5
Нитрид бора	NB	3000	2,20	—	28	3,5
Нитрид кремния	SiN₄	1900	3,18	3330	28	3,4

46. Химический состав и механические свойства керметов

46. Химический состав и механические свойства керметов

Керметы	Химический состав в %	Плотность в г/см ³	НВ в кг/мм ²
Хромоалюминиевые	30—70 Cr; 70—30 Al ₂ O ₃	4,6—5,5	680—690
Хромомагниеые	30—70 Cr; 70—30 MgO	3,8—4,2	720—750
Железоалюминиевые	30—70 Fe; 70—30 Al ₂ O ₃	4,5—6,5	560—750

Керметы	$\sigma_{в}$	$\sigma_{сж}$	E	a_H в кг·м/см ²
	в кг/мм ²			
Хромоалюминиевые	50—70	380—420	18 000	0,25—0,35
Хромомагниеые	60—80	360—390	20 000	0,25—0,30
Железоалюминиевые	40—60	280—300	19 000	—

11. ТЕХНОЛОГИЯ МЕТАЛЛОКЕРАМИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ МАШИН И ПРИБОРОВ

Все выше рассмотренные материалы и изделия отличаются специфическими свойствами, и их изготовление возможно почти исключительно методами порошковой металлургии. Имеется большая группа изделий, представляющих собой различные детали машин и приборов, из обычных металлов. Изготавливать их можно не только методом порошковой металлургии, но и резанием, штамповкой, отливкой и др. Однако применение порошковой металлургии дает большой экономический эффект. Изделия такого типа можно изготавливать как из чистых порошков металлов, так и из их смесей или же из порошков готовых сплавов. Последние в большинстве случаев получают одним из следующих методов: совместным восстановлением окислов гидридом кальция; распылением расплавленного металла; вихревым размолом исходного металла.

Наиболее прогрессивным, простым и производительным методом является получение порошков сплавов распылением.

При изготовлении деталей машин и приборов методами порошковой металлургии необходимо соблюдать максимальную точность размеров и геометрию изделий с целью либо полной ликвидации механической обработки спеченных изделий, либо уменьшения ее до минимума. Это может быть достигнуто при условии минимальной усадки в процессе спекания, что, в свою очередь, достигается путем применения максимального давления прессования порошков, использования порошков, дающих максимально плотную укладку за счет соответствующего подбора гранулометрического состава, и применения операции точного калибрования спеченных изделий.

В табл. 47 приведены технологические режимы изготовления деталей машин и приборов.

Примерные характеристики основных принципов конструирования спеченных деталей приведены ниже.

Размеры деталей не ограничены для простых заготовок; для изделий сложной формы ограничиваются массой детали в пределах 5—10 кг. Возможные размеры заготовок обусловлены наличием прессового оборудования.

Отношение длины к диаметру не должно превышать 2,5—3,0. При отношении длины к диаметру > 3 обычные методы прессования непригодны. Необходимо применять либо двухстороннее прессование, либо гидростатическое.

Острые углы желательно заменять закруглениями с радиусами не менее 0,13 мм. Радиусы в местах присоединения фланцев к цилиндрической части должны быть не менее 0,25—0,30 мм.

Конусность желательна не более 5—10". Конусность по высоте изделия должна быть не более 0,008 мм на каждый миллиметр длины.

**47. Технологические режимы изготовления деталей машин
и приборов методами порошковой металлургии**

Наименование режима	Железо	Углеродистая сталь	Легированная сталь	Латунь	Бронза	Медь	Никель
Отжиг исходных порошков в °С	800	750—850	750—850	450—500	450—500	400—450	700—750
Давление прессования порошков Т/см²	5—7	6—8	6—8	3—5	3—4	2,5—3,5	4—5
Температура спекания в °С	950—1100	1000—1150	1000—1200	750—850	750—800	800—900	1050—1150
Продолжительность выдержки при спекании в ч	1—2	1—2	1,5—3,0	1,0—1,5	1,0—1,5	1,0—1,5	1,5—2,0
Давление калибрования спеченной детали в кг/мм²	6—7	7—8	7—8	4—6	4—5	3—5	5—6

Примечание. Условия термической обработки материалов на железной основе следующие: среда закалки — вода или масло; температура закалки 750—900° С; температура отпуска 350—550° С.

Точность размеров: 4—5-й класс для спеченных изделий, 2—3-й класс — для калиброванных. При диаметре 10—25 мм допуск ($\pm 0,013$)—($\pm 0,025$) мм, при диаметре > 25 мм допуски изменяются пропорционально размерам.

Чистота поверхности — шероховатость поверхности деталей, получаемых только спеканием (без калибрования) — $\nabla 6$ — $\nabla 7$, а с применением калибрования $\nabla 9$ — $\nabla 10$.

Метод порошковой металлургии позволяет получать достаточно сложные по форме изделия почти без механической обработки. Однако для этого требуется очень сложный и дорогой пресс-инструмент. Поэтому обычно бывает выгоднее применять более простой пресс-инструмент и сохранять некоторую доводочную механическую обработку.

Обозначим сумму всех затрат на изготовление определенной серии деталей:

- C_1 — при изготовлении деталей из заготовки механической обработкой;
- C_2 — при изготовлении деталей методом порошковой металлургии с применением сложных пресс-форм и без применения доводочной механической обработки;
- C_3 — при изготовлении деталей на упрощенных пресс-формах с применением доводочной обработки.

Метод порошковой металлургии целесообразно применять для изготовления деталей (в экономическом отношении) только в том случае, если имеют место неравенства:

$$C_2 < C_1; \quad C_3 < C_1.$$

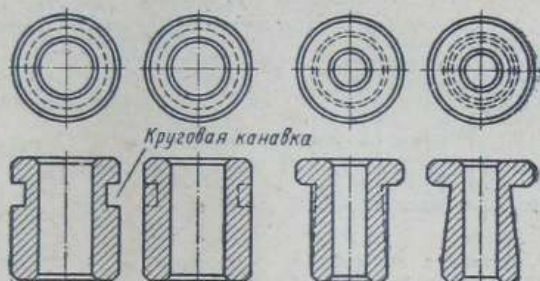


Рис. 31. Детали с радиальными проточками (последние необходимо выполнять обработкой резанием)

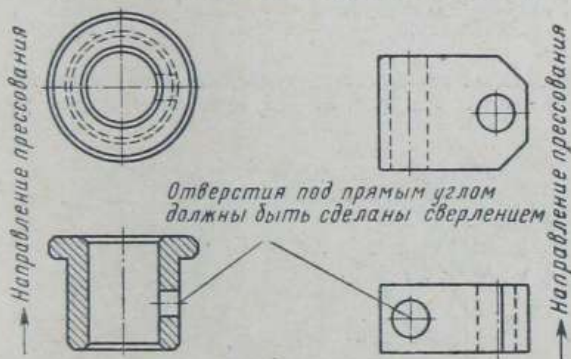


Рис. 32. Втулки с отверстиями, просверленными в спеченных деталях

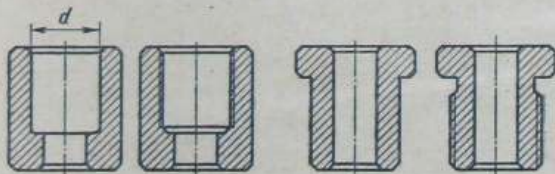


Рис. 33. Втулки сложного профиля с резьбой, нарезанной в спеченных деталях

Если $C_2 < C_1$, $C_3 \geq C_1$, то необходимо применять порошковую металлургию с использованием сложных пресс-форм и без механической обработки спеченных деталей.

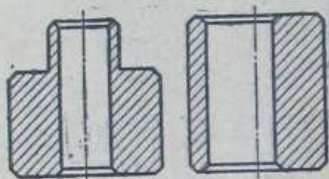
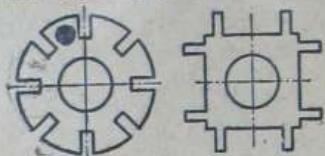
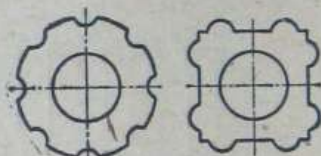


Рис. 34. Детали с внутренним диаметром, равным диаметру сверления под резьбу. Не рекомендуются для изготовления (в таких деталях при спекании зачастую получают трещины и коробления)



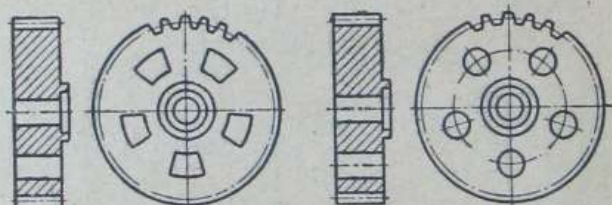
Не рекомендуются



Рекомендуются

Рис. 35. Нерекондуемые и рекомендуемые детали со шлицами

Форма деталей оказывает определенное влияние на технологию их изготовления. На рис. 31—36 приведены схемы различных деталей.



Должно быть сделано на станке

Может быть сделано прессованием

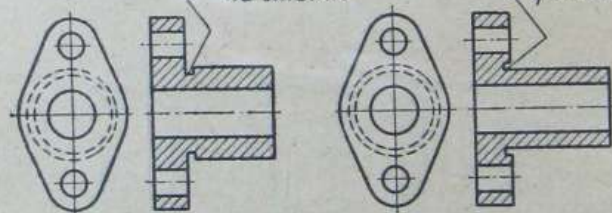


Рис. 36. Рекомендуемые изменения конструкции деталей для упрощения изготовления прессового инструмента

Коррозионная устойчивость и прочность деталей, изготовленных методами порошковой металлургии из материала на основе железного порошка, могут быть значительно улучшены путем легирования.

Различают два основных вида легирования:

- а) объемное;
- б) поверхностное.

Объемное легирование осуществляют путем введения в порошок железа соответствующих легирующих элементов (Cu, Ni, Cr, Mn и др.) также в виде порошка или же путем пропитки полуспеченных изделий жидким металлом (Cu).

Поверхностное легирование представляет собой химико-термическую обработку, и осуществляют его обычными методами. Наиболее часто применяют хромирование, силицирование и азотирование.

ГЛАВА III

МЕТОДЫ ТЕХНИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ В ПОРОШКОВОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

В порошковой металлургии применяют разнообразные методы контроля на всех технологических операциях — от сырья до готового изделия (табл. 48).

48. Общая характеристика методов технического контроля

Назначение контроля	Наименование контроля	Сущность метода	Контролируемая продукция
Анализ состава	Химический анализ	Определение химического состава с помощью методов аналитической химии или спектрального анализа	Исходное сырье; металлические порошки, брикеты, готовая продукция
Анализ зернистости порошков	Ситовой анализ	Определение приближенного зернового состава путем просева порошка по фракциям	Металлические порошки всех видов
	Микроскопический метод	Определение формы и величины частиц с помощью микроскопа	
	Определение удельной поверхности порошков	Газово-адсорбционные методы	
	Седиментационный анализ	Определение величины частиц по скорости осаждения в вязкой среде	

Назначение контроля	Наименование контроля	Сущность метода	Контролируемая продукция
Анализ объемных характеристик	Определение насыпного веса	Определение веса свободной насыпки порошков в единице объема	Металлические порошки всех видов
	Определение величины утряски	Определение минимального объема порошка, подвергнутого утряске до максимальной плотной упаковки	
Контроль технологических свойств порошков	Контроль текучести	Нахождение скорости вытекания порошков через отверстие определенного диаметра с целью установления его способности заполнить пространство	
	Контроль прессуемости	Нахождение степени усадки порошка под влиянием определенного давления	
Определение физических свойств	Определение плотности	Определение плотности расчетным путем или гидростатическим методом	Брикеты и готовые изделия
	Определение теплопроводности	Калориметрическим методом, методом В. И. Микрюкова или методом МИФИ	Спеченный материал и изделия
	Определение удельного электросопротивления	Методом В. И. Микрюкова или методом МИФИ	
	Определение магнитных характеристик	Стандартные методы определения магнитной проницаемости, коэрцитивной силы, остаточной индукции	Магнитные изделия
	Определение коэффициента линейного расширения	Стандартные методы дилатометрии	Спеченные материалы и изделия

Назначение контроля	Наименование контроля	Сущность метода	Контролируемая продукция
Исследования структуры	Исследование микроструктуры	Металлографический метод, электронномикроскопический метод	Спеченные материалы и изделия
	Исследование фазового анализа	Рентгеноструктурный метод	В основном брикеты
	Определение величины микронискажений второго рода		Металлические порошки и частично спеченные материалы
	Определение степени наклепа		
Контроль механических свойств	Определение прочности	Стандартные методы контроля величины пределов прочности при сжатии, изгибе и растяжении	Спеченные материалы и изделия, а также брикеты
	Определение пластичности	Стандартные методы контроля ударной вязкости, удлинения и сжатия	Спеченные материалы и изделия
	Определение микротвердости	Стандартные методы определения микротвердости	Спеченные материалы и порошки
Контроль антифрикционных характеристик	Определение коэффициента трения и износоустойчивости	Стандартные методы определения на машинах Амслера И-47, И-54 и др.	Антифрикционные и фрикционные материалы
	Определение термостойкости	Переменный резкий нагрев и быстрое охлаждение потоком газа или жидкостью	Жаропрочные сплавы

Назначение контроля	Наименование контроля	Сущность метода	Контролируемая продукция
Контроль антифрикционных характеристик	Определение жаропрочности	Стандартные методы контроля пределов прочности при растяжении и изгибе при высокой температуре с нагрузкой в течение 100 и 1000 ч	Жаропрочные сплавы
	Определение жаростойкости	Стандартные методы контроля сопротивляемости окислению при высокой температуре	
	Определение проницаемости	Стандартные методы контроля газопроницаемости	Пористые спеченные материалы и изделия типа фильтров

2. ХИМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ И АНАЛИЗ ОБЪЕМНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОРОШКОВ

Химический анализ исходных порошков и готовых спеченных изделий производят обычными методами. Определяют содержание в порошках основного металла и примесей.

Объемная масса порошков. Ее определяют обычно на волюмометре (рис. 37).

Порошок насыпают в воронку прибора, откуда он ссыпается по наклонным стенкам в мерник. Излишек порошка снимают линейкой и выравнивают с краями мерника. Мерник с порошком взвешивают с точностью до 0,05 г.

Объемную массу порошка определяют по формуле

$$Q_n = \frac{P_1 - P_2}{V} \text{ г/см}^3,$$

где P_1 — масса мерника со свободно насыпанным порошком; P_2 — масса мерника без порошка; V — объем мерника в см^3 .

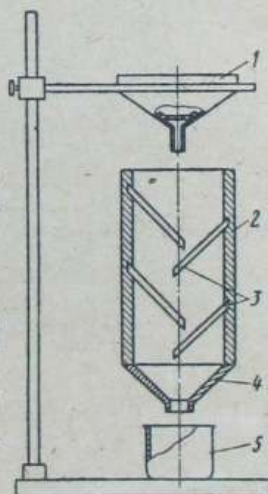


Рис. 37. Схема волюмометра: 1 — воронка с сеткой; 2 — стеклодержатель; 3 — стеклянные пластинки; 4 — нижняя воронка; 5 — мерка

Объем утряски определяют следующим образом. Навеску исследуемого порошка массой 10 г помещают в мерный цилиндр, который подвергают вибрационному воздействию до тех пор, пока порошок не займет постоянный объем. Этот объем замеряют, полученную цифру делят на 10 и получают объем утряски, отнесенный к 1 г.

8. КОНТРОЛЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОРОШКА

Контроль текучести. Текучесть порошка определяют на специальном приборе (рис. 38). Навеску порошка в 50—100 г засыпают в конусную стеклянную воронку с углом 60° . Диаметр выходного

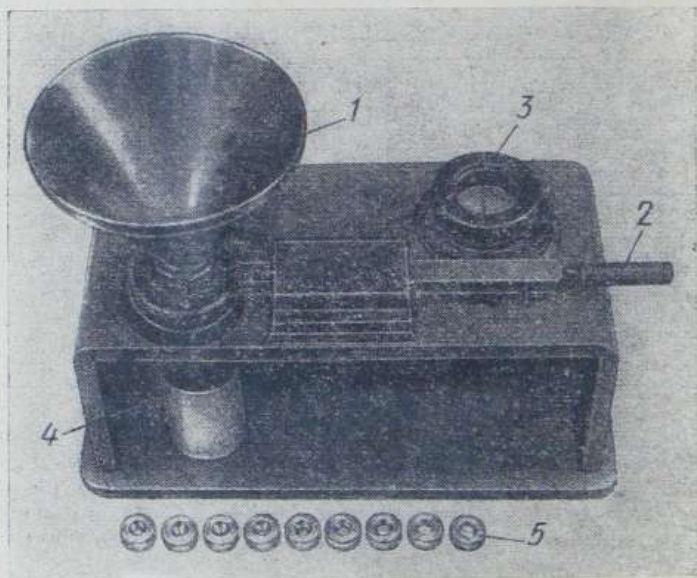


Рис. 38. Общий вид прибора для определения текучести порошка; 1 — воронка; 2 — запорная рукоятка; 3 — секундомер; 4 — мерник; 5 — сопловые вставки

отверстия равен 1—7 мм, и его выбирают в зависимости от крупности порошка. Воронку снизу закрывают специальной заслонкой, которую после наполнения воронки порцией исследуемого порошка открывают. Текучесть выражается отношением навески порошка ко времени вытекания.

Коэффициент текучести определяют по формуле

$$k = \frac{tr^n}{F},$$

где t — время вытекания порошка в сек; r — радиус отверстия в мм; n — коэффициент ($n = 2,58$); F — навеска порошка в г.

Контроль прессуемости. Берут навеску порошка в 20—30 г и прессуют образцы в виде цилиндра при различных давлениях. Затем измеряют плотность полученного брикета и его прочность путем испытания на сжатие.

4. АНАЛИЗ ЗЕРНИСТОСТИ ПОРОШКА

Определение удельной поверхности порошка. Последняя представляет собой суммарную поверхность всех частиц порошка в единице массы. Она выражается в $\text{м}^2/\text{г}$. Удельная поверхность порошков, применяемых для изготовления деталей машиностроения и приборостроения, находится в пределах 0,3—1,5 $\text{м}^2/\text{г}$. В практике порошковой металлургии наиболее широкое применение получил метод определения удельной поверхности порошка по измерению газопроницаемости.

Он заключается в измерении сопротивления, оказываемого дисперсным телом протеканию газа, который либо разрежен, либо находится под атмосферным давлением.

При измерении удельной поверхности сравнительно грубых порошков (100 мкм) метод дает удовлетворительные результаты, для мелких порошков результаты получаются значительно лучшими.

Этим методом на практике удельную поверхность порошка обычно определяют на приборе В. В. Товарова.

Взвешенную навеску порошка помещают в кювету с парафиновым дном. С помощью гидравлического аспиратора через слой порошка просасывается воздух, количество которого измеряется по объему вытекающей из аспиратора воды. Перепад давления на образце измеряют, используя манометр. Удельную поверхность определяют по формуле

$$S = \frac{140}{\rho_n (1 - \theta)} \sqrt{\frac{\theta A h p}{q \eta \Delta x}} \quad \text{см}^2/\text{г},$$

где θ — пористость в долях единицы; A — поперечное сечение кюветы в см^2 ; h — показатель манометра в см; ρ — плотность жидкости манометра в $\text{г}/\text{см}^3$; q — объемная скорость воздуха в $\text{см}^3/\text{сек}$; Δx — высота слоя порошка в кювете в см; ρ_n — объемная масса порошка в $\text{г}/\text{см}^3$; η — вязкость воздуха в лз.

Более совершенным и точным является прибор Б. В. Дерягина (рис. 39). Сущность измерения на нем заключается в следующем.

Исследуемый порошок в виде спрессованных брикетов помещают в специальную головку. Нижнюю часть головки соединяют с прибором с помощью шлифа. Измеряют расход воздуха по реометру и перепад давления на образце по манометру. Удельную поверхность рассчитывают по формуле

$$S = k \frac{\theta^2 h}{q \Delta x \rho_n},$$

где k — постоянная прибора.

Данный метод пригоден в основном для порошков с округлой формой частиц.

Для исследования порошков с другой формой частиц рекомендуется использовать метод нестационарной фильтрации разреженного газа (рис. 40).

Рис. 39. Прибор Б. В. Дерягина для определения удельной поверхности в кнудсеновском потоке газа

Исследуемый порошок помещают в кювету 14. Вся система подвергается вакуумированию, и по достижении вакуума $5 \cdot 10^{-3} - 8 \cdot 10^{-3}$ мм рт. ст. откачка прекращается (закрываются краны 4, 5 и 10). Через кран 3 воздух из сосуда 2, где он находился под давлением 0,1—10 мм рт. ст., поступает в систему и просачивается через слой исследуемого порошка. Одновременно с открытием крана 3

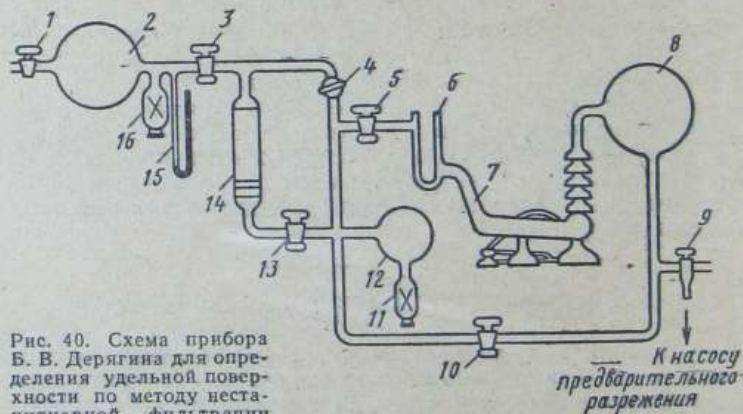


Рис. 40. Схема прибора Б. В. Дерягина для определения удельной поверхности по методу нестационарной фильтрации разреженного газа:

1, 3, 4, 5, 10 и 13 — двухходовые краны; 2 — сосуд емкостью 4 л; 6 — вымораживающая ловушка; 7 — диффузионный насос ДМН; 8 — форбаллон; 9 — трехходовой кран; 11, 16 — манометрические лампы ЛТ-2; 12 — сосуд емкостью 2 л; 14 — кювета с фильтром; 15 — ртутный вакуумметр

включается секундомер и фиксируется изменение давления со временем в баллоне 12.

В результате строят график «давление воздуха под образцом — время», из которого графически определяют время запаздывания L (сек). Удельную поверхность находят по формуле

$$S = \frac{144}{3} \cdot \frac{\theta}{1 - \theta} \cdot \frac{L}{(\Delta x)^2} \cdot \sqrt{\frac{2RT}{\pi M}},$$

где M — молекулярный вес воздуха; R — газовая постоянная; T — температура опыта в $^{\circ}\text{K}$; θ — пористость материала в долях единицы; Δx — высота слоя порошка в кювете в мм.

Определение пикнометрической плотности порошков

Пикнометр представляет собой мерный сосуд с определенным объемом (10, 25, 50 мл). Исследуемый порошок (пробу) помещают в тщательно высушенный и взвешенный пикнометр, который после заполнения порошком на две трети объема взвешивают. Оставшийся свободный объем заполняют жидкостью (вода, масло).

Пикнометрическую плотность порошка определяют по формуле

$$\rho_n = \frac{F_2 - F_1}{V - \frac{F_3 - F_2}{\rho_{ж}}},$$

где F_1 — масса пикнометра в г; F_2 — масса пикнометра с порошком в г; F_3 — масса пикнометра с порошком и жидкостью в г; V — объем пикнометра в см^3 ; $\rho_{ж}$ — плотность жидкости в $\text{г}/\text{см}^3$.

Определение гранулометрического состава

Под гранулометрическим составом порошка понимают распределение его по величине частиц. На практике применяют в основном два метода определения гранулометрического состава — ситовый анализ и микроскопический метод.

Ситовый анализ состоит в рассеве определенной навески порошка по различным ситам. Сита собирают в последовательном порядке, причем самое крупное помещают сверху, а самое тонкое внизу и под ним ставят собирательную чашку для сбора последней порции, прошедшей через самое тонкое сито. Навеску порошка (обычно 150—200 г) высыпают в самое верхнее сито и всю стопку сит подвергают встряхиванию в течение 20 мин на специальном вибрирующем приспособлении.

Применяют ситовые полотна, характеристика которых приведена в табл. 49. Порцию порошка, оставшуюся на сите, обозначают

обычно знаком (+), а порцию, прошедшую через сито, — знаком (—). Массу всей навески принимают за 100% и высчитывают в % остаток на каждом сите, а затем составляют соответствующую таблицу результатов по форме:

№ сита	Остаток в %

Микроскопический метод является более точным. Различают два варианта микроскопического метода: а) в отраженном свете и б) в проходящем свете. Микроскопический метод позволяет измерять частицы размером от 0,5 до 100 мкм.

При отраженном свете небольшое количество порошка из взятой пробы всыпают в каплю глицерина или скипидара на предметном стекле, растирают, покрывают предметным стеклом, и этот препарат рассматривают в проходящем свете оптического микроскопа при увеличении в 100—200 раз. Объектив микроскопа снабжен микрометрической сеткой с определенной ценой деления. Подсчитывают общее количество частиц, видимых в поле микроскопа, и это число принимают за 100%, а далее подсчитывают количество частиц по определенным величинам (0—1 мкм, 1—2 мкм и т. д.), и эти количества подсчитывают в процентах, а затем строятся график в координатах «Количество зерен — величина зерен».

Для большинства порошков этот график имеет максимум и аналогичен кривой распределения Гаусса.

Второй вариант отличается от описанного тем, что препарат готовят путем заливки пробы порошка серой или сплавом Вуда, или смолой, затем изготовляют шлиф и рассматривают его под микроскопом в отраженном свете.

49. Размеры стандартных сит

№ сетки	Номинальный размер ячейки (в свету) в мм	Номинальный диаметр проволоки в мм	Число меш (количество отверстий на 1 кв. дюйм)	№ сетки	Номинальный размер ячейки (в свету) в мм	Номинальный диаметр проволоки в мм	Число меш (количество отверстий на 1 кв. дюйм)
08	0,800	0,300	20	0125	0,125	0,090	120
05	0,500	0,220	30	01	0,100	0,070	140
045	0,450	0,180	40	0080	0,080	0,055	180
0315	0,315	0,140	50	0063	0,063	0,045	225
025	0,250	0,130	60	0056	0,056	0,040	275
018	0,180	0,130	80	004	0,040	0,030	325
016	0,160	0,120	100				

Примечание. Этот метод является приближенным.

Из других методов, применяемых в основном в исследовательских работах, следует назвать электронномикроскопический и седиментационный (19).

5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СПЕЧЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ

Твердость определяют обычными методами на приборе Бринеля или Роквелла.

Микротвердость. Для определения микротвердости частиц порошка пробу последнего смешивают с бакелитом или оргцементом типа АКР. Затем смесь прессуют под давлением $1-2 \text{ Т/см}^2$ в небольшие брикеты, которые подвергают далее полимеризации при температуре $130-140^\circ \text{С}$. Полученный таким образом препарат шлифуют и полируют с торца. Микротвердость определяют на таком препарате при нагрузке $20-30 \text{ г}$ на приборе ПМТ-3.

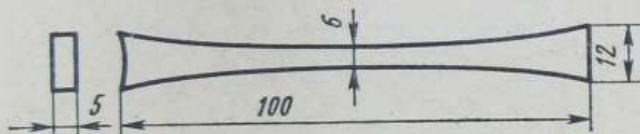


Рис. 41. Плоский образец для испытания хрупких металлокерамических материалов на разрыв

Прочность определяют по одному из следующих показателей: σ_b , $\sigma_{сж}$, $\sigma_{изг}$. Для испытания хрупких материалов на растяжение применяют плоские образцы (рис. 41), образцы могут быть изготовлены путем соответствующей механической обработки, т. е. вырезки образца из спеченной заготовки или спеченного изделия, а также путем прессования готовых образцов в соответствующей пресс-форме непосредственно из порошков. Круглые образцы гагаринского типа изготавливают только путем механической обработки.

Для испытания на изгиб применяются образцы прямоугольного сечения с размерами $5 \times 20 \times 120 \text{ мм}$ или же $5 \times 10 \times 65 \text{ мм}$, изготовленные прессованием порошков или же вырезкой из спеченных заготовок или готовых деталей.

Для испытания на сжатие применяют цилиндрические образцы с отношением $\frac{h}{d} = 1,0 \div 1,5$. Образцы изготовляют из порошков или же путем вырезания их из заготовок или готовых изделий. Торцы образцов шлифуют строго параллельно. При испытании на сжатие скорость по-прежнему не должна превышать 2 мм/мин .

Испытание на ударную вязкость производят на образцах прямоугольного сечения $10 \times 10 \times 55 \text{ мм}$ с надрезом или без надреза.

Применяют маятниковые копры с небольшим запасом энергии. Для особо хрупких материалов рекомендуется применять копры типа МК-05 с запасом энергии 0,5 кгм.

6. ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ

Исследование микроструктуры осуществляется металлографическим методом. Шлифы изготавливают обычными методами, но для особо твердых металлокерамических материалов их полируют на чугунных дисках, в которые вкраплена алмазная пыль или пыль карбида бора.

Пористость определяют на нетравленных шлифах при увеличении в 100—200 раз, а структуру на травленных при увеличении в 200—1500 раз.

Для укрепления образца в держателе производят заливку образца различными материалами (табл. 50).

В табл. 51 приведена характеристика наиболее часто применяемых травителей.

50. Характеристика материалов, применяемых для заливки шлифов в держателе

Материал	Химический состав в %					Температура плавления в °С
	Bi	Cd	Pb	Sn	S	
Сплав Вуда . . .	50	12,5	25	12,5	—	76
Сплав Розе . . .	52,5	—	31,5	16	—	96
Сплав липоверца	50	10	27	13	—	70
Сера	—	—	—	—	100	112,8
Свинец	—	—	100	—	—	327

51. Реактивы для микронисследования структуры металлов и сплавов

Реактив	Состав реактива	Назначение и особенности применения
<i>Для травления углеродистых, низко- и среднелегированных сталей и чугуна</i>		
Спиртовой раствор азотной кислоты (реактив Ржещотарского)	Азотная кислота — 1—5 мл; этиловый или метиловый спирт — 100 мл	Реактивы окрашивают перлит в темный цвет, выявляют границы зерен феррита, структуру мартенсита и продуктов отпуска. Применяют для исследования структуры углеродистых, низко- и среднелегированных сталей и чугуна, а также для выявления структуры азотированной и цементированной стали. С увеличением количества азотной кислоты возрастает скорость травления. Продолжительность травления — от нескольких секунд до минуты
Спиртовой раствор пикриновой кислоты (реактив Ижевского)	Пикриновая кислота (кристаллическая) — 4 г, этиловый спирт или метиловый — 100 мл	

Реактив	Состав реактива	Назначение и особенности применения
<i>Для травления высоколегированных сталей</i>		
Раствор азотной и соляной кислот в глицерине	Азотная кислота — 10 мл, соляная кислота — 20—30 мл, глицерин — 30 мл	Для выявления структуры высокохромистой, быстрорежущей и аустенитной марганцовистой стали в закаленном состоянии. Для лучшего выявления рекомендуется попеременное травление и полирование
Царская водка	Соляная кислота — 3 части, азотная кислота — 1 часть	Для выявления структуры нержавеющих сталей и сплавов. Перед употреблением реактив надо выдержать 20—30 ч
Раствор щавелевой кислоты	Щавелевая кислота — 10 г, вода — 100 мл	Для выявления карбидов и основной структуры аустенитной нержавеющей стали и никелевых сплавов. Травление производится электролитическим методом; анодом является шлиф, в катоде — пластинка нержавеющей стали. Напряжение 3—6 а
<i>Для выявления карбидов, фосфидов, вольфрамов</i>		
Щелочной раствор пикрата натрия	Пикриновая кислота — 2 г, едкий натр — 25 г, вода — 100 мл	Для выявления цементита, который окрашивается в темный цвет. Карбиды хрома, вольфрама не окрашиваются. Реактив применяют в кипящем состоянии
Щелочной раствор красной кровяной соли	Красная кровяная соль — 10 г, едкий кали — 10 г, вода — 100 мл	Применяют в горячем состоянии для выявления карбидов, содержащих хром, вольфрамов в быстрорежущей и других сталях. Этот же реактив выявляет фосфиды в фосфидной эвтектике. Фосфид окрашивается в темный цвет
<i>Для выявления линий напряжений</i>		
Солянокислый раствор хлорной меди	Соляная кислота — 40 мл, хлорная медь — 5 г, вода — 30 мл, этиловый спирт — 25 мл	Для выявления напряжений и дисперсионного твердения стали. Реактив применяют без подогрева. Время травления — до 10 сек

Реактив	Состав реактива	Назначение и особенности применения
<i>Реактивы для травления меди и медных сплавов</i>		
Солянокислый раствор хлорного железа	а) Хлорное железозо — 10 г, соляная кислота — 25 мл, вода — 100 мл б) Хлорное железозо — 5 г, соляная кислота — 10 мл, вода — 100 мл	Для выявления структуры меди, латуни, оловянистой и алюминиевой бронзы, сплавов висмут — сурьма и др. В латунях β -фаза окрашивается в темный цвет. Применяется также для выявления макростроения
Аммиачный раствор двойной соли хлористой меди и хлористого аммония	Двойная соль — 10 г, вода — 100 мл, аммиак — до получения нейтральной или щелочной реакции	Для выявления структуры меди и ее сплавов и, в частности, двухфазных латуней β -фаза окрашивается в темный цвет
Раствор персульфата (надсернокислого аммония)	Персульфат аммония — 10 г, вода — 90 мл	Для выявления структуры меди, латуни, оловянистой бронзы, монель-металла. Этот реактив также дает различное окрашивание зерен феррита в стали
Аммиак и перекись водорода	Водный раствор аммиака — 5 частей, вода (не всегда) — 5 частей, перекись водорода (30%-ная) — 2—5 частей	Для выявления структуры латуней и бронз. Иногда для получения более контрастной структуры после травления в этом реактиве применяется и травление в солянокислом растворе хлорного железа. Это особенно целесообразно для алюминиевой бронзы. Аммиак и перекись водорода применяют в свежеприготовленном виде
<i>Реактивы для травления алюминиевых сплавов</i>		
Плавиковая кислота	Плавиковая кислота (48%-ная) — 0,5 мл, вода — 99,5 мл	Для выявления структуры дюралюминия и литых сплавов на алюминиевой основе
Едкий натр	Водный раствор (1—10%)	То же
Раствор кислот	Концентрированная плавиковая кислота — 1,0 мл, соляная кислота — 1,5 мл, азотная кислота — 2,5 мл, вода — 95,0 мл	•

7. КОНТРОЛЬ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ

Теплопроводность определяют калориметрическим методом, методом В. И. Микрюкова и на установке МИФИ.

Калориметрический метод основан на измерении количества тепла, прошедшего через образец в единицу времени.

Коэффициент теплопроводности определяют по формуле

$$k = \frac{9,8Ql}{(t_n - t_k)\tau S},$$

где 9,8 — теплоемкость ртути в кал г/град; Q — количество тепла, переданного калориметру в кал; l — длина образца в мм; $t_n - t_k$ — средняя разность температур нагревателя и калориметра в °C; τ — время опыта в мин; S — поперечное сечение образца в мм².

Метод В. И. Микрюкова позволяет измерять теплопроводность на сравнительно малых образцах, и в этом его преимущество.

Измерение производится в вакууме. Прибор (рис. 42) устанавливают на мраморной плите толщиной 30 мм, площадью 500×500 мм, и установку прикрывают притертым к плите колпаком диаметром 320 мм и высотой 420 мм. Под колпаком удается создать с помощью паромасляного или парортутного диффузионного насоса разрежение до 20^{-5} мм рт. ст.

Теплопроводность по методу В. И. Микрюкова определяют по формуле

$$\gamma = \frac{U^2}{8\rho \Delta t^2},$$

где U — разность потенциалов на концах испытуемого образца в в; ρ — удельное электросопротивление испытуемого материала

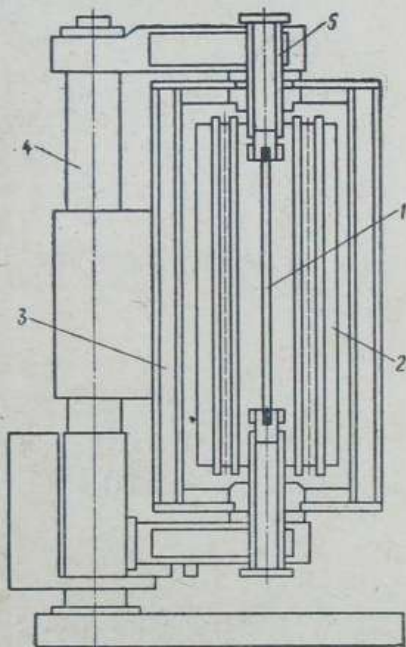


Рис. 42. Схема прибора В. И. Микрюкова: 1—образец; 2—печь; 3—экран печи; 4—стойка; 5—водоохлаждаемые зажимы для образца.

в $^{\circ}\text{C}$; Δt — разность в температурах середины и конца стержня в $^{\circ}\text{C}$.

По этому же методу можно определить и электропроводность:

$$\chi = \frac{l}{s} \cdot \frac{I}{U},$$

где s — поперечное сечение образца в мм^2 ; l — длина рабочего участка образца в мм ; U — падение напряжения на рабочем участке; I — сила тока.

Для измерения коэффициента линейного расширения металлокерамики используют в основном два метода:

Индикаторный. Изменение длины образца определяют, замеряя расстояние между метками при различных температурах.

Дифференциальный. Метод основан на измерении разности в расширении исследуемого образца и эталона с помощью оптической системы.

Плотность спрессованных брикетов и спеченных образцов определяют расчетным путем по формуле

$$\rho = \frac{U}{q},$$

где V — объем образца; q — его масса.

В случае необходимости контроля плотности готового изделия применяют гидростатический метод определения плотности, сущность которого заключается в следующем.

Изделие (или образец) взвешивают на воздухе, а затем на аналитических весах в воде. Плотность определяют по формуле

$$\rho = \frac{Q_1}{(Q_1 - Q_2) \rho_0 (1 + \alpha t)},$$

где Q_1 — масса изделия на воздухе в г; Q_2 — масса изделия в жидкости в г; ρ_0 — плотность жидкости при комнатной температуре в $\text{г}/\text{см}^3$; α — коэффициент объемного расширения материала изделия; t — температура жидкости в $^{\circ}\text{C}$.

Магнитные свойства

Наиболее часто контролируют коэрцитивную силу (H_c).

Магнитномягкие материалы имеют $H_c = 1 \div 10$ э, а магнитножесткие $H_c = 10 \div 100$ э.

Коэрцитивная сила весьма чувствительна к структурным изменениям и к дисперсности фазовых составляющих.

Величина коэрцитивной силы

$$H_c = Ak \text{ э},$$

где A — сила тока, затраченная на размагничивание образца, в а; k — постоянная коэрцитиметра (указывается в паспорте прибора).

8. КОНТРОЛЬ АНТИФРИКЦИОННЫХ И ФРИКЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

Применение металлокерамических антифрикционных и фрикционных материалов в значительной степени обусловлено их изнosoустойчивостью и коэффициентом трения.

Для определения этих показателей наиболее широкое применение получили машины ММ-1М и ИМ-58.

Машина ММ-1М предназначена для испытания антифрикционных и фрикционных материалов в условиях принудительной смазки. Образцы для контроля (рис. 43) изготавливают из стали Х12М. Чистота рабочей поверхности образцов должна соответствовать 11-му классу.

В качестве смазки можно использовать веретенное масло и авиационное топливо. Смазочные жидкости подаются в зону трения каплями или непрерывным потоком. Температура смазочной жидкости составляет 20—22° С, иногда ее подогревают до 60—80° С.

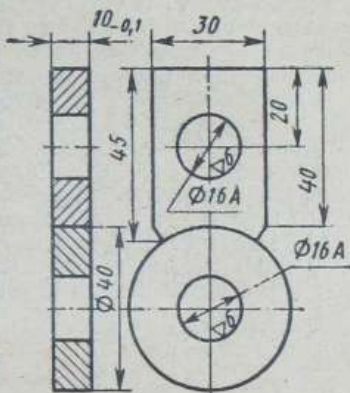


Рис. 43. Образец, применяемый для испытания на машине ММ-1М

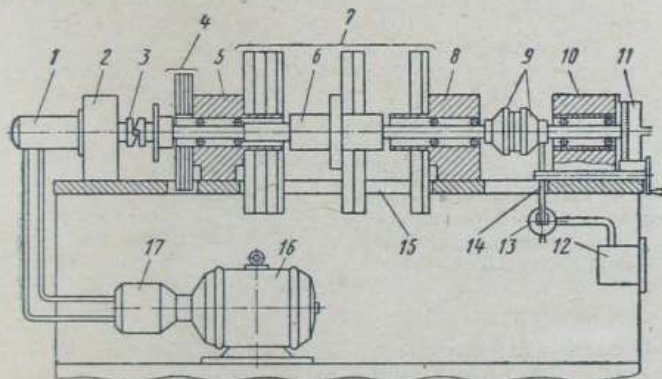


Рис. 44. Принципиальная схема машины ИМ-58: 1 — гидродвигатель; 2 — редуктор; 3 — полумуфта сцепления; 4 — маховики малого набора; 5 и 8 — подшипниковые опоры; 6 — вал; 7 — маховики большого набора; 9 — держатель образца; 10 — подвижный исток бабки; 11 — тормозной цилиндр; 12 — самопишущий прибор; 13 — гидравлическая насадка; 14 — тормозной рычаг; 15 — металлическая плита; 16 — электродвигатель; 17 — гидронасос

Притирка образца производится в течение 1,5—2,0 ч. В процессе испытания нагрузку увеличивают на 10 кг через каждые 10 мин. Испытание ведется до схватывания образца.

Машина ИМ-58 предназначена для испытания фрикционных материалов в условиях сухого трения (рис. 44). Эта машина позволяет проводить испытания фрикционных пар при различных тормозных режимах и испытывать их на фрикционную теплостойкость. Для испытания применяются образцы в виде втулок.

Скорость вращения рабочего диска в этой машине может изменяться в пределах 0,2—20 м/сек.

Давление на испытуемые образцы создается сжатым воздухом, поступающим из баллона. Сила трения замеряется индукционным датчиком и записывается на электронный потенциометр.

Температура трения замеряется хромель-алюминиевой термопарой, заделанной в образец на глубине 1 мм от поверхности трения, и записывается на электронный потенциометр. Удельное давление на образец в этой машине может быть до 50 кг/см².

ГЛАВА IV

РАСЧЕТ И КОНСТРУИРОВАНИЕ ПРЕСС-ФОРМ

1. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОРОШКОВ И ПРЕССОВОК

При конструировании и расчете исполнительных размеров пресс-форм основными данными, характеризующими технологические свойства порошков и прессовок, являются: а) объемная масса порошков; б) плотность компактного материала; в) усадка при спекании; г) упругое последствие.

Объемная масса, или масса единицы объема свободного насыпного порошка, характеризует плотность укладки частиц порошка и определяется плотностью металла, формой, размером и поверхностью частиц.

Этот показатель необходим для расчета высоты загрузочной камеры.

Объемная масса в г/см наиболее распространенных порошков приведена ниже.

Железный	1,8—3,0	Кобальтовый	1,8—2,2
Медный	1,5—1,8	Вольфрамовый	4,5—5,5
Оловянный	3,2—3,8	Титановый	1,5—1,8
Никелевый	1,8—2,0	Молибденовый	3,3—3,5
Свинцовый	5,4—5,7	Нержавеющая сталь . . .	1,5—2,0
Графитовый	0,3—0,5	Хром	1,8—2,4

Плотность порошка или смесей порошков необходима для расчета количества (дозы) порошка, засыпаемого в загрузочную камеру.

Расчетную плотность ρ в г/см³ порошковой смеси определяют по формуле

$$\rho = \frac{\rho_1 \rho_2 \rho_3 \dots \rho_n \cdot 100}{\rho_1 \rho_1 \rho_3 \dots \rho_n + \rho_2 \rho_1 \rho_2 \dots \rho_n + \rho_n \rho_1 \rho_2 \dots \rho_{n-1}}$$

где $\rho_1, \dots, \rho_n$ — плотность компонентов, входящих в смесь, в г/см³; $p_1, \dots, p_n$ — весовое процентное содержание каждого компонента, входящего в смесь.

Плотность часто применяемых компактных смесей приведена в табл. 52, 53.

Плотности композиций определены из расчета: Си — 8,8 г/см³; Sn — 7,29 г/см³; С — 2,2 г/см³.

**52. Плотности некоторых порошковых смесей композиции
Fe—Cu—C**

Содержа- ние угле- рода в %	Cu в %								
	0	1	2	3	4	5	7	10	20
0	7,8	7,809	7,817	7,826	7,836	7,843	7,826	7,889	7,981
0,5	7,701	7,710	7,719	7,727	7,736	7,745	7,763	7,789	7,878
0,83	7,640	7,647	7,655	7,664	7,672	7,681	7,697	7,723	7,812
1,0	7,606	7,614	7,623	7,632	7,638	7,648	7,666	7,691	7,778
2	7,422	7,430	7,438	7,446	7,454	7,462	7,478	7,503	7,585
3	7,246	7,254	7,262	7,269	7,277	7,285	7,300	7,324	7,403
5	6,919	6,926	6,933	6,940	6,947	6,954	6,968	6,989	7,061

Усадка характеризует величину изменения размеров прессовок при спекании.

Величину усадки учитывают при расчете размеров рабочих деталей пресс-формы (со знаком «плюс» — при уменьшении размеров прессовок и со знаком «минус» — при увеличении размеров).

53. Плотности порошковых смесей.

Содер- жание углерода в %	Олово в %	
	5	10
1	8,459	8,377
2	8,221	8,143
3	7,997	7,969
4	7,785	7,715
5	7,583	7,512

Например, при спекании прессовок из железного порошка с содержанием графита до 2,5% линейные размеры уменьшаются на 1—2%, а при спекании прессовок из смеси железа и чугуна — увеличиваются примерно на 2—3%.

Упругое последствие. При прессовании изделий возникают внутренние напряжения, под действием которых после снятия внешнего давления прессовка стремится к всестороннему расширению; после выталкивания прессовка под действием этих напряжений расширяется. Это явление называют упругим последствием.

Благодаря упругому последствию прессовку со сквозным отверстием (втулку) после выталкивания легко снять со стержня вручную. Упругое последствие в продольном направлении (направлении прессования) примерно в 2—3 раза больше, чем в поперечном; под влиянием упругого последствия прессовка увеличивается на 0,15—0,3% по диаметру и до 0,5% по высоте. Величина упругого последствия прессовок с большой плотностью (90% и более) достигает 1% в поперечном и 5% в продольном направлении.

При прессовании изделий матрица под действием поперечного давления упруго деформируется, а прессуемое изделие находится

под всесторонним сжатием. Силы упругого последействия и силы сжатия изделия, направленные в противоположные стороны, являются причиной появления поперечных трещин в прессовке при выталкивании.

Для предотвращения появления поперечных трещин в прессовке рекомендуется предусматривать расширение в верхней части матрицы с уклоном $10-30^\circ$ и высотой конической части $5-30$ мм в зависимости от размеров полости матрицы. Коническая поверхность должна иметь скругление радиусом $1-1,5$ мм.

2. СПОСОБЫ ПРЕССОВАНИЯ

Равномерная плотность прессовки является одним из основных показателей ее качества. В прессовках с неравномерной плотностью возникают во время спекания большие внутренние напряжения, вызывающие коробления и трещины в готовых изделиях и их разрушение из-за недостаточной прочности.

Основным требованием при конструировании пресс-форм является обеспечение получения равномерной плотности во всех частях прессовки. Это требование легко выполнимо, если прессовка не имеет переходов по высоте.

В прессовках, имеющих переходы по высоте, равномерная плотность может быть получена при условии сохранения одинакового коэффициента сжатия порошка в сечениях, параллельных направлению прессования. Коэффициентом сжатия называют отношение высоты насыпного порошка к высоте получаемой прессовки.

При прессовании в результате трения между частицами порошка и трения частиц порошка о стенки матрицы происходит изменение давления по высоте прессовки, вследствие чего плотность прессовки получается различной в зависимости от расстояния до торца. Для получения более равномерной плотности важное значение имеет выбор способа прессования.

При одностороннем прессовании плотность ρ прессовки уменьшается по высоте в направлении прессования (рис. 45).

Одностороннее прессование применяют, если отношение высоты к диаметру изделия или к толщине стенки s не более 3.

При двухстороннем прессовании наименьшая плотность наблюдается в центральной части прессовки (рис. 46).

Двухстороннее прессование применяется, если $1 < \frac{h}{d} < 5$ или $3 < \frac{h}{s} < 17$, где h — высота изделия; d — диаметр; s — толщина стенки.

При прессовании изделий сложной формы равномерная плотность прессовки может быть достигнута правильным выбором способа прессования:

изделий с фланцами — путем применения двухстороннего прессования (рис. 47);

изделий сложной формы — путем применения нескольких, самостоятельно перемещающихся пуансонов вместо одного или двух

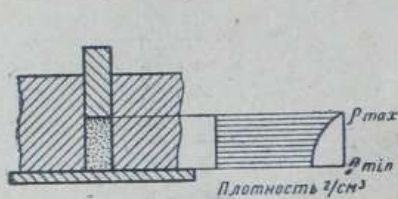


Рис. 45. Схема одностороннего прессования

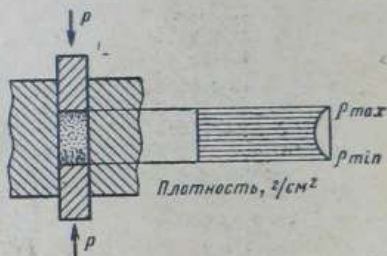


Рис. 46. Схема двухстороннего прессования

целых или путем прессования в две операции — до и после спекания (рис. 48).

Внутренний нижний пуансон прессует торец изделия, а внешний нижний пуансон прессует фланец при одновременном движении

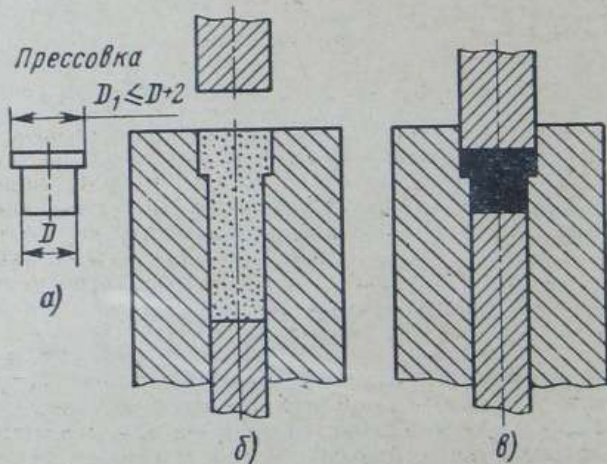


Рис. 47. Схема прессования различных изделий: а — изделие с фланцем, высота которого не превышает 25% общей высоты; б — момент засыпки; в — момент окончания прессования

верхнего пуансона вниз. Выталкивание изделия из матрицы производится обоими нижними пуансонами.

Этот способ прессования исключает повреждение фланца при выталкивании.

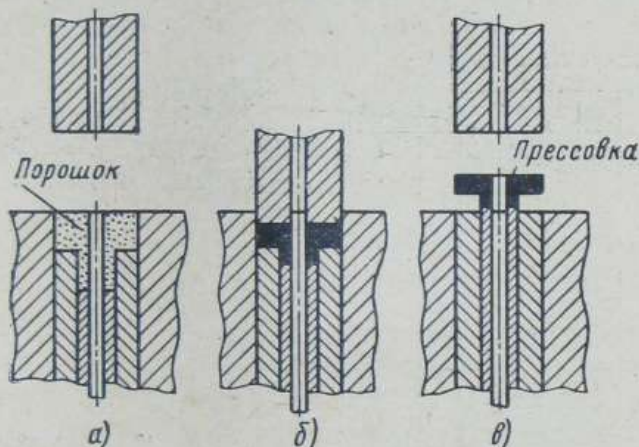


Рис. 48. Схема прессования изделия с широким фланцем и небольшой высотой: а — момент засыпки; б — момент сжатия; в — момент выталкивания

3. КЛАССИФИКАЦИЯ И РАСЧЕТ ПРЕСС-ФОРМ

Пресс-формы для изделий из металлических порошков классифицируют по следующим признакам: а) по связи с прессом; б) по числу оформляющих гнезд; в) по технологическому назначению.

По связи с прессом пресс-формы разделяют на съемные и стационарные. Съемные пресс-формы не закрепляют на прессе; после формирования изделия их снимают с пресса для разъема, извлечения детали и очередной загрузки порошка. Съемные пресс-формы применяют в опытно и мелкосерийном производстве.

Стационарные пресс-формы закрепляют на прессе. Их подразделяют на полуавтоматические и автоматические. Стационарные пресс-формы применяют в крупносерийном и массовом производстве.

По числу оформляющих гнезд пресс-формы разделяются на одногнездные и многогнездные. В одногнездных пресс-формах за одну операцию прессуется одно изделие. В многогнездных пресс-формах за одну операцию прессуется несколько изделий.

Применение многогнездных пресс-форм повышает коэффициент использования пресса и при большом размере партии снижает себестоимость изделий.

По технологическому назначению пресс-формы разделяют на прессовочные и калибровочные. Прессовочные пресс-формы предназначены для получения прессовок в пределах заданных размеров с учетом последующих операций (спекания, калибровки и др.). Калибровочные пресс-формы предназначены для получения изделий в пределах заданных размеров или для повышения плотности путем холодного обжата.

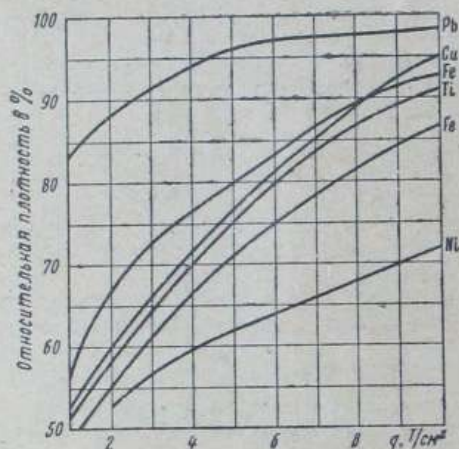


Рис. 49. Зависимость значения удельного усилия прессования от типа материала

Для конструирования пресс-форм необходимы следующие данные: чертеж прессовки, выполненный с учетом технологических требований;

состав порошка;

усилие прессования;

характеристика пресса (тип, усилие);

расчет размеров рабочей полости, составленный с учетом технологических свойств порошков;

коэффициент сжатия порошка;

схема прессования;

количество деталей в партии.

Расчет усилия прессования. Усилие прессования

$$P = qFn,$$

где q — удельное давление прессования в Т/см (рис. 49); F — площадь прессования, равная площади горизонтальной проекции изделия, в см ; n — число оформляющих гнезд в пресс-форме.

Усилие выталкивания прессовки составляет примерно 25—35% усилия прессования.

Расчет высоты прессовки. Высота прессовки зависит от допуска на высоту изделия, усадки при спекании, упругого последействия и припуска на калибровку.

Минимальный размер высоты прессовки

$$h_{np \min} = h_{\min} - l_h + \varepsilon_h + n_k,$$

где $h_{\min}$ — минимальная высота готового изделия в мм; l_h — величина упругого последействия в мм; ε_h — усадка при спекании по высоте в мм; n_k — припуск на калибровку в мм.

Если колебания усадки укладываются в пределах допуска изделия, то высота прессовки определяется как средняя величина между наибольшим и наименьшим размерами:

$$h_{np} = \frac{h_{np \max} + h_{np \min}}{2}.$$

Если же колебания усадки превышают пределы допуска изделия, т. е. $\varepsilon_h > h_{np \max} - h_{np \min}$, то рекомендуется принять высоту прессовки равной максимальной ($h_{np \max}$).

Расчет высоты загрузочной камеры. Высота H загрузочной камеры, т. е. части матрицы, засыпаемой порошком, определяется по формуле

$$H = h_{np} \kappa,$$

где h_{np} — высота прессовки в мм; κ — коэффициент высоты засыпки;

$$\kappa = \frac{\rho_n}{\rho_{\text{нас}}},$$

ρ_n — плотность прессовки в г/см³, определяемая по формуле

$$\rho_n = \rho \frac{(100 - x)}{100},$$

где ρ — плотность компактного материала в г/см³; x — пористость прессовки в %; $\rho_{\text{нас}}$ — объемная масса смеси порошков в г/см³.

Расчет размеров рабочей полости матрицы. Размеры рабочей полости матрицы зависят от наружных размеров изделия, упругого последействия, усадки при спекании и допускаемой величины износа матрицы.

Номинальный диаметр полости матрицы

$$D = D_{\min} - l_D \pm \varepsilon_D + n_k,$$

где $D_{\min}$ — минимальный диаметр готового изделия в мм; l_D — величина упругого последействия в мм; ε_D — усадка при спекании по диаметру в мм; n_k — припуск на калибровку в мм.

Допуск на износ матрицы определяют с учетом допуска изделия по наружному размеру.

Расчет размеров стержня. Размеры стержня зависят от внутренних размеров изделия, упругого последействия, усадки при спекании и допускаемой величины износа.

Номинальный диаметр стержня

$$d = d_{\max} - l_D \pm \epsilon_d - n_k,$$

где $d_{\max}$ — максимальный размер отверстия детали в мм; l_D — величина упругого последействия в мм; ϵ_d — усадка при спекании по диаметру в мм; n_k — припуск на калибровку в мм.

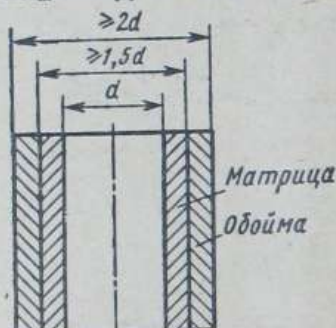


Рис. 50. Рекомендуемые соотношения размеров матрицы

54. Размеры зазоров между рабочими деталями в мкм

Номинальные диаметры в мм	Зазоры	
	max	min
От 1 до 3	19	3
3—6	25	4
6—10	31	5
10—18	37	6
18—30	45	8
30—50	54	10
50—80	62	12

Допуск на износ стержня определяют с учетом допуска на внутренний размер изделия.

Допуски на размеры рабочих деталей пресс-форм. Зазоры между матрицей и пуансоном, а также пуансоном и стержнем пресс-форм должны быть выбраны с условием, чтобы через зазоры не проникали частицы порошка и свободно выходил воздух.

Для прессования изделий из порошков на железной и медной основе рекомендуется применять усадки с зазорами по табл. 54.

Величину зазора между рабочими деталями пресс-формы следует принимать с учетом гранулометрического состава (крупности) порошка.

Расчет матриц на прочность заключается в определении толщины стенки, так как другие ее параметры находят или в зависимости от размера прессуемого изделия, или по конструктивным соображениям.

Точный расчет действующих в стенке матрицы напряжений весьма сложный, поэтому в практике пользуются эмпирическим правилом: толщина стенки целой цилиндрической матрицы должна быть не менее радиуса рабочей полости (рис. 50).

Недостаточная жесткость матрицы часто является причиной появления поперечных трещин в прессовке во время выталкивания.

При больших удельных усилиях прессования применяют составные матрицы в целях повышения жесткости, а также обеспечения техники безопасности.

Матрицы изготовляют из легированных инструментальных сталей или твердых сплавов, а обоймы из мягких конструкционных сталей. Соединение матрицы и обоймы осуществляется по горячей посадке (ОСТ 1042). Шлифование рабочей полости матрицы производится после ее сборки. Обойма, посаженная на матрицу в горячем состоянии, увеличивает ее прочность и размерную устойчивость.

4. КОНСТРУИРОВАНИЕ ПРЕСС-ФОРМ

Матрицы и обоймы. Матрица должна в точности соответствовать конфигурации изделия, кроме того, полость матрицы образует загрузочную камеру пресс-формы.

На рис. 51 приведена схема полуавтоматической одногнездовой пресс-формы.

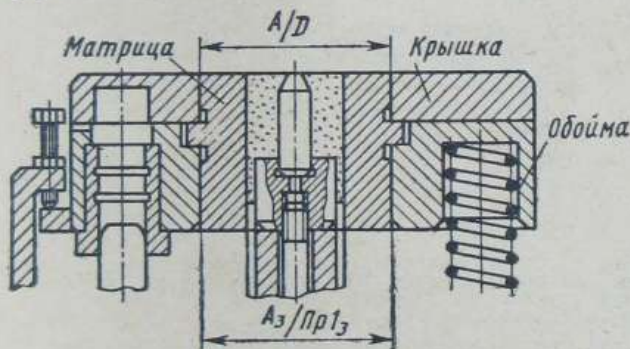


Рис. 51. Схема конструкции обоймы полуавтоматической одногнездовой пресс-формы

Матрицы для прессования изделий сложной формы изготовляют сборными. Сборные матрицы, состоящие из нескольких секций, запрессовываются в кольца или непосредственно в обойму (рис. 52).

В целях уменьшения износа рабочих деталей пресс-формы и снижения усилия выталкивания применяют смазку (обычно автол АКл-5).

Пуансоны предназначены для передачи давления на порошок и оформления торца или внутреннего контура прессовки.

Применяемые на практике конструкции пуансонов и способы их крепления зависят от конкретных условий. В пресс-формах одностороннего прессования предусмотрен верхний пуансон, распо-

женный в верхней части пресс-формы; нижний пуансон служит выталкивателем. В пресс-формах двухстороннего прессования имеется два пуансона: верхний и нижний, причем при прессовании деталей с переходами по высоте пуансоны изготовляют составными.

Пуансонодержатели предназначены для крепления пуансонов (рис. 53).

Стержни предназначены для выполнения в прессовках сквозных отверстий или углублений. Конструктивное исполнение стержней

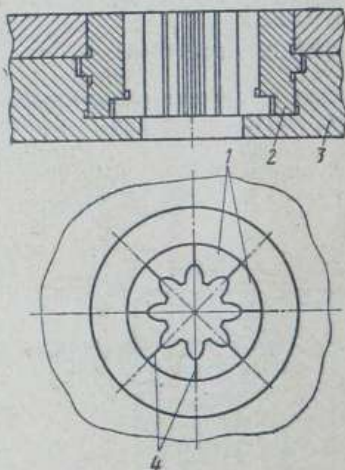


Рис. 52. Схема конструкции сборной матрицы: 1—секции матрицы; 2—кольцо; 3—наружная обойма; 4—линии разреза

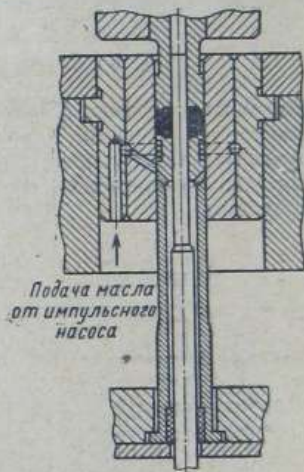


Рис. 53. Схема пуансонодержателя многогнездных пресс-форм

и способ их крепления в пресс-форме зависят от формы и размеров отверстий в прессовках и конструкции пресс-форм.

По способу крепления стержни разделяют на неподвижные (рис. 54, а) и подвижные (рис. 54, б).

В автоматических и полуавтоматических пресс-формах при объемном методе дозирования шихты необходимо, чтобы торцы стержней и матриц находились на одном уровне независимо от изменения высоты загрузочной камеры.

Штыри служат для предотвращения искривления пружин при нагрузке. Их рекомендуется применять, если отношение длины пружины в свободном состоянии к ее наружному диаметру более трех.

Загрузочные устройства предназначены для засыпки порошка в пресс-форму при объемном методе дозирования шихты.

В автоматических пресс-формах движение загрузочных устройств осуществляют с помощью гидравлических или пневматических устройств, а также электромагнитов (для немагнитных порошков). В полуавтоматических пресс-формах (рис. 55) движение загрузочных устройств осуществляют вручную.

Ограничители (рис. 56) в полуавтоматических пресс-формах служат для регулировки высоты загрузочной камеры и ограничивают ход корпуса пресс-формы, находящейся под действием пружин (после снятия давления цилиндров пресса); ограничители позволяют выдерживать заданную высоту загрузочной камеры.

В пресс-форме следует предусмотреть три ограничителя.

Подкладные плитки устанавливают под пуансоны, если удельное давление, передаваемое частью пуансона, превышает $9-10 \text{ кг/мм}^2$ при чугунных плитках и 18 кг/мм^2 при стальных плитках.

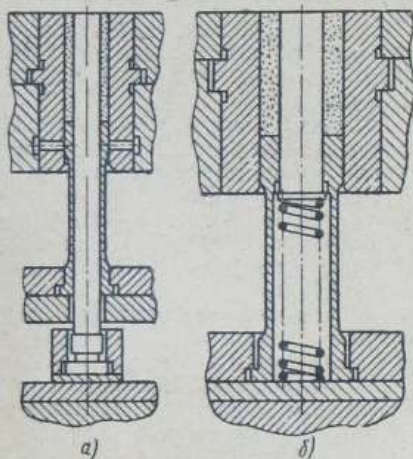


Рис. 54. Схема конструкции стержня; а — неподвижный; б — подвижный

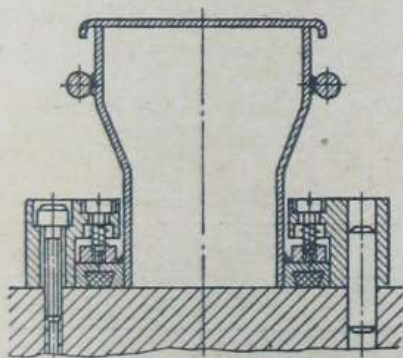


Рис. 55. Схема крепления загрузочного устройства в полуавтоматической пресс-форме

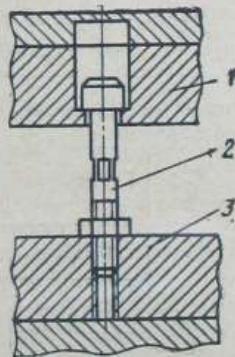


Рис. 56. Схема ограничителей: 1 — обойма; 2 — ограничитель; 3 — плита

5. ШЕРОХОВАТОСТЬ ПОВЕРХНОСТИ И НОРМЫ ТОЧНОСТИ ПРЕСС-ФОРМ

Поверхности матриц, пуансонов, стержней и других деталей, образующие рабочую полость пресс-форм, должны иметь класс чистоты не ниже $\nabla 10$ (ГОСТ 2789—59) и полироваться до зеркального блеска.

Высокий класс чистоты поверхности рабочей полости способствует увеличению износостойкости пресс-форм и повышению качества поверхности изготавливаемого изделия.

Допускаемое отклонение от параллельности горизонтальных плоскостей матриц, обойм, плит — не более 0,02 мм на длине 200 мм.

Допускаемое отклонение от перпендикулярности пуансона и стержня относительно горизонтальной плоскости матрицы — не более 0,02 мм.

Допускаемое отклонение от перпендикулярности направляющих колонок и втулок относительно горизонтальной плоскости основания пресс-формы — не более 0,02 мм.

Эксцентricность, конусность и овальность круглых деталей допускается в пределах допусков на соответствующие диаметры.

Размеры, не оговоренные допусками, выполняются по 7-му классу точности (A_7 — B_7).

Метрическая резьба — по ГОСТу 9150—59*. Допуски на резьбу — по 3-му классу точности (ГОСТ 9253—59).

6. МАТЕРИАЛЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПРЕСС-ФОРМ

В табл. 55 приведены некоторые марки сталей для пресс-форм.

55. Рекомендуемые материалы для пресс-форм

Наименование деталей пресс-форм		Рекомендуемая марка стали для деталей пресс-форм		Твердость материала HRC
Деталь пресс-формы	Степень сложности пресс-форм	Основной	Возможный заменитель	
Матрицы и стержни	Простой формы	ШХ15	ХВГ	58—62
	Средней сложности	ХВГ	ШХ15	58—62
	Сложной формы и для пресс-форм, предназначенных для работы с большими нагрузками	ЗХ12	—	58—62

Наименование деталей пресс-форм		Рекомендуемая марка стали для деталей пресс-форм		Твердость материала HRC
Деталь пресс-форм	Степень сложности пресс-форм	Основной	Возможный заменитель	
Матрицы и стержни	Для пресс-форм, предназначенных для работы с подогревом до 250—300° С	X12Ф1	X12М	58—62
Пуансоны	Простой формы	ХВГ	9ХС	57—60
	Сложной формы	X12Ф1	ХВГ	57—60
Обоймы	Для съемных пресс-форм	45	40	35—40
	Для стационарных пресс-форм	45Х	45	40—45
Направляющие колонки и втулки	Для пресс-форм любого назначения	20Х	20	56—58
Пуансоны, держатели, штыри, крышки, ограничители, подкладные плитки	Для пресс-форм любого назначения	45	40	35—45
	Кроме того, для матриц, стержней, пуансонов рекомендуются металлокерамические твердые сплавы, ВК8, ВК11, ВК15, ВК20			

7. ТИПОВЫЕ КОНСТРУКЦИИ ПРЕСС-ФОРМ

Съемная пресс-форма одностороннего прессования (рис. 57). После засыпки порошка в загрузочную камеру, образованную матрицей 1 и стержнем 3, и установки пуансона 2 производится прессование. При помощи подставки 4 и выталкивателя 5 прессовку выталкивают из матрицы вместе со стержнем, с которого потом ее снимают вручную.

Стационарные полуавтоматические пресс-формы для прессов без нижнего выталкивания. Пресс-форма с неподвижным стержнем и подвижными вставками в верхнем пуансоне (рис. 58). Вся пресс-форма крепится на колонках.

В начале прессования стержни 5 под действием пружины, находясь в крайнем нижнем положении, проталкивают порошок до соприкосновения с нижним пуансоном 2 и при дальнейшем движении вниз сжимают пружину 6.

Затем в матрицу входит верхний пуансон 1, который движется до упора пуансонодержателя в торец матрицы. Под действием пуан-

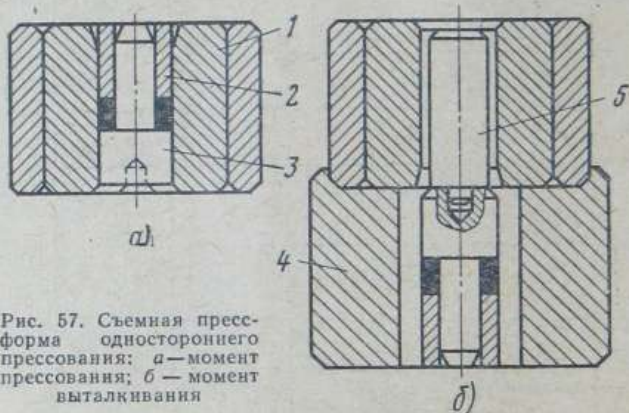


Рис. 57. Съемная пресс-форма одностороннего прессования: а — момент прессования; б — момент выталкивания

сонодержателя корпус опускается на вилку 4 и прессование заканчивается. После этого верхний пуансон поднимается, а пружина возвращает стержни в первоначальное положение.

Выталкивание прессовки осуществляется опусканием корпуса 3 до упора. Прессовку снимают вручную.

Пресс-форма с подвижными стержнями (рис. 59). В держателе 3 закреплены два подвижных стержня 1 и три колонки 2, обеспечивающие положение торцов стержней на одном уровне с торцом матрицы независимо от изменения высоты загрузочной камеры. При прессовании стержни опускаются вместе с корпусом 6, сжимая пружины 4 и 5.

Для выталкивания изделия под корпус 6 устанавливается вилка 7, и под давлением пресса корпус, опускаясь, выталкивает прессовку из матрицы. Одновременно корпус давит на колонки 2, которые освобождают прессовку от стержней. Прессовку снимают вручную.

Пресс-форма с составной матрицей и подвижным стержнем (рис. 60) имеет следующие конструктивные особенности. Подвижный стержень 1, нижний конец которого находится в толкателе 7, поддерживается пружиной 6; вилка 5 служит упором при прессовании;

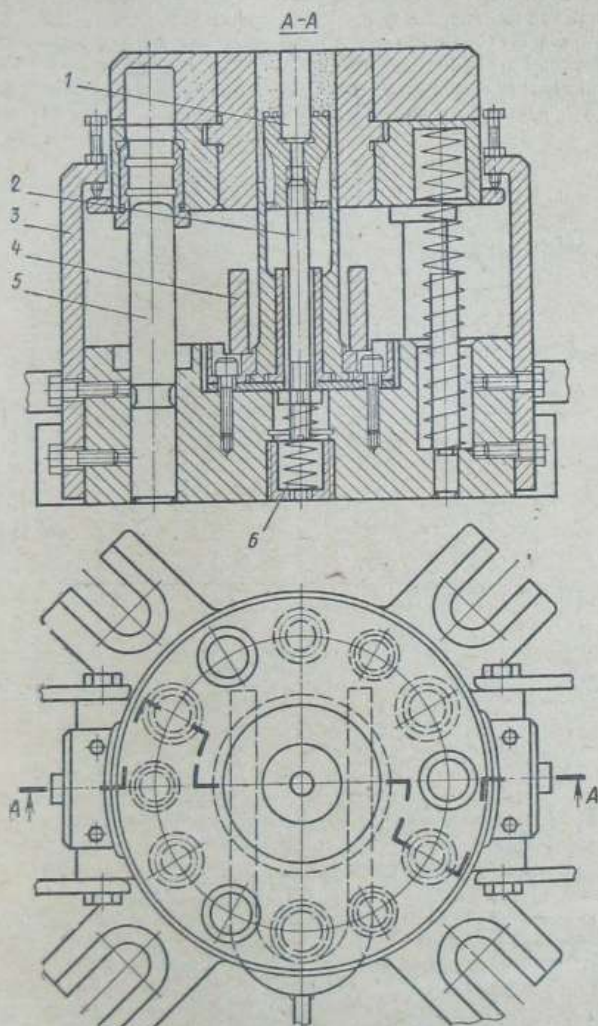


Рис. 58. Пресс-форма для изготовления поршня

матрица 2 составная поддерживается вместе с обоймой и верхней плитой в верхнем положении пружинами 3.

Дозировка порошка может быть весовой или объемной.

Прессование производится следующим образом: после засыпки порошка вилку устанавливают под корпус, вставляют верхний пуансон 8 в матрицу и включают давление.

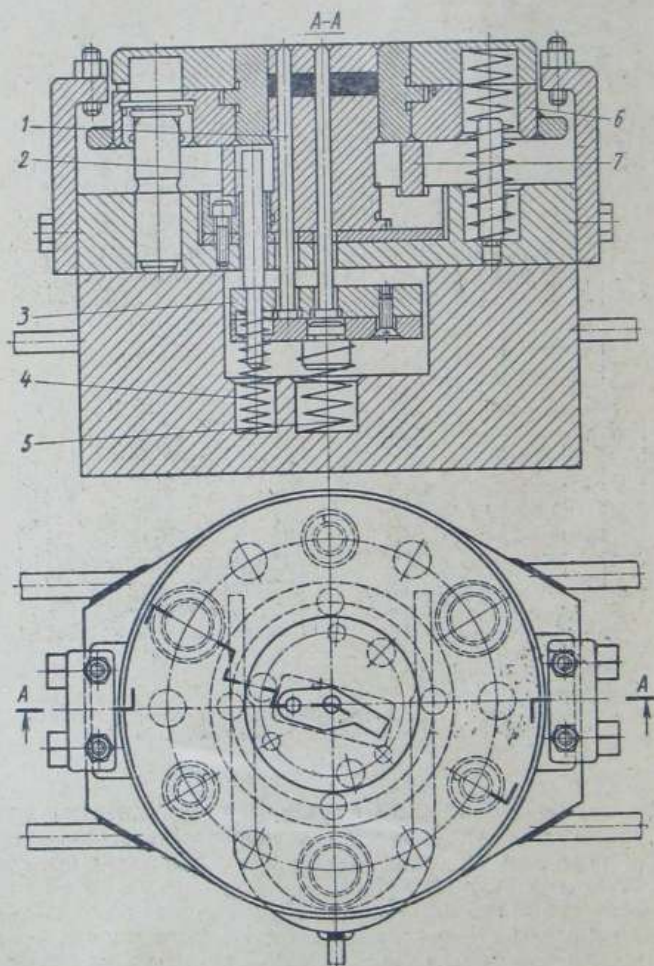


Рис. 59. Пресс-форма с подвижными стержнями

Во время прессования силы трения порошка о стенки матрицы вызывают перемещение последней вниз до нижнего пуансона 4.

Стационарные полуавтоматические пресс-формы для прессов с нижним выталкивателем. Пресс-форма с двумя верхними и двумя нижними концентрично расположенными пуансонами (рис. 61).

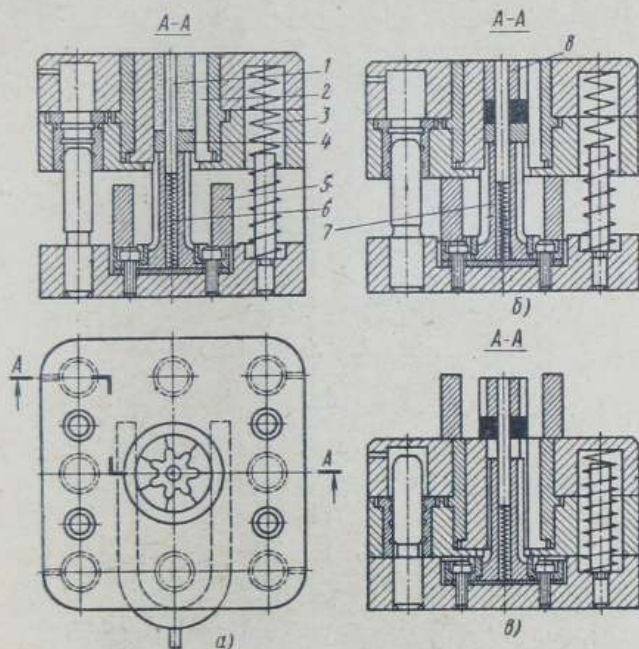


Рис. 60. Пресс-форма для прессования шестерни: а — засыпка порошка; б — прессование; в — выталкивание

При засыпке порошка нижний пуансон под действием пружин 8 поднят на высоту, регулируемую ограничительными направляющими болтами 9, а верхний пуансон 2 под действием пружин 1 прижат к верхнему пуансону 6.

Во время прессования пуансон 2 упирается в подкладную плитку 5, а нижний пуансон 7 вместе с пуансонодержателем 4 опускается до упоров 10 под действием колонок 3, которые ограничивают ход верхних пуансонов.

Выталкивание осуществляется нижним толкателем пресса.

Стационарные автоматические пресс-формы. Автоматическая пресс-форма, устанавливаемая на гидравлическом прессе с нижним выталкивателем (рис. 62).

Пресс-форма работает следующим образом. Когда пуансон 1 находится в крайнем верхнем положении, а пуансон 5 поднят до

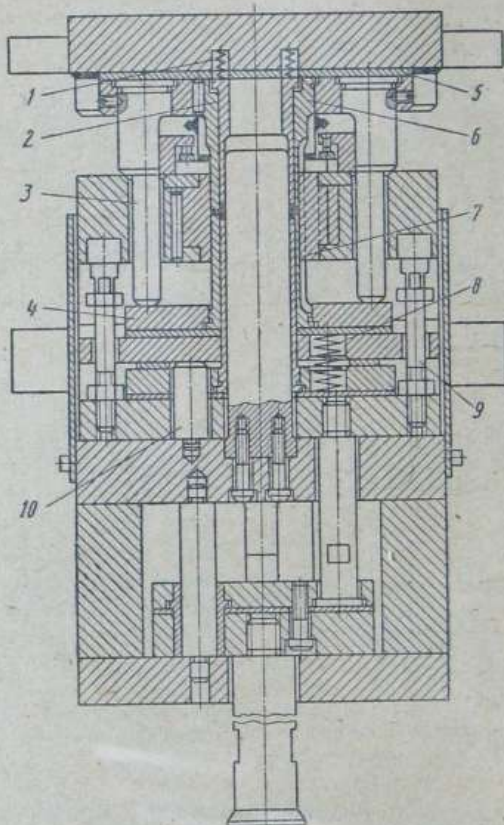


Рис. 61. Пресс-форма для изготовления сепаратора

уровня торца матрицы, отсекается 3 под действием гидроцилиндра 4 устанавливается над матрицей и нажимает на концевой выключатель, который включает реле времени и выталкиватель пресса.

Выталкиватель опускает пуансон 5 в крайнее нижнее положение, и порошок заполняет рабочую полость пресс-формы. После засыпки

рабочей полости срабатывает реле времени и отсекаТЕЛЬ передвигается вправо под бункер 2 для наполнения порошком. Заняв исходное положение, отсекаТЕЛЬ нажимает на конечный выключатель (КВ). Последний включает главный цилиндр прессы, и верхний пуансон движется вниз.

Когда пуансон 1 начинает сжимать порошок, КВ включает реле времени для обеспечения выдержки и создания необходимого давления в главном цилиндре. Как только давление достигает 200 кг/см², реле времени срабатывает и включает главный цилиндр прессы, который поднимает пуансон 1. Движение пуансона 1 огра-

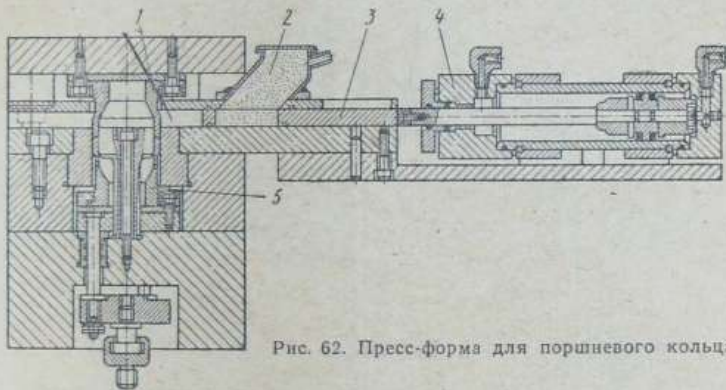


Рис. 62. Пресс-форма для поршневого кольца

ничивает КВ, останавливая его в крайнем верхнем положении, и включает выталкиватель прессы. Как только пуансон 5 вытолкнет прессовку, КВ включает гидроцилиндр 4, который приводит в движение отсекаТЕЛЬ. ОтсекаТЕЛЬ сталкивает прессовку и останавливается над матрицей для засыпки.

Пресс-форма, -устанавливаемая на пресс-автомат (рис. 63). Пресс-форма представляет собой обойму 1, которая закреплена в стали прессы, и служит для крепления матрицы 2. Нижний пуансон 3 при помощи переходных вырезных втулок 6 и 7 связан с выталкивателем прессы. Стержень 4, оформляющий внутренний диаметр прессовки, жестко связан державкой 5 с нижним гидроцилиндром прессы. Верхний пуансон 9 прикреплен к ползуну прессы пуансонодержателем 8.

Пресс-форма работает следующим образом: порошок из подвижной каретки, установленной на столе прессы, поступает в загрузочную камеру матрицы. После отхода каретки под бункер начинает двигаться верхний пуансон 9, спрессовывающий порошок. Выталкивание прессовки производится толкателем прессы посредством

нижнего пуансона 3. Прессовка, дойдя до верхней плоскости матрицы, сталкивается кареткой, и цикл повторяется.

Калибровочные пресс-формы. Калибровка предназначена для того, чтобы форму и размеры изделия привести в точное соответствие с техническими требованиями. Необходимость калибровки вызывается колебаниями в величине усадки при спекании, а также заданным классом точности изделия.

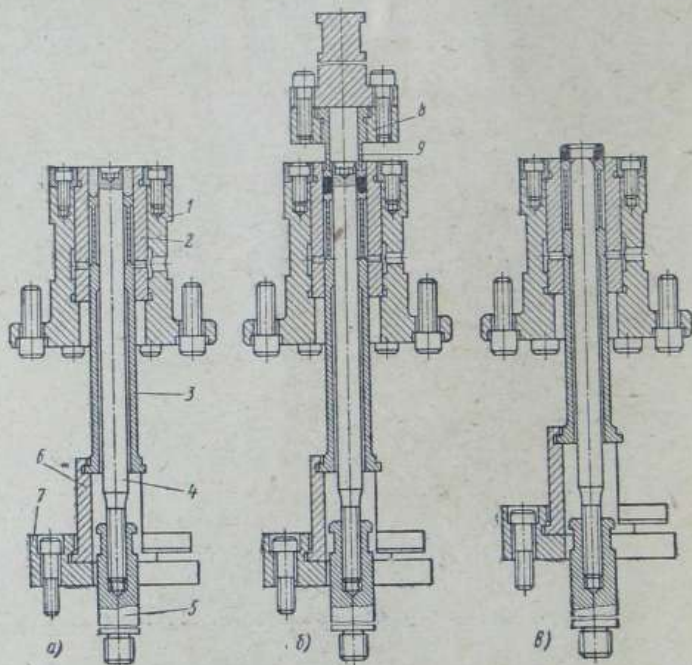


Рис. 63. Пресс-форма для получения прессовок на автомате КО-35; а — начальное положение; б — прессование; в — выталкивание

Калибровка заключается во всестороннем обжатии детали после спекания, в случае калибровки втулок они подвергаются прошивке стержнем с одновременным обжатием по наружному диаметру и высоте. Калибровка производится, как правило, после пропитки изделий маслом.

Усилие калибровки зависит от плотности обрабатываемого изделия, оно обычно того же порядка, что и усилие прессования. Конструкция калибровочной пресс-формы приведена на рис. 64.

Калибруемую деталь вставляют в полость матрицы 1, верхняя плита 2 при движении вниз опускает стержень 3, который входит в отверстие детали. Затем под давлением пуансонов 5 и 6 деталь проталкивается в матрицу. После этого верхняя плита 2 подни-

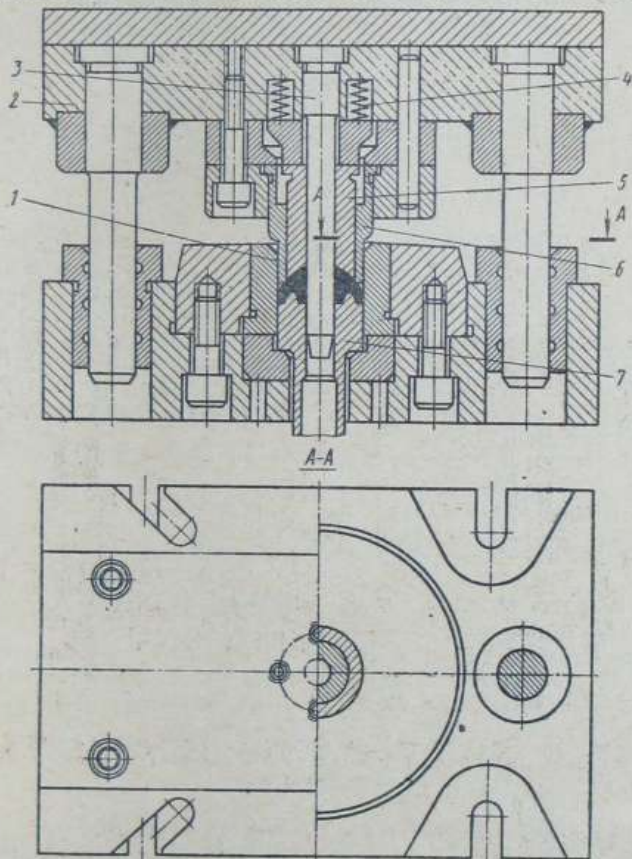


Рис. 64. Схема калибровочной пресс-формы для формования направляющей втулки штока

мается и одновременно включается нижний толкатель пресса, который давит на нижний пуансон 7 и выталкивает прессовку из матрицы. Прессовка остается на стержне. После выхода прессовки из матрицы пуансон 5 под давлением пружины 4 снимает деталь со стержня.

ГЛАВА V

ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ОРГАНИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА МЕТАЛЛОКЕРАМИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ

Производство металлокерамических деталей может быть организовано в виде: 1) самостоятельного специализированного предприятия (завод); 2) цеховых мастерских или отделений при каком-либо заводском цехе или в виде самостоятельного цеха завода.

Первый вариант организации производства позволяет наиболее правильно наладить технологический процесс изготовления металлокерамических изделий. При небольшом объеме выпуска производство следует организовать по второму варианту, особенно, если необходимо изготавливать какие-либо изделия со специальными свойствами для данного предприятия.

Ориентировочно можно считать, что производство металлокерамических изделий (антифрикционных, фрикционных, пористых, конструкционных и др.) методом порошковой металлургии экономически целесообразно, если количество деталей в каждой выпускаемой серии не меньше следующих значений: при выпуске деталей простой формы — 100 000, средней — 25 000, сложной формы — 5000 и весьма сложной формы — 1000 деталей.

При организации выпуска деталей со свойствами, которые нельзя получить другими методами (контакты, магниты, самосмазывающиеся детали, фрикционные детали с высоким значением коэффициента трения и повышенной термостойкостью и др.), масштаб выпуска не является основным фактором, а эффективность производства определяется техническими преимуществами порошковой металлургии.

1. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Исходным сырьем для производства металлокерамических деталей служат готовые порошки, получаемые с заводов металлургической или химической промышленности.

Необходимое количество сырья определяют по формуле

$$Q = \frac{P_k}{m},$$

где Q — количество металлического порошка каждого типа, необходимого для выпуска продукции, в m ; P — общий объем выпуска продукции в m ; $k = 1,03 \div 1,05$ — коэффициент, учитывающий потери всех видов в зависимости от типа деталей; m — доля данного порошка в составе продукции.

В табл. 56 приведены нормы расхода вспомогательных материалов.

Норма времени, затрачиваемого на прессование 1000 металло-керамических деталей простой формы на автоматических прессах, приведена в табл. 57.

В табл. 58 приведены рекомендуемые давления при прессовании, а в табл. 59 — сведения о трудоемкости.

56. Расход вспомогательных материалов

Материал	Расход на 1 m продукции	Примечание
Активированный уголь для засыпки в кг	100	Для деталей всех типов из материалов на медной основе, кроме медновольфрамовых композиций
Машинное масло для пропитки в кг	35—40	Для пористых подшипников
Стеарат цинка в кг	30—60	Для прессования деталей из материалов на основе железа
Сера в кг	35—40	Для деталей из материала на основе железа, подвергаемых сульфидированию
Вода в m^3	15—20	При спекании в печах с холодильниками
Электроэнергия в $квт \cdot ч$	800	Для материалов на основе железа
Защитный газ в печах для спекания в m^3	25,0	—

57. Трудоемкость процесса прессования

Масса детали в г	Норма времени в мин	Марка автоматического пресса
До 10	10	КО690А
10—25	12	КА06
25—50	16	КО328
50—150	25	6830
Примечание. Норма времени на прессование деталей средней и сложной формы увеличивается на 20%.		

58. Рекомендуемые величины усилия прессования

Степень сложности формы детали	Масса в г	Общая площадь прессования в см ²	Усилие прессования в Т для материалов на основе	
			железной	медной
Простая (штулка, брусок, цилиндр)	До 25 25—50 50—150	1—2 2—5 5—15	2—12 8—30 20—19	2—8 4—20 10—60
Средняя (шестерня)	До 25 25—50 50—150	1,5—3,0 3—10 10—30	6—12 18—60 60—180	3—12 12—40 20—120
Сложная (сложного профиля со многими переходами)	До 25 25—50 50—150	1,5—3,0 3—8 8—25	6—12 18—50 50—150	3—12 6—30 15—100

59. Трудоемкость изготовления металлокерамических деталей

Степень сложности формы детали	Количество человеко-часов на 1 т готовых изделий	
	без механической обработки	с механической обработкой
Простая	80—100	100—120
Средняя	90—100	130—170
Сложная	130—150	200—240

2. ПЛАНИРОВКА И ХАРАКТЕРИСТИКА ПОМЕЩЕНИЙ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА МЕТАЛЛОКЕРАМИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ

При планировании помещений для выпуска металлокерамических деталей возможны два варианта: 1) весь процесс производства сосредоточен в одном помещении; 2) производство распределено по отдельным помещениям в соответствии с технологическими операциями.

Первый вариант планировки применяют на предприятиях с объемом выпуска не более 10—15 т деталей в месяц или при полностью автоматизированном процессе производства независимо от его масштаба (табл. 60).

60. Ориентировочные нормы съема с единицы площади

Годовой выпуск в т	Характер производства *	Съем продукции в т/м ²
До 100	Крупносерийный: автоматизирован только процесс прессования	0,2—0,3
До 200		0,3—0,4
До 500	Крупносерийный: автоматизирован только процесс прессования	0,4—0,5
	Массовый: процесс производства полностью автоматизирован	0,6—0,8
До 1000	Крупносерийный: частичная автоматизация процесса производства	0,5—0,6
	Массовый: полная автоматизация процесса производства	0,8—1,0
До 2000	Крупносерийный и массовый: частичная автоматизация процесса производства	0,7—0,8
	Массовый: полная автоматизация процессов производства	1,2—1,8
Более 2000	Массовый: полная автоматизация процессов производства	1,0—1,5
	Крупносерийный и массовый: частичная автоматизация процесса производства	0,6—0,8

* Крупносерийный — до 500 000 деталей в год; массовый — более 2 млн. деталей в год.

При большом масштабе производства осуществляют пооперационную планировку, т. е. для однотипных операций отводят отдельные помещения, за исключением помещений для автоматических линий (см. табл. 60).

Помещения, выделяемые для производства металлокерамических изделий, должны отвечать определенным требованиям (табл. 61).

При проектировании того или иного производства металлокерамических изделий необходимо определить сменность работы для каждой группы оборудования.

При этом учитывают следующее:

печное оборудование с металлокерамическими или керамическими нагревателями должно работать по возможности без частых перерывов, круглосуточно;

прессовое оборудование может работать по любому графику;

61. Рекомендуемые нормы по отделке помещений, предназначенных для производства металлокерамических изделий

Наименование помещения	Характеристика отделки			Дневное освещение	Искусственное освещение
	полов	потолков	стен		
Размольно-шихтовочные отделения и отделения прессовки	Чугунные плиты или метлахская плитка	Побелка	Масляная краска или облицовка белой плиткой	Минимальное	Только общее
Формовочное отделение	Чугунные плиты или ксилолат		Масляная краска	Хорошее	Общее и местное у прессов
Печное отделение	Метлахская плитка		Клеевая краска	Минимальное	Только общее
Склады сырья и готовой продукции	Деревянные			Отличное	Общее и местное у приборов и рабочих мест
Отделение приготовления склеивающих растворов	Метлахская плитка				
Отделение контроля и браковки продукции	Деревянные	Легкопрозрачные (стекла)	Кирпичная кладка с клеевой краской	Минимальное	Только общее
Будка для баллонов с защитными газами	Бетонные				

размольно-смесительное оборудование должно работать в соответствии с технологическими режимами, т. е. в одну смену при продолжительности операций менее 7 ч, в две смены при продолжительности операций более 7 ч, но менее 14 ч и круглосуточно при продолжительности операций свыше 14 ч.

3. ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ПОРОШКОВОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

Одной из специфических сторон технологии порошковой металлургии является то обстоятельство, что для получения продукции достаточно высокого качества необходимо точно соблюдать технологические режимы на всех переделах. Продукция порошковой металлургии весьма чувствительна к отклонениям от заданных технологических режимов и в особенности на таких переделах, как приготовление шихт, операции прессования и спекания.

Для обеспечения точного соблюдения режимов необходимо применять оборудование (табл. 62—64), отвечающее требованиям порошковой металлургии.

62. Размольно-смесильное оборудование

Оборудование	Емкость рабочего пространства в м³	Мощность электро- двигателя в кВт	Средняя произво- дительно- сть в кг/ч	Габарит- ные размеры в м (макси- мальные)
Шнековый смеситель . . .	0,2—0,4	1,5—2,5	5—7	1,5×1,8
Смеситель со смещенной осью	1,0—3,0	3—6	8—20	1,5×2,0
Смеситель конусного типа . . .	1,0—3,0	3—6	8—20	1,5×2,0
Вихревая мельница . . .	1,0—2,0	25—35	10—15	4,0×6,0
Молотковая мельница . . .	1,0—3,0	10—20	20—30	2,0×3,0
Валковая дробилка . . .	1,0—3,0	10—20	10—20	2,0×3,0
Вибрационная мельница:				
M10-3	0,1	4,5	5—7	1,0×4,5
M200-3	2,0	14,0	25—30	1,3×2,0
M400-3	4,0	50	70—80	1,5×3,8
M1000-1,5	10,0	70	100—130	1,4×4,0
Шаровая мельница . . .	0,2—1,0	1,0—4,0	1,0—2,0	1,5×2,0

На рис. 65—69 приведены схемы основных видов размольного оборудования и вибрационного сита. В порошковой металлургии для восстановления порошков, предварительного и окончательного спекания и для термической обработки спеченных изделий применяют печи (табл. 65). Последние различают по принципу нагрева (печи сопротивления и индукционные), по характеру загрузки (садочные и непрерывные действия) и по среде (для работы с защитной атмосферой и вакуумные).

63. Механические прессы

Основные технические характеристики	К0620А	К0552А	К А0624	К А0626	К 0626	К8130
Рабочее усилие в Т	10	16	25	40	63	100
Ход прессующей головки в мм	100	120	150	200	220	265
Число ходов в минуту	18, 27, 36	15, 22, 30	8, 10, 12, 16, 20, 25, 32, 40	11, 36	10, 12, 16, 20, 25, 32	5, 8, 10, 13, 16, 20, 25
Максимальный диаметр изделия в плане в мм	40	40	60	80	100	125
Ход выталкивателя в мм	40	45	90	110	125	170
Наспнная высота в мм	36	45	80	100	125	160
Усилие выталкивания в Т	2	3,15	8	12,5	20	30
Ход матрицы в мм	0—18	0—20	50	60	0—80	100
Регулирование положения верхнего пуансона в мм	20	20	30	40	40	40
Высота над уровнем пола в мм	1940	2170	2560	3020	3400	4050
Габаритные размеры в мм:						
длина	863	1000	1100	1335	1870	2000
ширина	1000	1175	1620	1860	2500	3100
Масса в кг	1600	2200	4500	7500	9500	15 000

84. Гидравлические прессы

Основные технические характеристики	П-814	П-4026	ПО-72	П-810	П-812
Рабочее усилие в Т	4900	245	1092	1570	2150
Ход подвижной траверсы в мм	500	500	—	400	460
Усилие выталкивания в Т	—	9	1960	600	1180
Расстояние от стола до траверсы в мм	—	—	—	520	550
Ход выталкивателя в мм	500	120	320	200	250
Число ходов в минуту	—	—	—	4	2
Скорость хода в мм/сек	3	2,7	—	40	53, 26, 10, 6, 5
рабочего	22	37	—	270	350
холостого	44	100	—	250	540
обратного	47	190	—	—	—
Скорость выталкивания в мм/сек	1000	500	—	—	—
Размеры стола в мм:	8000	500	—	—	—
длина	38	2,8	—	55	81
ширина	6420	780	2250	2290	2950
Мощность электродвигателя в кВт	4750	1890	1030	2220	2800
Габаритные размеры в мм:	1000	2710	3165	5460	6270
длина	1,0	3,45	3,5	14,0	28,0
ширина					
высота					
Масса пресса в т					

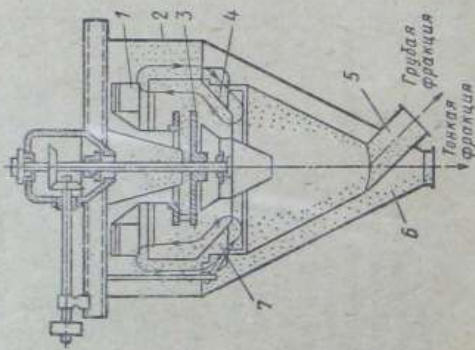


Рис. 65. Воздушный сепаратор эмульсионной системы: 1 — вентилятор; 2 — корпус; 3 — распределительный диск; 4 — внутренний корпус; 5 — патрубок; 6 — разграничительный патрубок; 7 — центробежное колесо

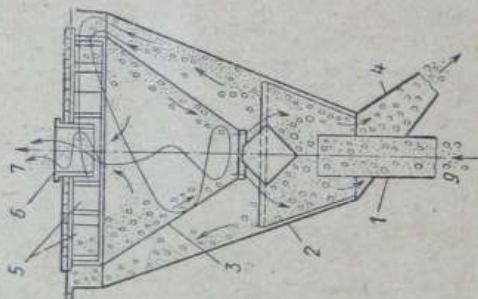


Рис. 66. Воздушный сепаратор проходного типа: 1 — патрубок; 2 — корпус; 3 — внутренний корпус; 4 — патрубок; 5 — лопатки; 6 — патрубок; 7 — поток тонких фракций

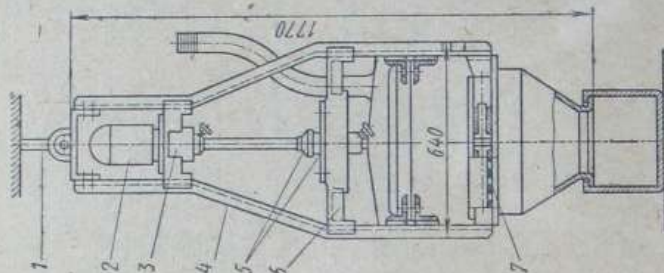


Рис. 67. Вибрационное сито: 1 — подвесной крючок; 2 — мотор; 3 — подшипник; 4 — рама; 5 — дебалансное устройство; 6 — поперечина; 7 — ситовое полотно

Рис. 68. Смеситель конусного типа: 1 — редуктор; 2 — вал; 3 — стойка; 4 — редуктор; 5 — крышка люка; 6 — выгрузочный бункер; 7 — тележка

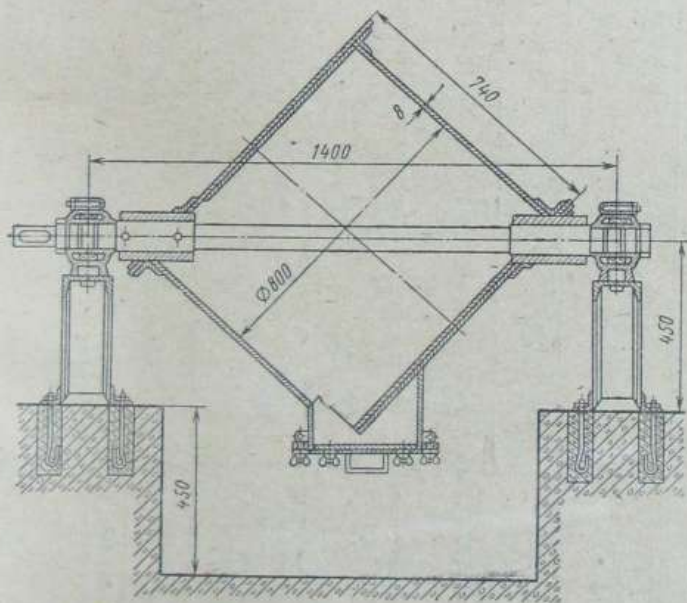
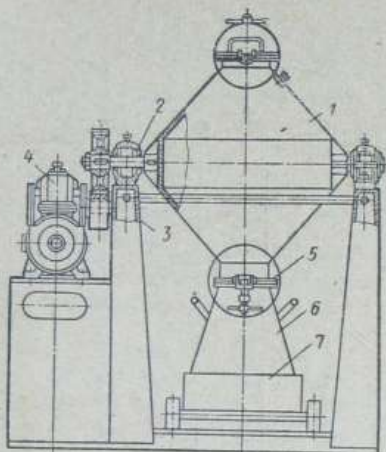


Рис. 69. Принципиальная схема смесителя со смещенной осью

65. Характеристика производственных печей, применяемых в порошковой металлургии

Печь	Нагреватель	Среда	Максимальная рабочая температура в °C	Производительность	Основное назначение печи
ЦЭП-356	Молибден или сплав ЭИ595	Водород или эндогаз	1200	25 кг/ч	Спекание изделий
ОКБ-870	Графитовые стержни	Вакуум 10^{-5} мм рт. ст.	2500	До 130 кг/мин	Спекание тугоплавких металлов
ОКБ-786	Вольфрам типа белесого колеса	Вакуум 10^{-5} мм рт. ст.	2300	До 0,5 т/сутки	Спекание и отжиг тугоплавких металлов
Шахтная с гидравлическим давлением	Силит или нихром	Воздух, водород, эндогаз и др.	1200	До 1 т/сутки	Спекание фрикционных и других изделий, восстановление порошков, отжиг изделий
СКБ-7102	Нихром	Водород или эндогаз	1000	До 350 кг/сутки	Восстановление порошков
ЦНИИЧМ-7				До 0,5 т/сутки	Восстановление железного порошка
Трубчатая конструкция завода «Электротроинк»					

Продолжение табл. 6

Печь	Нагреватель	Среда	Максимальная рабочая температура, °C	Производительность	Основное назначение печи
Трубчатая с графитовой трубой	Графитовая труба	Водород	До 2000	4—10 кг/ч	Получение тугоплавких соединений, спекание твердых сплавов на основе тугоплавких соединений
Трубчатая с алюминевой трубкой	Молибден		1500		
214-A			1400		Спекание различных металлокерамических изделий
Газовая автоматическая	Природный газ	Конвертированный газ	1200	До 30 кг/ч	Спекание
Индукционная конструкция ЦНИИЧЕРМЕТ	Индукционный ток	Водород	1400	До 300 кг/сутки	Спекание различных изделий

К вспомогательному оборудованию, применяемому в порошковой металлургии, относят пропиточные установки для пропитки изделий маслом, аппаратуру для получения водорода (электролизеры) и других защитных атмосфер, установки для осушки и очистки защитных газов. Для получения диссоциированного аммиака обычно применяют установку ОКБ-674.

Плотность металлокерамических деталей, как правило, ниже плотности компактных деталей того же химического состава. Поэтому для определения общего тоннажа металлокерамических деталей необходимо помножить массу компактных деталей на соответствующие коэффициенты (табл. 66).

66. Переводные коэффициенты плотности

Материал	Чугун	Сталь	Латунь	Бронза	Медь
Пористое железо и железографит	0,8	0,73	0,68	0,65	0,63
Железографит, легированный медью	0,89	0,79	0,73	0,71	0,70
Сульфидированное железо	0,82	0,73	0,68	0,65	0,62
Бронзографит	0,98	0,87	0,81	0,78	0,76
Спеченные материалы на основе никеля	0,85	0,80	0,72	0,68	0,65
Спеченные материалы на основе титана	0,64	0,50	0,48	0,42	0,40

При решении вопроса об изготовлении деталей методом порошковой металлургии важным критерием является степень сложности формы деталей. Все детали с некоторым приближением можно разделить на семь степеней сложности:

первая — детали простой геометрической формы с равномерным сечением по направлению прессования, ограниченные параллельными плоскостями. На поверхности прессования деталей имеются углубления или выступы любой геометрической формы (рис. 70, а);

вторая — аналогичные деталям первой группы сложности, но имеющие одно или несколько отверстий или пазов в направлении прессования. Отношение высоты детали к толщине стенки не превышает 10 (рис. 70, б);

третья — такие же, как детали второй группы, но с соотношением высоты к толщине стенки, превышающим 10 (рис. 70, в);

четвертая — детали, близкие по форме к деталям второй группы, но с наличием небольшого количества переходов от одного сечения к другому (рис. 70, г);

пятая — детали, аналогичные деталям четвертой группы, но с отношением высоты к толщине стенки $\frac{H}{\delta} \geq 8$ (рис. 70, д);

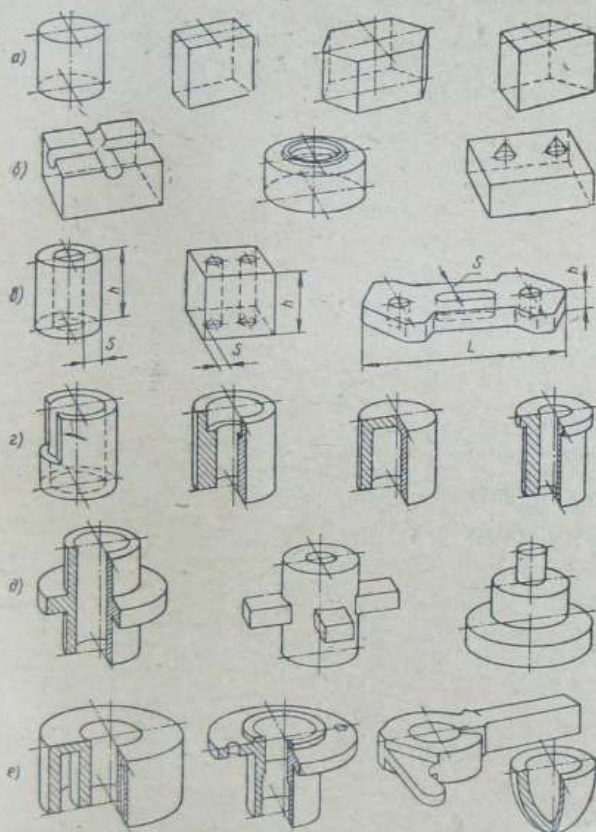


Рис. 70. Детали различной степени сложности: а — первой; б — второй; в — третьей; г — четвертой; д — пятой; е — шестой

шестая — детали, аналогичные деталям четвертой группы, но имеющие два и более переходов по сечениям (рис. 70, е);

седьмая — детали весьма сложной формы, в которых имеются редкие по сечениям переходы в ряде направлений.

4. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ИЗДЕЛИЙ МЕТОДОМ ПОРОШКОВОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

Экономический эффект от замены обычных компактных деталей деталями, изготовленными методом порошковой металлургии, определяется следующими основными показателями:

- 1) экономией от снижения себестоимости изделий;
- 2) сокращением расхода металлов;
- 3) снижением трудоемкости;
- 4) высвобождением станков.

Общая характеристика экономической эффективности может быть представлена уравнением

$$\mathcal{E} = [(c_1 y + \varepsilon_n k_1 y) - (c_2 + \varepsilon_n k_2)] A,$$

где c_1 , c_2 — себестоимость изделия до и после внедрения нового технологического процесса; ε_n — нормативный коэффициент экономической эффективности; k_1 , k_2 — капитальные вложения до и после внедрения нового технологического процесса; y — коэффициент возрастания эксплуатационных расходов (со знаком «+» или «-»); A — годовой объем производства.

В табл. 67 приведена характеристика трудоемкости изготовления металлокерамических деталей в зависимости от объема выпуска и массы деталей, а в табл. 68 — средняя трудоемкость отдельных операций технологического процесса.

67. Трудоемкость изготовления 1 т металлокерамических деталей в человеко-часах

Средняя масса деталей в г	Объем производства в т/год			
	до 500	до 1000	1000—2000	2000
До 10	135	120	100	80
11—30	100	180	70	60
31—50	85	60	50	45
51—100	75	50	45	40
101—150	60	45	40	35
151—200	50	40	35	30
Св. 200	45	35	30	25

Примечание. Здесь учтена калибровочная операция и не учтена доводочная механическая обработка.

68. Ориентировочное распределение трудоемкости по операциям технологического процесса порошковой металлургии

Операция технологического процесса	Мелкие детали	Детали средней величины	Крупные детали
	Средняя трудоемкость в %		
Приготовление шихты . .	5	5	5
Подготовка навесок . . .	5	6	8
Прессование деталей . .	45	50	57
Загрузка деталей в печь для спекания	10	8	5
Спекание	5	5	5
Выгрузка деталей из печи	5	5	5
Пропитка деталей маслом	5	5	6
Калибровка	15	10	5
Прочие операции	5	6	4
Итого . . .	100	100	100

ПРИЛОЖЕНИЕ

ДОПУСТИМАЯ КОНЦЕНТРАЦИЯ ПЫЛИ РАЗЛИЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ В $мг/м^3$ В ВОЗДУХЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Окислы железа (окалина)	6	Кобальт и его окислы	0,5
Железистый порошок восстано- вленный	6	Молибден	4,0
Карбонильное железо	4	Никель и его окислы	0,5
Карбонильное железо, ча- стицы которого покрыты пленкой окислов	2	Цинк и его окислы	5,0
Алюминий	2,0	Титан и его окислы	10,0
Бериллий и его соединения	0,001	Тантал и его окислы	10,0
Вольфрам и его карбиды	5,0	Свинец и его соединения	0,01
		Ниобий и его окислы	10,0
		Хромовые соединения	0,1
		Угольная пыль	10,0

ДОПУСТИМАЯ КОНЦЕНТРАЦИЯ В ВОЗДУХЕ ТОКСИЧЕСКИХ ГАЗОВ И ПАРОВ РАЗЛИЧНЫХ ВЕЩЕСТВ В $мг/м^3$, ПРИМЕНЯЕМЫХ В ПОРОШКОВОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

Амиллацетат	0,1	Серная кислота	0,001
Аммиак	0,02	Сероводород	0,01
Ацетон	0,2	Сернистый ангидрид	0,01
Бензин	0,03	Сероуглерод	0,01
Бензол	0,02	Спирт этиловый	1,0
Дивинил	0,1	Толуол	0,05
Дихлорэтан	0,01	Фенол	0,005
Иод	0,01	Фосфор	0,00003
Капролоктан	0,01	Фосфористый водород	0,001
Керосин (в пересчете на углерод)	0,3	Фосфористый ангидрид	0,001
Нафталин	0,02	Фтористый водород	0,0005
Озон	0,0001	Хлор	0,05
Оксид углерода	0,02	Хлористый водород	0,01
Оксиды азота (в пере- счете на азот)	0,005	Четыреххлористый уг- лерод	0,02
Ртуть	0,00001	Этиловый эфир	0,3

ЛИТЕРАТУРА

1. Альтман А. Б. Металлокерамика в электропромышленности. М., ЦИНТИ электротехнической промышленности, 1961.
2. Андреевский Р. А. Пористые металлокерамические материалы. М., «Металлургия», 1964.
3. Богатин Д. Е. Производство металлокерамических деталей. М., «Металлургия», 1968.
4. Айзенкольтс Ф. Успехи порошковой металлургии. Пер. с нем. М., «Металлургия», 1969.
5. Вязников Н. Ф., Ермаков С. С. Металлокерамические материалы и изделия. М.—Л., «Машиностроение», 1967.
6. Гельфанд А. Е. и др. Обработка твердых сплавов. М., Машгиз, 1963.
7. Гормат В. А. и др. Металлургия титана. М., «Металлургия», 1968.
8. Демин Е. Н. Справочник по пресс-формам. Лениздат, 1967.
9. Джона В. Д. Основы порошковой металлургии. Т. I. Пер. с англ., М., «Мир», 1961.
10. Джона В. Д. Основы порошковой металлургии. Т. II. Пер. с англ., М., «Мир», 1961.
11. Еременко В. Н. Титан и его сплавы. Изд. АН УССР, 1960.
12. Жданович Г. К. Теория прессования металлических порошков. М., «Металлургия», 1969.
13. Жаропрочные и коррозионностойкие металлические материалы. Сб. докладов. Пер. с нем. М., Оборонгиз, 1959.
14. Игнатов Л. Н. и др. Производство фрикционных материалов на железной основе. М., «Металлургия», 1968.
15. Мошков А. Д. Пористые антифрикционные материалы. М., «Машиностроение», 1968.
16. Писаренко Г. С. и др. Прочность металлокерамических материалов и сплавов при нормальной и высоких температурах. Киев, изд. АН УССР, 1962.
17. Поздний Н. З., Крушинский А. Н. Проектирование и оборудование цехов порошковой металлургии. М., «Машиностроение», 1965.
18. Раковский В. С. Основы порошкового металловедения. М., Оборонгиз, 1962.
19. Раковский В. С., Самсонов Г. В., Ольхов И. И. Основы производства твердых сплавов. М., «Металлургия», 1960.

20. Радомысельский И. Д. Пресс-формы. Киев, изд. АН УССР, 1970.

21. Ребиндер П. А. Поверхностно-активные вещества. М., «Знание», 1967.

22. Самсонов Г. В., Портной К. И. Сплавы на основе тугоплавких соединений. М., Оборонгиз, 1961.

23. Третьяков В. И. Металлокерамические твердые сплавы. М., Металлургиздат, 1962.

24. Тугоплавкие металлы в новой технике. Под ред. К. И. Портного. М., «Мир», 1969.

25. Федорченко И. М., Андриевский Р. А. Основы порошковой металлургии. Киев, изд. АН УССР, 1961.

26. Фигуровский И. А. Седиментационный анализ. М., изд-во АН СССР, 1948.

27. Шеламов В. А., Литвинцев А. И. Физико-химические основы производства полуфабрикатов из спеченных алюминиевых порошков. М., «Металлургия», 1970.

ОГЛАВЛЕНИЕ

<i>Глава I. Основы технологии порошковой металлургии</i>	3
1. Принципиальные технологические схемы	3
2. Методы получения исходных порошков	5
3. Формование порошков	11
4. Процесс спекания	16
5. Защитные атмосферы	19
6. Механическая и термическая обработка металлокерамических заготовок и изделий	24
<i>Глава II. Характеристика металлокерамических изделий и особенности технологии их изготовления</i>	31
1. Классификация металлокерамических изделий	31
2. Антифрикционные изделия	34
3. Фрикционные материалы	37
4. Контакты	39
5. Магниты	42
6. Фильтры	44
7. Изделия из материалов типа САП	51
8. Металлокерамический титан	54
9. Тугоплавкие металлы и сплавы на их основе	57
10. Металлокерамические твердые сплавы и материалы, близкие к ним	60
11. Технология металлокерамических деталей машин и приборов	63
<i>Глава III. Методы технического контроля в порошковой металлургии</i>	68
1. Общая характеристика	68
2. Химический анализ и анализ объемной характеристики порошков	71
3. Контроль технологических свойств порошка	72
4. Анализ зернистости порошка	73
5. Определение механических свойств спеченных материалов и изделий	77
6. Исследование структуры	78
7. Контроль физических свойств	81
8. Контроль антифрикционных и фрикционных характеристик	83

<i>Глава IV. Расчет и конструирование пресс-форм</i>	85
1. Технологические свойства порошков и прессовок	85
2. Способы прессования	87
3. Классификация и расчет пресс-форм	89
4. Конструирование пресс-форм	93
5. Шероховатость поверхности и нормы точности пресс-форм	96
6. Материалы, применяемые для изготовления пресс-форм	96
7. Типовые конструкции пресс-форм	97
 <i>Глава V. Основы проектирования и организации производства металлокерамических деталей</i>	106
1. Исходные данные для проектирования	106
2. Планировка и характеристика помещений для производства металлокерамических деталей	108
3. Характеристика технологического оборудования для по- рошковой металлургии	111
4. Экономическая эффективность изготовления изделий мето- дом порошковой металлургии	120
 <i>Приложение</i>	122
<i>Литература</i>	123



В. С. Раковский, В. В. Саклинский

Порошковая металлургия в машиностроении

Редактор издательства *Т. С. Грачева*
Технический редактор *Н. Ф. Демкина*
Корректор *Л. Ф. Никифорова*
Переплет художника *А. Я. Михайлова*

Сдано в набор 27/IV 1972 г.

Подписано к печати 15/XI 1972 г. Т-18417

Формат 70×108^{1/32} Бумага № 2

Усл. печ. л. 5,2 Уч.-изд. л. 7,2

Тираж 15 000 экз. Заказ 1705 Цена 36 коп.

Издательство «Машиностроение»
Москва, Б-78, 1-й Басманный пер., 3

Ленинградская типография № 6
Союзполиграфпрома при Государственном
комитете Совета Министров СССР по делам
издательств, полиграфии и книжной торговли
193144, Ленинград, ул. Моисеенко, 10

Издательство «МАШИНОСТРОЕНИЕ»

в 1973 г. выпустит в свет

НОВЫЕ КНИГИ

ГЕЦОВ Л. Б. Материалы и прочность деталей газовых турбин. 18 л. Цена ориентировочно. 1 р. 95 к.

ДУБИНИН Г. Н., АБРАМОВ Ю. С. Конструкционные, проводниковые и магнитные материалы. Учебник для вузов, 17 л. Цена ориентировочно 85 к.

Методы испытания, контроля и исследования машиностроительных материалов. В 3-х томах. Справочное пособие. Под общ. ред. А. Т. Туманова. Т. 2. Методы исследования механических свойств металлов. Под ред. С. И. Кишкиной и Н. М. Склярова. 30 л. Цена ориентировочно 2 р.

Методы испытания, контроля и исследования машиностроительных материалов. В 3-х томах. Справочное пособие. Под общ. ред. А. Т. Туманова. Т. 3. Методы исследования неметаллических материалов. Под ред. Б. И. Паншина, Б. В. Перова, М. Я. Шарова. 31 л. Цена ориентировочно 2 р. 05 к.

НАЗАРОВ Г. И., СУШКИН В. В., ДМИТРИЕВСКАЯ Л. В. Конструкционные пластмассы. Справочник. 22 л. Цена ориентировочно 1 р. 40 к.

СИЧИКОВ М. Ф. Металлы в турбостроении. Изд. 2-е, перераб. и доп. 22 л. Цена ориентировочно 1 р. 40 к.

Своевременно заказывайте и приобретайте новые книги в местных книжных магазинах, распространяющих техническую литературу.

