

- защитные и восстановительные покрытия;
- композитные клеи;
- порошковые красители;
- другую продукцию.

Благодаря природному блеску Ni находит применение в производстве монет, ювелирном и декоративно-

прикладном искусстве (в составе сплавов благородных металлов либо для их имитации).

Помимо этого, сферу производства продукции из порошкового никеля расширяет богатейший ассортимент порошков, легированных для получения желаемых дополнительных свойств такими металлами, как W, Cu, Cr, Co, Ti и их соединения.

ГЛАВА 3. КОМПОЗИТНЫЕ ПОРОШКОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ

3.1. Карбиды

3.1.1. Определение и общие характеристики

Карбиды (от лат. carbo – уголь) – группа стойких химических соединений, образуемых металлами в связке с углеродом (C). К карбидам относят также углеродные соединения некоторых неметаллов, в частности, бора (B) и кремния (Si). Углерод в составе карбидов характеризуется более высокой степенью электроотрицательности в сравнении с прочими составляющими, что дает основания не причислять их к категориям оксидов и галогенов.

Наиболее значимыми в практическом отношении технологическими качествами карбидов считаются высокие показатели их прочности, термостойкости, химической инертности. Так, карбиды WC/W₂C, TaC, TiC, MoC, ZrC, B₄C и SiC, сравнимые твердостью с корундами, не разлагаются даже в режиме экс-

тремальных температур и слабо растворимы в самых агрессивных кислотных средах.

Для получения карбидов могут использоваться как непосредственно чистые элементы, так и различные методы синтеза (углеродное восстановление, осаждение из газовой фазы, электролиз расплавов солей и т.д.). Промышленными партиями карбиды выпускают в порошкообразном виде (категория спеченных карбидов) или как специальные отливки (категория литых карбидов) (рис. 42)



Рисунок 42. Образцы промышленных карбидов

3.1.2. Общефизические свойства карбидов

Наряду со многими другими соединениями элементов таблицы Менделеева, карбиды имеют определенную гамму свойств, обуславливающих их востребованность в строительной, промышленной и горнодобывающей сферах деятельности.

К категории важнейших общих качеств, которыми характеризуются все промышленные карбиды, можно отнести следующие.

1. Высокие показатели твердости — в сравнении с чистыми элементами их карбиды отличаются значительно большей твердостью, что делает возможным применение в различных промышленных сферах. Так, одними из самых твердых веществ считаются вольфрамовые карбиды (9 из 10 баллов по шкале Мооса, используемой для определения твердости минералов).

2. Более высокая Т° плавления в сравнении с аналогичным показателем соответствующих чистых металлов и неметаллических карбидаобразующих элементов.

3. Сопротивляемость коррозионным воздействиям и негативному влиянию атмосферных факторов.

3. Высокая степень теплопроводности и термостойкости.

3.1.3. Способность к гидролизу

Многие карбидные соединения реагируют с H₂O. Некоторые (наприм., карбид Ca) – гидролизуются сразу, без дополнительных операций, иные – только в контакте с водяным паром, разогретым до температур выше 1000°C (наприм., в случае с карбидом Si – до 1850°C). Способность к реагированию при этом обуславливается характером атомарных связей. В результате взаимодействия карбидов с водой могут быть образованы те или иные углеводороды вследствие диффузии водорода из H₂O с углеродом, содержащимся в карбиде.

Предугадать состав получаемых углеводородов (возможно образование предельных и непредельных композиций), вполне реально, учитывая валентность углерода, который содержится в составе исходного вещества

Так, в составе молекулы карбида кальция CaC₂ содержится ион углерода. Следовательно, существует возможность реакции присоединения к нему двух положительно заряженных ионов водорода, в результате чего будет происходить выделение ацетилена C₂H₂. Аналогичным путем из алюминиевого карбida Al₄C₃ станет выделяться метан CH₄. Почему именно метан, а не, как, вроде бы, должно случиться, пропан C₃H₈, ведь ион углерода в данном случае имеет отрицательный потенциал 12.

Ответ не сложен: предельное количество атомов Н определяют формулой $2n+2$, где n – показатель количества атомов С.

3.1.4. Классификация по типам

Поначалу карбиды принято было классифицировать, ставя во главу угла их стойкость к воздействию H_2O и кислотных сред, а также по характеру газов, выделяемых при разложении.



Рисунок 43. Типология карбидов

В таблицах 28 и 29 приведены, соответственно, наборы основных характеристик ионных, а также ковалентных и металлоподобных карбидов.

Принятую позднее классификацию, актуальную по сегодняшний день, основывают на типе межатомной связи, обуславливающей набор конкретных свойств. Согласно ей карбиды условно подразделяют на три основных типа: солеобразные с ионной связью, ковалентные и металлоподобные (рис. 43).

Таблица 28. Характеристики солеобразных (ионных) карбидов

Карбид	Сингония	Т пл., °C	Плотн., г/см³	$\Delta H_{обр}^0$, кДж/моль
Li_2C	Ромбич.		1,3	- 59,46
Na_2C_2	Гексагон.	800 (с разл.)	1,6	17,12
K_2C_2	То же		1,62	
Be_2C	Кубич.	2400	2,44	- 59,26
Mg_2C	Тетрагон.		2,073	- 87,99
CaC_2	То же	2300	2,204	- 58,49
BaC_2	»	2000 (с разл.)	3,895	- 75,42
Al_4C_3	Ромбоэдрич.	2100	2,95	- 206,900
LaC_2	Тетрагон.	2360	5,35	- 91,23
CeC_2	То же	2290	5,60	- 62,85
ThC_2	Моноклинная	2655	9,736	- 125,28
UC_2	Тетрагон.	2350	11,79	- 91,76

* Модуль упругости 320 ГПа, микротвердость 26,9 ГПа.

Таблица 29. Характеристики ковалентных и металлоподобных карбидов

Карбид	Сингония	Т.пл., °C	Плотн., г/см³	$\Delta H_{обр}^0$, кДж/моль	Модуль упру- гости, ГПа	Модуль сдвига, ГПа	Микро- твер- дость, ГПа
TiC	Кубич.	3257	4,92	- 231,70	460	196	31,70
ZrC	То же	3530	6,66	- 199,86	355	165	29,50
HfC	»	3890	12,67	- 227,09	514	225	28,30
VC	»	2648	5,48	- 102,02	430	159	24,80
NbC	»	3613	7,82	- 140,78	345	202	21,70
TaC	»	3985	14,40	- 144,97	291	220	17,20
Cr_3C_2	Ромбич.	1895	6,74	- 98,04	380		18,00
Mo_2C	Гексагон.	2522	9,18	- 45,67	544		14,99
WC	То же	2720*	15,6	- 35,2	720		17,16
Fe_3C	Ромбич.	1650	7,69	25,05			
B_4C	Ромбоэдрич. (с разл.)	2450	2,52	- 62,00	450		49,1
SiC	Кубич. (с разл.)	2540	3,208	- 71,900	394		33,00
SiC	Гексагон.		3,217				

* Т-ра разложения по перитектич. р-ции.

3.1.4.1. Первый тип

В состав первого типа входит категория так называемых солеобразных карбидов, главным отличительным признаком которых является наличие ионной связи.

Данные карбиды образованы металлами щелочной и щелочноземельной групп, редкоземельными элементами, актинидами, а также алюминием. Они широко востребованы для корректирования химических реакций (используются с целью раскисления, восстановления и катализации).

Солеобразные (ионные) карбиды, вступая во взаимодействие с H_2O и водокислотными средами, активно разлагаются с выделением значительного объема метана (CH_4) либо ацетилена (C_2H_2) и образованием различных углеводородов, сопровождаемым выпадением в осадок металлических гидроксидов. По данному признаку их, в свою очередь, подразделяют на 2 подтипа – метанидов и ацетиленидов.

Кристаллы метанидов – бесцветные и прозрачные – в соединении с водой и кислыми водными средами разлагаются с выделением CH_4 . К наиболее востребованным метанидам относятся карбиды MgC_2 , Mg_2C , Al_4C_3 и Be_2C .

Ацетилениды в ходе гидролиза выделяют ацетилен (этин) C_2H_2 . Наиболее популярен метод получения ацетилена путем гидролиза карбида кальция: $CaC_2 + 2H_2O = Ca(OH)_2 + C_2H_2 \uparrow$. Вот почему среди ацетиленидов едва ли не самым

актуальным в промышленном отношении, особенно для газосварочных процессов, считают именно карбид CaC_2 , нередко именуемый в обиходе «топливом для сварки».

Генерируемый при гидролизе CaC_2 ацетилен C_2H_2 незаменим для газосварки и резки тугоплавких металлов, поскольку в кислородной среде T° пламя ацетиленовой горелки может достигать $3200^\circ C$ и даже превышать это значение, что, в среднем, более чем вдвое выше, чем T° плавления самих металлов.

Для обеспечения безопасной работы с ацетиленом его производство на основе CaC_2 осуществляют с применением специальных генераторов (рис. 44).

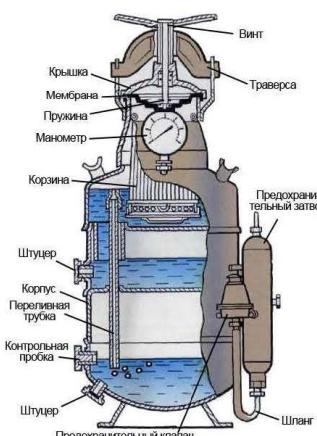


Рисунок 44. Сварочный генератор ацетилена

Корпус устройства состоит из пары последовательно расположенных в вертикальной плоскости камер: нижней

промывочной и верхней газогенерирующей с жестко приваренной крышкой, через отверстие в которой в закрепленный под крышкой короб вставляют корзинку с CaC_2 . Крышка герметично притягивается к верху горловины и фиксируется винтом.

В генератор заливают воду, пропускаемую сквозь короб. C_2H_2 , образуемый в ходе гидролиза, через переливную трубку поступает в заполненный водой бак промывочной камеры. Проходящий через водяной затвор ацетилен подвергается охлаждению и через клапанное устройство поступает в шланг, соединенный с горелкой либо резаком.

Чтобы избежать вступления промышленных партий CaC_2 в реакцию с атмосферными парами H_2O и неконтролируемого выделения в атмосферу ядовитого и крайне пожароопасного ацетилена, хранение CaC_2 , согласно нормативам, регламентируемым ГОСТ 1460-81, осуществляют в азотной среде, в герметичных стальных барабанах емкостью 100 дм³, изготавливаемых по ГОСТ 5044-79 (рис. 45).

Заполненную CaC_2 тару, в свою очередь, хранят только в закрытых помещениях, имеющих соответствующий класс пожарной безопасности, строго соблюдая весь комплекс соответствующих мер.

Выделение C_2H_2 происходит также в ходе гидролиза Na_2C_2 , K_2C_2 и других ацетиленидов.



Рисунок 45. Стальные герметичные емкости с упакованным в них карбидом кальция, предварительно уложенным в заполняемые азотом полимерные пакеты.

Все металлы щелочной группы гидролизуются очень активно. Так, при соединении CaC_2 с H_2O сразу же возникает сильный взрыв с мгновенным разложением образующегося C_2H_2 и выделением свободного углерода. Поэтому реакцию $K_2C_2 + 2H_2O = 2KOH + C_2H_2 \uparrow$ проводят, постепенно пропуская над карбидным слоем водяной пар.

В некоторых случаях возможно получение карбидов ацетиленидного типа путем прокачки C_2H_2 сквозь растворы металлических солей (например, карбиды Ag , Cu , Au , Hg и др.). Ацетилениды получают также воздействием C_2H_2 на свободные щелочные металлы.

3.1.4.2. Второй тип

Ко второму типу причисляют линейку так называемых ковалентных карбидов, образуемых кремнием (SiC) и бором (B_4C , B_{12}C_3).

В периодической таблице данные элементы соседствуют с углеродом, чем обусловлена близость размерных атомарных характеристик и свойство электроотрицательности.

Образование данных соединений происходит при частичном замещении в алмазной кристаллической решетке атомов С на атомы В и Si, чем обусловлена их близость к алмазу по ряду физико-химических свойств, включая исключительную твердость и жаростойкость, прочность межатомных связей, химическую нейтральность. Набором этих и других полезных качеств обусловлена промышленная ценность карбидов Si и B.

Так, важнейшей областью применения ковалентных карбидов является изготовление на их базе сверхтвердых сплавов, близких по твердостным показателям к корундам (рис. 46).

На базе ковалентных карбидов осуществляется и производство шлифовально-полировальных абразивных кругов для обработки металлических поверхностей (рис. 47), а также линейки огнепроводов и нагревательных элементов, без которых становятся невозможными высокотемпературные производственные технологии.



сплавов на базисе ковалентных карбидов методом плавки в индукционной печи.



Рисунок 47. Сверхтвёрдые абразивные круги из карбида B_4C



Рисунок 48. Карбид кремния, обладая свойствами полупроводника, широко используется в производстве светоизлучающих диодов

Широко используют группу карбидных соединений данного типа в производстве полупроводниковой продукции (рис. 48.).

На основе бора образуется два карбида, имеющих четко выраженную структуру – это B_4C и B_{12}C_3 . Наиболее используемым в промышленных целях является первый из них, имеющий вид черных кристаллов с присущим им характерным блеском. Данный карбид в композиции с изотопом ^{10}B применяют в качестве необходимого для атомной энергетики поглотителя нейтронов.

Чистый кристаллический карбид SiC (карборунд) бесцветен. Тем не менее, при наличии тех или иных примесей, кристаллы карборунда могут иметь широкую гамму цветовых оттенков, вплоть до темно-бордового, густо-фиолетового или даже черного. По кристаллической структуре SiC схож с алмазом: его получают путем замены половины атомов С в решетке алмаза на атомы Si. Карбид кремния в сравнении с карбидами бора более хрупок, но зато он более стоек в химическом отношении, окисляясь только при $T > 1000^\circ\text{C}$ и частично растворяясь лишь в царской водке (смесь соляной и серной кислот). SiC получают только искусственным путем: в природе он почти не встречается, за исключением разве что ничтожного количества чрезвычайно редкого минерала — мусассанита, имеющего внеземное (метеоритное) происхождение.

3.1.4.3. Третий тип

К третьему типу причисляют категорию металлоподобных карбидов, образуемых металлами IV–VII групп таблицы Менделеева, а также Co, Fe и Ni.

Металлоподобные карбиды имеют иную структуру, чем солеобразные и ковалентные. В их кристаллических решетках атомы C, отличающиеся скромными размерными параметрами, не объединены с атомами металлов, свободно размещаясь в промежутках между ними. Данный фактор обуславливает разнообразие химического состава карбидов даже в рамках одного металла. Так, на базе Cr могут быть образованы карбиды Cr_3C_2 , Cr_4C , Cr_7C_3 и другие. Именуемые еще карбидами внедрения, подобные вещества обычно имеют высочайшую степень жаропрочности и твердости. Уместно подчеркнуть, что карбиды TaC и HfC являются самыми тугоплавкими из всех химических соединений, имея, соответственно, T_p плавления 3986 и 3892 $^\circ\text{C}$.

Карбидам металлоподобного генезиса присущи также высокие значения электропроводности и невосприимчивости к воздействию агрессивных сред. Вот почему их столь актуально применять в различных металлургических отраслях, в т.ч. в порошковой металлургии. Так, в частности, с помощью карбидов Fe_3C , Cr_3C_2 и MoC осуществляют поверхностную цементацию сталечугунных изделий, а на базисе карбидов WC, TiC, TaC, VC с демптирующими добавками Co и других смягчающих химических элементов

тов производят твердые сплавы, необходимые для нанесения термостойких покрытий на детали машин и механизмов, производства электротехнической продукции, металлорежущего и породоразрушающего оборудования.

Среди металлоподобных карбидов наиболее значимыми с практической точки зрения являются карбиды вольфрама.

3.2. Карбиды вольфрама

Вольфрамовые карбиды подразделяются на две разновидности – монокарбид WC и полукарбид W_2C . Первый в сравнении со вторым отличается меньшей устойчивостью и твердостью, зато, в противоположность W_2C , он образует кристаллы в расплавленном вольфраме (рис. 49).

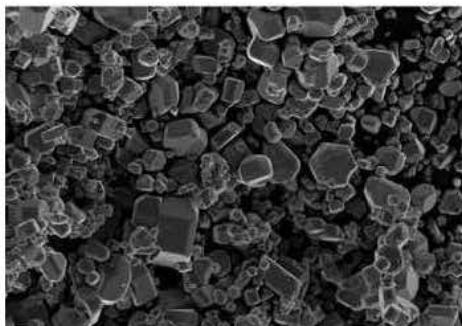


Рисунок 49. Кристаллы WC под микроскопом

В отличие от монокарбида WC полукарбид W_2C является более термостойким и сравнительно быстро внедряется в твёрдые растворы WC с Fe, Co и др. металлами. Помимо, этого, к полезным свойствам полукарбида вольфрама

можно причислить исключительную износостойчивость.

Для промышленного применения актуально каждое из данных химических соединений.

Набор физикомеханических характеристик WC и W_2C определяется их дисперсностью, степенью химической чистоты, а также зависит от технологии получения, и, как следствие, от планируемой сферы практического использования.

3.2.1. Методы получения вольфрамовых карбидов

К практически значимым причисляют следующие промышленные методы производства карбидов вольфрама.

3.2.1.1. Метод углеродного насыщения.

Самым распространенным методом получения карбидов WC и W_2C является прокаливание смеси сажи с порошком чистого W, восстановленного из WO_3 , при температуре $\geq 1300^{\circ}\text{C}$.

Взятые в требуемом соотношении порошки W и сажи подвергают сухому смешиванию в барабанной или шаровой мельнице, а затем – брикетированию. После этого полуфабрикат прокаливают в печи непрерывного действия, где и происходит процесс карбидизации – химического взаимодействия W и C с целью получения стойкого соединения, в коем атомы углерода пребывают в химически связанном состоянии

с атомами металла. Чтобы защитить спекаемую смесь от окисления, синтез карбида проводят в водородной среде. Взаимодействие C и H в высокотемпературном режиме ($\geq 1300^{\circ}\text{C}$) приводит к образованию ацетилена (C_2H_2), который мгновенно выгорает. Рабочим тепловым режимом карбидизации для мелкодисперсных порошков W является температура около 1350°C , а для крупнодисперсных – около 1650°C при времени прокаливания 1,5-2,5 часа соответственно. По окончании термообработки партия слегка спекшихся карбидных брикетов поступает в мельницу, где измельчается до состояния порошка, просеиваемого, в конечном итоге, сквозь отверстия калибровочных сит. Реликт вольфрамового карбида получают путем расплавления полученных спеченных брикетов с последующим размолом образовавшегося слитка.

3.2.1.2. Метод углеродного восстановления трехокиси вольфрама с помощью карбидизацией.

Реакция восстановления WO_3 осуществляется через газовую fazу в присутствии CO и H. В отличие от описанного выше, данный метод является комбинированным, объединяя в себе как восстановление, так и карбидизацию W, поскольку в состав исходной шихты добавляют требуемый для синтеза карбида объем сажи.

3.2.1.3. Метод восстановления соединений W с последующей карбидацией.

Еще один промышленный метод карбидизации W заключается в нагревании до $860\text{--}1100^{\circ}\text{C}$ в метано-водородной среде смеси, которую составляет вольфрамовая кислота (моногидрат триоксида вольфрама $WO_3 \cdot H_2O$) в сочетании с WO_3 .

3.2.1.4. Электролиз солевых расплавов.

Карбид вольфрама получают также, подвергая электролизу смеси расплавов тетрабората или карбоната натрия ($Na_2B4O_7 \cdot 10H_2O$ и Na_2CO_3 соответственно), фторида лития (LiF) и трехокиси вольфрама (WO_3).

3.2.1.5. Карбид вольфрама монокристаллический.

Получение монокристаллического вольфрамокарбида осуществляется путем выращивания монокристаллов WC из микса Co–40%WC, расплавленного в тигле из Al_2O_3 при 1620°C . Расплав после гомогенизации остужают до 1520°C в низкоскоростном режиме (не более 1–3 °C/мин.) и выдерживают на протяжении 13 час. Затем расплав подвергают охлаждению с последующим растворением образовавшейся кобальтовой матрицы в среде кипящей концентрированной HCl.

3.2.2. Технологические свойства карбидов вольфрама

К важнейшим технологическим свойствам вольфрамовых карбидов относят высокие значения их твердости (в т.ч. при повышенных температурах), износостойкости и тугоплавкости, обусловленные прочностью межатомных связей в кристаллах WC/W₂C. Их, как и карбиды иных твердых металлов, характеризуют также металлическая проводимость и положительный коэффициент электросопротивления.

К основным свойствам чистого монокарбида WC ($\geq 98\%$) можно причислить:

- предельную прочность изгиба (МПа) – ≥ 1020 ;
- предельную прочность сжатия (МПа) – ≥ 9510 ;
- значение модуля упругости (ГПа) – 69,3;
- значение ударной вязкости ($\text{кГм}/\text{см}^2$) – 1,21...1,31;
- значение твёрдости (Роквелл, HRA) – ≥ 90 ;
- значение плотности ($\text{г}/\text{см}^3$) – 15,1...15,52;
- значение эрозионной стойкости (10-6 моль) – 0,31...0,81.

Характерно, что при высоких показателях T° плавления карбидов WC/W₂C, значения их термостойкости являются весьма низкими. Этот кажущийся парадокс можно объяснить жесткостью кри-

сталлической структуры данных соединений, и, значит, почти полным отсутствием терморасширения. В то же время вольфрамокарбидам присущи высокие показатели теплопроводности, возрастающей у WC по мере повышения T° нагрева вдвое быстрее, нежели у W₂C.

Карбиды WC/W₂C обладают неплохой электропроводимостью, значение которой у WC почти вчетверо превосходит показатель данного параметра у W₂C. По мере нагрева значения удельного электросопротивления обоих карбидов возрастают, а показатели упругости – пропорционально снижаются. Именно поэтому вольфрамокарбиды легко подвергаются электрофизической обработке: при локальном воздействии электрического искрового либо дугового импульса, других высококонцентрированных источников тепловой энергии, наблюдается резкий рост температуры, способствующий размерной деструктуризации этих соединений в обрабатываемой области.

3.2.3. Практическое применение

Сфера промышленного использования карбидов вольфрама во многом определяются их механическими характеристиками – твёрдостью и хрупкостью. В свою очередь, микротвёрдость зерен зависит, главным образом, от температурного режима, в котором происходит процесс карбидизации. Показатели пористости в данном случае менее значимы. По мере возрастания температурных значений и сопутствующего роста

активности атомов W и C дефекты зерен самоустраниются, способствуя увеличению конечной микротвердости соединений. При этом анизотропия свойств проявляется слабее по сравнению с аналогичной характеристикой металлов.

Значения упругости вольфрамовых карбидов являются наивысшими для класса вольфрамо-углеродных соединений, возрастаая на фоне роста пористости. Данный фактор важен для карбидосодержащих изделий, которые предполагается эксплуатировать в знакопеременных нагрузочных условиях. Показатели пластичности карбидов WC и W₂C малозначительны ($\leq 0,016\%$) и не ухудшают полезных свойств.

Чистые вольфрамокарбиды используют в основном с целью нанесения на металлические детали защитно-упрочняющих покрытий (рис. 50).



Рисунок 50. Деталь с нанесенным на нее покрытием из карбida вольфрама.

Наличие поверхностного карбидовольфрамового покрытия обуславливает значительное повышение устойчивости к износу и эрозионным воздействи-

ям, препятствует образованию окалины. При этом значение фактора хрупкости минимизируется благодаря предельно малой толщине наносимого карбидонасыщенного слоя, исчисляемой десятками микрон.

3.2.4. Методы формирования карбидовольфрамовых покрытий

Чаще всего применяются такие распространенные технологии формирования тонкослойных карбидовольфрамовых покрытий, как:

- метод газопламенного напыления;
- метод плазменного напыления;
- метод детонационного газотермического напыления.

3.2.4.1. Газопламенное напыление

В ходе газопламенного напыления (рис. 52) мелкодисперсный карбидовольфрамовый порошок плавится ацетиленокислородным пламенем, температура которого может достигать 21000°С. При этом частицы в потоке раскаленного газа перемещаются со скоростью от 155 до 215 м/с, обретая высокий энергетический потенциал, что позволяет им быстро заполнять пространство микропустот на обрабатываемой металлической поверхности и формировать на ней при застывании тончайший слой прочного покрытия.



Рисунок 51. Метод газоплазменного напыления

3.2.4.2. Плазменное напыление

При всех плюсах метода газоплазменного напыления ему присущ весьма значимый минус: кислородонасыщенное пламя горелки выжигает часть углерода. Вот почему, если возникает необходимость формирования покрытий наивысшего качества, предпочтение отдается более высокотехнологичному плазменному напылению (рис. 52).



Рисунок 52. Плазменное напыление

Исключительно высокая температура плазмы, превышающая 55000°C , исключает возможность проникновения на обрабатываемую поверхность кислорода даже на атомарном уровне, что де-

лает химсостав карбидосодержащего покрытия практически идеальным. Помимо этого, плазменное напыление характеризуется в разы более высокой производительностью в сравнении с аналогичным показателем газоплазменного метода, при котором рабочая область нуждается в периодической аргонной очистке от налета шлака, образуемого остаточными продуктами выгорающего углерода.

3.2.4.3. Детонационное напыление

В основу метода детонационного напыления заложен принцип нагрева частиц напыляемого порошкового материала до высоких температур с последующим их резким ускорением и взрывным переносом на исходную поверхность детали посредством детонации горючей кислородоуглеводородной смеси в герметичной рабочей камере-«стволе» так называемой детонационной пушки (рис. 53).



Рисунок 53. Напыление детонационно-термическим способом

Детонационный процесс является дискретным и предусматривает поэтапную реализацию отдельных процедур в составе единого цикла (выстрела):

- ствольная камера детонационной пушки заполняется горючей смесью летучих углеводородов;

- в камеру пушки подается карбидвольфрамовый порошок мелкой дисперсии;

- при искровом разряде в камере происходит мгновенное возгорание и взрывная детонация газовой смеси;

- под воздействием энергии детонации происходит стремительное оседание частиц карбида на исходную поверхность с равномерным формированием слоя карбидвольфрамового покрытия.

Детонационные покрытия, обладая высокой адгезией за счет больших скоростей частиц напыляемого материала ($650\text{--}1100 \text{ м/сек.}$), имеют плотность, приближающуюся к аналогичному показателю металлокерамики. При этом сама подвергаемая напылению деталь почти не нагревается.

Наряду с высочайшей твердостью вольфрамовым карбидам присуща и высокая хрупкость, что ограничивает возможность их механической обработки. Поэтому в чистом виде данные углеродистые соединения используют главным образом для нанесения покрытий. Основной же сферой промышленного применения карбидов вольфрама является создание на их основе высокопрочных вольфрамокобальтовых твёрдых сплавов, содержащих 85-95% WC и 5-14% Co. Широко распростране-

ны и комбинированные композиции с добавками карбидов титана и tantalа. Тем не менее, содержание карбида вольфрама в таких сложных соединениях остается преобладающим и не может быть ниже 70%.

3.3. Карбидосодержащие твердые сплавы

3.3.1. Основные сведения о твердых сплавах

Сами по себе тугоплавкие металлы характеризуются низким пределом прочности. Чрезмерно высокая хрупкость при высочайшей твердости присуща также карбидам тугоплавких металлов – вольфрама (W), титана (Ti), tantalа (Ta) и т.д., что затрудняет их механическую обработку. Вот почему в порошковой металлургии прямое использование твердых металлов и их карбидов для непосредственного изготовления деталей (в т.ч. металлорежущего инструмента) весьма ограничено. Для этой цели применяют, главным образом, их сплавы (спеченные и литьевые) с более мягкими и пластичными металлическими компонентами, образующими демпфирующую связующую среду. В качестве такого связующего компонента в сплавах на вольфрамокарбидной основе обычно выступает кобальт (Co), не оказывающий на карбиды разрушительного воздействия и, что немаловажно, не образующий своих карбидов. Довольно часто, особенно при получении не содержащих вольфрама сверх-

твердых сплавов (безвольфрамовые сплавы) демпфирующей связкой служит сочетание никеля (Ni) с примесями таких переходных металлов, как Mo, W, Cr, Nb и т.д. Твердые сплавы (здесь и далее – ТС) обладают набором свойств, присущих одновременно всем входящим в их состав компонентам, что значительно расширяет сферу практического применения подобных композитных материалов.

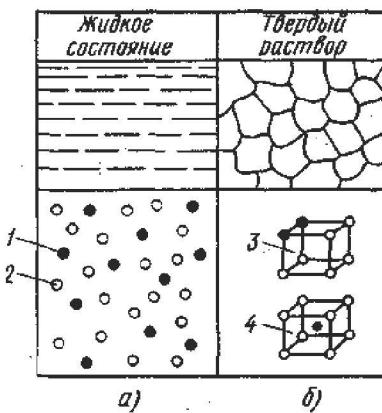


Рисунок 54. Структурная схема элементарной ячейки ТС из металлических компонентов А и В:

1. – Атомы компонента А (основной растворяемый компонент).
2. – Атомы компонента В (металлическое связующее-растворитель).
3. – Структура твердого раствора замещения.
4. – Структура твердого раствора внедрения.

а). Структурная однородность расплава (жидкого раствора) присуща большинству образующих его металлов, способных взаиморастворяться в любых процентных концентрациях. В однородном расплаве атомы растворяемого компонента А равномерно распределяются между атомами компонента В, выполняющего функцию растворителя. Лишь некоторые металлы, ввиду значительного размерного несоответствия, ограниченно взаиморастворяются в составе расплава либо вообще не образуют друг с другом жидких растворов даже частично однородной структуры. В ходе отвердевания и кристаллизации компоненты сплавов могут взаимодействовать по-разному.

б). Переход в твердую агрегатную фазу, однородных расплавов по мере их остывания завершается кристаллизацией твердых растворов. При этом функцию матрицы выполняет сохраненная решетка компонента-связки (растворителя), а основной растворяемый компонент присутствует в ней в виде отдельных атомов, либо замещая атомы растворителя в тех или иных узлах его кристаллической решетки (неупорядоченные твердые растворы замещения), либо располагаясь в междудомном пространстве матрицы (упорядоченные твердые растворы внедрения). Примерами твердых растворов замещения можно, в частности, считать композиции Ag+Au, Ni+Cu, Mo+W, V+Ti, Al+Si и др., а твердых растворов внедрения – сочетания металлического матричного

компоненты-растворителя с растворимыми неметаллическими элементами (H, C, O, N, B и др.), напр. Fe+C.

Все твердые растворы гомогенны, являясь однофазными системами без поверхностей раздела, в которых отделить друг от друга составляющие их компоненты механическими способами не представляется возможным.

3.3.2. Общее определение твердых сплавов

В металлокерамических карбидосодержащих сплавах, являющихся твердыми растворами, растворямыми

компонентами служат, главным образом, зерна тугоплавких вольфрамокарбидов (WC и W₂C) и/или титанокарбидов (TiC), а матрицей-растворителем (цементирующе-демпфирующим связующим) – металлический Co, Fe или соединение Ni+Mo. Процентная концентрация связки в тех или иных марках металлокерамических сплавов неодинакова и может изменяться в пределах от 3,5 до 16 % от массы состава в целом. Помимо вольфрамо- и титанокарбидов, в производстве твердосплавной промышленной продукции более всего востребованы карбиды Ta, Ti, Cr, Mg, Hf, Nb (рис. 55).



Рисунок 55. Определение твердых сплавов и образцы изделий из них

3.3.3. Видовые категории твердых сплавов

Большинство металлокерамических сплавов производят из порошкового микса, образуемого тщательным смешением мелкодиспергированных порошков тугоплавких металлических

карбидов и чистого металлического связующего (рис. 56). Полученную шихту подвергают формопрессованию, после чего образовавшиеся заготовки спекают.



Рисунок 56. Порошковый микс под микроскопом.

Всю номенклатуру ТС, в зависимости от того, какой состав имеет карбидная

Твердые сплавы – твердый раствор карбидов вольфрама (WC), титана (TiC), tantalа (TaC) с кобальтом (Co). Кобальт используется для связки частиц карбидов. Твердые сплавы подразделяются на следующие виды:

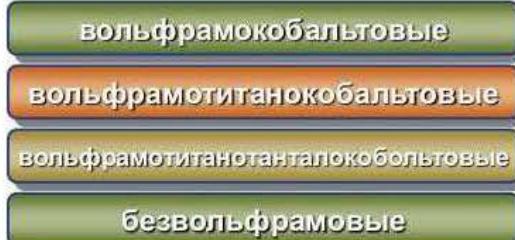


Рисунок 57. Видовые категории твердых сплавов

Отдельного внимания заслуживает категория, в которую входят безвольфрамовые твердые сплавы (БВТС) типа ТН, где карбидными компонентами служат TiC, HfC, NbC, TaC и карбиды иных тугоплавких металлов, а в роли матричного связующего выступает композиция Ni+Mo. Производство продукции из БВТС обеспечивает возможность замены дефицитных W и Co менее дорогостоящими металлами с целью расширения номенклатурного спектра

фаза, подразделяют на следующие основные видовые категории (рис. 57):

- Одно-карбидная – WC + Co (типа ВК – вольфрамовые);
- Двух-карбидная – WC + TiC + Co (типа ТК – титан-вольфрамовые);
- Трех-карбидная WC+TiC+TaC+Co (типа ТТК – титан-тантал-вольфрамовые).

3.3.3.1. Вольфрамо-кобальтовые сплавы.

Сплавы вольфрамо-кобальтовой группы состоят, главным образом, из вольфрамокарбидов, а в качестве матричного связующего в них, как правило, используют чистый Co. В отечественной ПМ эти сплавы обозначают двумя главными буквами русского алфавита – ВК (вольфрам-кобальт) и цифрой, указывающей процентную концентрацию Co.

Физикомеханические свойства сплавов ВК определяются размерными параметрами карбидных зерен, количеством Co (от 1,5 до 32 %) в общей массе и технологическими различиями производственных процессов спекания и литья. Укрупнение карбидовольфрамовых зерен делает сплав более вязким и одновременно влечет за собой повышение твердости. При повышении концентрации Co улучшаются прочностно- режущие характеристики, однако ухудшаются прочность и стойкость к износу. Вот почему сплавы с невысокой концентрацией Co (ВК2, ВК3, ВК4), характеризующиеся относительно малыми значениями жесткости и устойчивости к износу, ввиду их невысокой прочности целесообразно применять при изготовления инструмента, предназначенного для чистовой обработки поверхностей.

Наряду с концентрацией Co и параметрами зернистости вольфрамокарбидной фазы, существенное воздействие на комплекс эксплуатационных

свойств сплавов ВК оказывает степень их науглероживания. Это можно объяснить тем, что от концентрации С (графита) во многом зависит состав Со-фазы, влияющий, в свою очередь, на условия растворимости W в Co, а значит, и на качественные параметры соединения. Так, переизбыток С в сплаве ухудшает его износостойкость, а недостаточное количество данного химического элемента, напротив, вызывая возникновение фазы (W_3Co_3C) и увеличивая степень устойчивости к износу, одновременно негативно влияет на прочностные характеристики. Как видим, при неизменной концентрации Со низкоуглеродистые сплавы ВК обладают большей износостойчивостью, но меньшей прочностью в сравнении с высокоуглеродистыми. По мере роста в составе сплава концентрации Со пропорционально возрастает и влияние С на эксплуатационные качества сплава.

К настоящему времени разработан ряд технологических методов, обеспечивающих возможность создания твердых вольфрамокарбидных сплавов со средними размерными параметрами карбидных зерен, варьирующими в широких пределах от 0,1 до 11-16 мкм. Закономерность, согласно которой укрупнение карбидзернистости влечет за собой снижение значений твердости, упругости и сопротивляемости абразивоизносу с одновременным возрастанием прочности на изгиб, учитывается при получении сплавов необходимых характеристик.

В число самых практически востребованных ВК-сплавов входят, прежде всего, марки ВК6, ВК8 и ВК10, в которых концентрация Со-составляющей достигает, соответственно, шести-восьми- и десятипроцентной отметки. Их используют, главным образом, для производства режущего инструмента, позволяющего эффективно осуществлять грубую механообработку чугунов и цвет. металлов/сплавов, а также ряда материалов неметаллического генеза.

Для наглядности приведем химический состав марки ВК8 (в % от общей массы):

- Со – 7,55-8,15;
- О – ≤ 0,51;
- С (общ.) – 5,31-5,66;
- С (свободн.) – ≤ 0,12;
- Fe – 0,31.

Обработку стальных поверхностей инструментами из сплавов ВК вышеуказанных марок проводить нецелесообразно ввиду их недостаточной устойчивости к износу. К разряду исключений здесь можно причислить лишь марки ВК6-М, ВК6-ОМ, ВК8, ВК10-ОМ, успешно применяемые для обработки жаро- и коррозиестойчивых сталей/сплавов Ti. Однако с этой целью лучше использовать особомелкозернистые марки ВК-сплавов с легирующими включениями хромокарбидов (ВК10Х-ОМ и ВК15Х-ОМ).

Сфера применения. Продукция из твердых ВК-сплавов – это, в основном, представленные в широком ассортиментном спектре подшипники скольжения, уплотнения торцов, компоненты запорной арматуры, матрицы, пuhanсоны, пресс-формы, штампы, другие изделия различных функциональных назначений. (рис. 58).



Рисунок 58. Деталь из вольфрамо-кобальтового сплава ВК8

3.3.3.2. Титано-вольфрамо-кобальтовые твердые сплавы.

Сплавы данного типа включают в себя зерна сложной вольфрамо-титановой карбидной композиции, сцепленные демпфирующей Со-связкой. Тип сплавов обозначается буквенной аббревиатурой ТК (Т – Ti; К – Co). В конкретных марках цифры после букв указывают, соответственно, на процентную концентрацию в общей массе сплава долей TiC и Со. Оставшаяся часть соединения представлена вольфрамокарбидом. С возрастанием концентрации TiC прочность сплава снижается, а концентрации Со – повышается.

Технологию изготовления титано-вольфрамо-кобальтовых сплавов можно, в общих чертах, отобразить в виде следующей схемы (рис. 59).

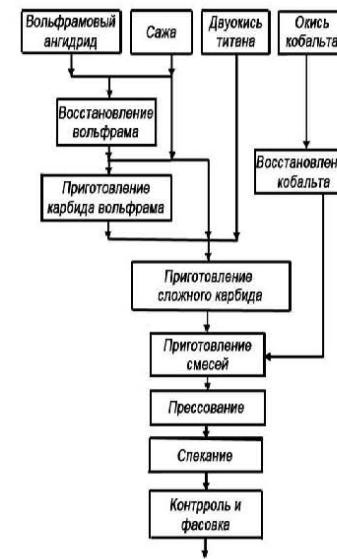


Рисунок 59. Схема изготовления титано-вольфрамо-кобальтовых сплавов

Восстановленный из ангидрида WO_3 порошок чистого W в смеси с С (углеводородная сажа) и диоксидом титана TiO_2 подвергается карбидации, после чего полученный сложный карбид миксуется с порошковым кобальтом, восстановленным из соответствующего оксида (обычно Co_3O_4). Затем готовая исходная шихта прессуется в формы и спекается. Заключительным этапом процесса является контроль качества конечного продукта и его расфасовка.

Титано-вольфрамо-кобальтовые сплавы (ТК), в сравнении со сплавами ВК, более устойчивы к окислению, имея также большую твердость и термостойкость (показатель термостойкости ТК-

сплавов составляет около 920 °С, ВК-сплавов – около 820 °С), имея при этом меньшие значения тепло-электропроводности и модуля упругости.

Сплавам ТК присуща и такая отличительная особенность, как повышенное сопротивление износу адгезионно-усталостного генеза, что объясняется более высоким, в отличие от сплавов ВК, значением термопорога схватываемости со сталью. Благодаря данному фактору термостойкий инструмент из ТК-сплавов можно использовать в режиме высокоскоростной обработки стальных заготовок.

Стандартизованные марки ТК-сплавов различаются по химсоставу, что обуславливается их функциональным назначением. Концентрация в них титанокарбида может варьироваться в диапазоне 5,5-30,5 %, а Со – от 3,5 до 11%.

Как и в случае с ВК-сплавами, с увеличением концентрации Со у ТК-сплавов возрастают показатели прочностного предела на изгиб/скатие и ударовязкости. С повышением концентрации С в рамках 3-х фазовой области изгиба прочность также возрастает на фоне снижения показателей твердости/износостойчивости. Наличие в структуре свободных углеродных зерен (графит) одновременно минимизирует значения прочности, твердости и износостойчивости при обработке методами резания.

у ТК-сплавов, в которых концентрация Со и размерные параметры карбидных фаз сопоставимы, по мере повышения концентрации титанокарбида снижаются прочностные показатели изгиба/сжатия, ударовязкости и модуля упругости.

Сообразно перечисленным закономерностям изменяется и режущие характеристики марок титано-вольфрамо-кобальтовых сплавов: повышение концентрации Со снижает износостойчивость при механообработке путем резания, а возрастание концентрации TiC (при неизменной объемной концентрации Со) сопровождается повышением устойчивости к износу при одновременном снижении функциональных прочностных характеристик. Поэтому сплавы марок ТЗОК4 и Т15К6 с невысокой концентрацией Со, имеющие наивысший потенциал пластичной прочности, используются для создания режущего инструментария, которым выполняют чистовую/получистовую механообработку сталей в высокоскоростном режиме при допустимых динамических нагрузках. Инструмент из сплавов Т5К10, Т5К12 с максимальным содержанием Со и наивысшим запасом хрупкоперочности применяют в экстремальных условиях с высокими ударонагрузками в режимах малых скоростей.

Едва ли не самым востребованным в сфере промышленного производства считается титано-вольфрамо-кобальтовый сплав марки Т15К6,

имеющий следующий химсостав (в % от общей массы):

- вольфрамокарбиды – 79;
- TiC – 15;
- Со – 6.

Основные физикомеханические характеристики:

- предельная прочность на изгиб ($\text{kgc/mm}^2 - \text{Н/mm}^2$) – $\geq 1176^*(120)$;
- показатель твердости (HRA) – $\geq 90,1$;
- значение плотности г/cm^3 – 11,12-11,62.

Рекомендуемые виды механообработки инструментом из сплава Т15К6:

- получерновое точение в беспрерывном режиме;
- чистовое точение в прерывистом режиме;
- токарная резьбонарезка;
- получистовая/финишная фрезеровка плоских поверхностей;
- расточка отверстий, подвергнутых предобработке;
- чистовая зенкеровка и прочие сходные разновидности механообработки заготовок из легированных и высокоуглеродистых сталей.

Таким образом, ТК-сплав данной марки, ввиду невысокой концентрации

в его составе СО, актуален преимущественно для обработки заготовок в беспрерывном режиме (т.е., в частности, не для строгания/долбления, а для выполнения токарных и фрезеровочно-сверлильных операций). Изготовленный из него инструмент используют при работе со сталями, латунями, бронзами, другими высоковязкими металлами/сплавами.

3.3.3.3. Титано-тантало-вольфрамо-кобальтовые твердые сплавы.

Группа промышленных титано-тантало-вольфрамо-кобальтовых сплавов (сокращенно – аббревиатура ТТК) – это разновидности твердых растворов, включающих в свой состав 3 основные фазы: карбидовольфрамовую, сложнокарбидную (TiC – TaC) и матричное демптирующее связующее на базисе Со.

Российским ГОСТ 3882-74 регламентированы четыре марки ТТК-сплавов – ТТ8К6, ТТ10К8Б, ТТ7К12 и ТТ20К9, где концентрация TaC варьируется в пределах 1.98...12.03 %.

Наличие в данных соединениях танталокарбида способствует оптимизации их физикомеханических и функциональных свойств за счет увеличения прочностных и твердостных характеристик в широком температурном диапазоне, снижению ползучести и деформационной устойчивости при циклических нагрузках, существенному повышению усталостного предела, жаростойкости и

устойчивости к коррозии под воздействием атмосферных факторов.

Результаты многочисленных исследований эксплуатационных качеств изделий из ТТК-сплавов показывают, что рост в их составе концентрации танталового карбида повышает устойчивость к износу при механообработке способами резания.

Учитывая перечисленные особенности, инструмент из ТТК-сплавов целесообразно использовать для прерывистой обработки резанием с целью получения срезов переменных сечений, прежде всего, путем фрезеровки с циклическими нагрузками термомеханического характера. Подобные фрезеровочные операции при обработке стальных заготовок рекомендуется выполнять с применением сплава марки ТТ20К9.

Процедуры черновой/получерновой механообработки сталей тех марок, которые причисляют к высоко легированным, нержавеющим и жаростойким, а также некоторых сплавов, показано осуществлять инструментарием из сплава ТТ10К8-Б.

Чистовую/получистовую расточку и фрезеровку чугунов, цв. металлов, а также беспрерывную механообработку сплавов Ti и сталей, отличающихся высокой прочностью и устойчивостью к коррозии, производят инструментом из сплава ТТ8К6.

Наивысшей хрупкоперочностью характеризуется сплав ТТ7К12, инструмент

из которого рекомендован для механообработки вязких металлов в экстремальных прерывистых режимах. Использование сплава ТТ7К12 делает возможным выполнение операций резания со скоростями, более чем вдвое превышающими значения аналогичного критерия для быстрорежущих инструментальных сталей.

3.3.3.4. Безвольфрамовые твердые сплавы.

Применение инновационных технологий в сфере получения твердых сплавов, развитие металлургической промышленности в целом и ПМ в частности, а также высокая стоимость дефицитного вольфрама – объективные факторы, обусловившие необходимость

создания широкого спектра т. наз. безвольфрамовых твердых сплавов (БВТС), регламентируемого нормативами ГОСТ 26530-85. В отечественном металловедении буквенные значения марок БВТС обозначают аббревиатурой ТН (твёрдые, не содержащие вольфрама).

К категории ТН причисляют марки не содержащих вольфрамокарбида твердых растворов, в которых выполнение основной рабочей функции возложено на зерна карбидов иных металлов, а также карбонитридов и боридов титана, а в роли цементирующего связующего выступают Ni и/или Co с возможными легирующими включениями переходных металлов – Mo, W, Cr, Nb и т.д. (табл. 30).

Таблица 30. Химический состав стандартных марок БВТС

Марка сплава	TiC	%Ni	%Mo	$\sigma_{изг}$, МПа
ТН20	79	20	1	1080
ТН25	74	19	7	1180
ТН30	70	24	6	1270
ТН50	50	37	13	1225

Примечание: цифровой индекс после буквенного в обозначении марок БВТС показывает суммарный массовый процент связующего компонента (Ni+Mo).

БВТС органично сочетают в своем составе комплекс свойств как керамического (высочайшие значения твёрдости/износостойчивости, неподверженность коррозии, минимальная адгезия), так и металлического генеза (прочность, устойчивость к ударным деформациям и т.д.). По твердостным характеристи-

кам БВТС не уступают вольфрамосодержащим сплавам, хотя несколько проигрывают им в плане прочности/упругости.

БВТС характеризуют высокие значения термостойкости (до 1200°C), но меньшая крепость, чем у вольфрамосодержащих ТС, поэто-

но применять для чистовых/получистовых операций. Вследствие незначительной способности слипаться с обрабатываемой областью почти не возникает наростообразования на режущих кромках. Инструментарий из БВТС высокоэффективен для механообработки, поэтому вместо шлифования можно применять гораздо более выгодное в технологическом отношении чистовое точение. Однако инструмент из БВТС практически не поддается пайке и затачиванию, вследствие чего выпускается как неперетачиваемые многоугольные пластины.

3.3.3.5. Пластифицированные твердые сплавы.

Пластифицированные твердые сплавы не составляют какой-то отдельной видовой группы с уникальным химсоставом. Пластификации может быть подвергнут любой из твердых сплавов. Сущность процесса заключается в том, что брикеты, спрессованные и сформованные из порошка того или иного сплава, погружают в среду кипящего парафина и выдерживают в ней при температуре 420°C до тех пор, пока брикет не пропитается парафином до состояния однородной массы с высоким показателем пластичности. После застыивания брикеты подвергают мундштучному прессованию с продавливанием пластифицированной массы в формы готовых рабочих пластин. Затем заготовки-полуфабрикаты вновь спекаются при 1350°C и в заключение прохо-

дят процедуры финишной механообработки и заточки.

Пластифицированные ТС незаменимы при изготовлении мелких режущих инструментов криволинейных конфигураций (сверла, фрезы, развертки и т. п.), оснащение которого рабочими пластиинами из обычных твердых сплавов не представляется возможным.

Применение инструментария из пластифицированных твердосплавных материалов – залог высокоэффективной механообработки металлических поверхностей.

3.3.3.6. Сверхтвёрдые материалы.

Особого внимания заслуживают т.наз. сверхтвёрдые материалы – вещества, превышающие по характеристикам твердости и устойчивости к износу сплавы на основе вольфрамо-титано- tantalовых карбидов со связкой типа Co или Ni-Mo. Наиболее распространены сверхтвёрдые материалы в виде электрокорундов, оксидов циркония, карбida кремния и бора, нитридов бора, диборида рения, минералов алмазной группы. Сверхтвёрдые материалы используют, главным образом, с целью изготовления абразивных кругов, а также оснащения рабочих кромок металорежущего и породоразрушающего инструмента.

3.3.4. Основные марки твердых сплавов

Марки отечественных ТС многочисленны и разнообразны по своим свойствам. Выпуск столь широкого ассортиментного спектра направлен на эффективное

решение задач по максимальному удовлетворению запросов всех производственных отраслей. Информация о наиболее востребованных твердых сплавах представлена в табл. 31

Таблица 31. Химсостав и функциональные характеристики некоторых твердых сплавов.

Состав, % по массе				Плотн., г/см ³	$\sigma_{\text{изг.}}^{\text{нр.}}, \text{МПа}$	Твердость по Роквеллу, НРА	Модуль упругости, ГПа	Коф. термич. расширения, К ⁻¹	Коф. теплопроводности, Вт/(м·К)
WC	TiC	TaC	Co						
Вольфрамокобальтовые									
96	—	—	4	14,9–15,2	1510	89,5	638	4,7·10 ⁶	50,2
94	—	—	6	14,6–15,0	1510	88,5	630	4,9·10 ⁶	63,8
92	—	—	8	14,4–14,8	1666	87,5	598	5,1·10 ⁶	50,2
90	—	—	10	14,2–14,6	1764	87,0	590	5,3·10 ⁶	54,4
85	—	—	15	13,9–14,1	1862	86,0	559	6,0·10 ⁶	67,0
80	—	—	20	13,3–13,7	2100	84,0	481	5,7·10 ⁶	41,9
Титановольфрамокобальтовые									
66	30	—	4	8,5–9,8	980	92,0	422	6,6·10 ⁶	12,6
79	15	—	6	11,2–11,6	1176	90,0	520	5,6·10 ⁶	23,0
78	14	—	8	11,2–11,6	1274	89,5	520	6,0·10 ⁶	16,7
85	6	—	9	12,4–13,1	1421	88,5	549	5,5·10 ⁶	20,9
Титанотанталовольфрамокобальтовые									
86	8	2	6	12,8–13,3	1323	90,5	—	4,9·10 ⁶	—
82	3	7	8	13,5–13,8	1617	89,0	481	—	—
81	4	3	12	13,0–13,3	1666	87,0	550	—	—
Безвольфрамовые									
—	79	—	21**	5,5–6,0	1050	90,0	430	8,5·10 ⁶	11,0
—	74***	—	26**	5,5–6,0	1200	89,0	426	8,5·10 ⁶	17,0
10	56,3	—	33,7**	6,3–6,7	1323	89,0	—	—	—

* образец сечением 5 × 5 мм, расстояние между опорами 30 мм. ** Для Ni + Mo. *** Для Ti(C, N).

Обозначение марок строится на следующей основе.

3.3.4.1. Сплавы типа W-Co обозначают буквенной аббревиатурой ВК, цифровая маркировка после которой указывает на процентную концентрацию Co в составе соединения.

Марки, относимые к типу ВК:

- ВК3;
- ВК3М;
- ВК6;
- ВК6М;
- ВК60М;
- ВК6КС;
- ВК6В;
- ВК8;
- ВК8ВК;
- ВК8В;
- ВК10КС;
- ВК15;
- ВК20;
- ВК20КС;
- ВК10ХОМ;
- ВК4В.

3.3.4.2. В сплавы Ti-W-Co помимо вольфрамокарбида и Со входит также титанокарбид TiC. Для обозначения используется аббревиатура ТК, где цифровой индекс после Т указывает на процентную концентрацию TiC, а после К – Со. При этом, по умолчанию, оставшаяся процентная доля от общей массы приходится на вольфрамовый карбид, который буквенные и цифровыми индексами не отображается.

К типу ТК причисляют марки:

- Т5К10;
- Т14К8;
- Т15К6;
- ТЗОК4.

3.3.4.3. Сплавы типа Ti-Ta-W-Co включают в свой состав, наряду с вольфрамо- и титанокарбидами, также танталовый карбид TaC, а функцию цементирующего связующего по-прежнему выполняет Со. Соединения данного типа маркируют аббревиатурой ТТК. Цифровой индекс за буквами ТТ обозначает процентную концентрацию TiC и TaC, а за буквой К – Со.

Марки сплавов ТТК:

- ТТ7К12;
- ТТ20К9.

3.3.4.4. Сплавы для износостойких покрытий, наносимые на пластины из обычных вольфрамосодержащих сплавов для придания им дополнительной

прочности, маркируют аббревиатурой ВП.

К этому типу относятся следующие марки:

- ВП3115 (наносят на базовую поверхность ВК6);
- ВП3325 (наносят на базовую поверхность ВК8);
- ВП1255 (наносят на базовую поверхность ТТ7К12).

3.3.5. Категории твердых сплавов по способу изготовления

По данному критерию твердые сплавы подразделяются на 2 категории:

- спеченные, изготавливаемые методом спекания карбидных порошков WC, TiC, TaC с металлическим связующим в виде Со (ГОСТ 3882-74);
- литые, получаемые в результате плавки и последующего формовочного прессования прутков (ГОСТ 21449-75).

Продукция, изготавливаемая из спеченных сплавов, не поддается механической обработке (за исключением шлифования алмазными кругами). Обработка возможна с использованием физико-химического (кислотное травление), лазерного и ультразвукового методов.

Все разновидности литых твердых сплавов используют для наплавления на рабочие кромки режущего и горнобурового оборудования, а также с целью нанесения защитно-упрочняющих

покрытий на металлические поверхности. Они могут обрабатываться как механическими, так и термоспособами (закалки, отжига, старения и т.д.).

3.3.6. Спеченные твердые сплавы.

1. Определение, марки, эксплуатационные преимущества

К категории спеченных твердых металлокерамических сплавов, или керметов (ГОСТ 3882-74) причисляют линейку композитных материалов (твердых растворов), получаемых методом формопрессования с последующим спеканием в вакуумно-водородных средах при 1550-2100 °С карбидных порошковых

компонентов (вольфрамо- или титано-карбидов, а также сложных карбидов W, Ti и Ta, реже — иных карбидов, боридов и т. п.) с демптирующим матричным связующим, в качестве которого используют более мягкие и пластичные металлы/сплавы. Обычно в роли такого связующего компонента выступает Co, не вступающий в реакцию С и не образующий собственных карбидов; иногда — Ni либо сплав Ni-Mo.

Наиболее востребованные марки спеченных твердых сплавов (СТС) с указанием их основных промышленно-значимых свойств перечислены в табл. 32.

Таблица 32. Марки спеченных твердых сплавов

Марки сплавов	WC %	TiC %	TaC %	Co %	Предел прочности (σ , МПа)	Значения твердости, HRA	Значения плотн. (ρ), г/см ³	Значения теплопроводности (λ), Вт/(м·°C)	Значения мод. Юнга (E), ГПа
BK2	98	—	—	2	1210	91,55	15,11	51,1	645,1
BK3	97	—	—	3	1210	89,55	15,31	50,21	643,3
BK3-М	97	—	—	4	1560	91,05	15,31	50,22	638,02
BK4	96	—	—	4	1510	89,52	14,8-15,3	50,31	637,61
BK4-В	96	—	—	4	1560	88,1	15,3	50,71	628,04
BK6	94	—	—	6	1540	88,57	15,1	62,82	633,01
BK6-М	94	—	—	6	1460	90,25	15	67,02	632,01
BK6-ОМ	94	—	2	6	1320	90,51	15,1	69,01	632,02
BK8	92	—	—	8	1710	87,51	14,7	50,24	598,03
BK8-В	92	—	—	8	1760	89,06	14,8	50,41	598,52
BK10	90	—	—	10	1820	87,12	14,7	67,05	574,21
BK10-ОМ	90	—	—	10	1510	88,53	14,7	70,01	574,11
BK15	85	—	—	15	1920	86,22	14,2	74,04	559,03
BK20	80	—	—	20	2100	84,54	13,9	81,02	546,01
BK25	75	—	—	25	2160	83,03	13,2	83,06	540,02
BK30	70	—	—	30	2450	81,51	12,6	85,01	533,11
T5K10	85	6	—	9	1460	88,51	13,2	20,93	549,21
T5K12	83	5	—	12	1720	87,01	13,6	21,04	549,33

Таблица 32 (продолжение)

Марки сплавов	WC %	TiC %	TaC %	Co %	Предел изгиба прочности (σ , МПа)	Значения твердости, HRA	Значения плотн. (ρ), г/см ³	Значения теплопроводности (λ), Вт/(м·°C)	Значения мод. Юнга (E), ГПа
T14K8	78	14	—	8	1310	89,53	11,7	16,77	520,02
T15K6	79	15	—	6	1220	90,17	11,6	12,65	522,06
T30K4	66	30	—	4	1050	92,12	9,9	12,58	422,04
TT7K12	81	4	3	12	1730	87,21	13,4		
TT8K6	84	8	2	6	1360	90,52	13,4		
TT10K8-Б	82	3	7	8	1660	89,33	13,9		
TT20K9	67	9,4	14, 1	9,5	1510	91,06	12,6		
TH-20	—	79	(Ni 15%)	(M 06%)	1050	89,55	5,9		
TH-30	—	69	(Ni 23%)	(M 029%)	1120	88,54	6,1		
TH-50	—	61	(Ni 29%)	(M 010%)	1160	87,1	6,3		

Значения твердости СТС на вольфрамокарбидной основе (BK2, BK3, BK4, BK6, BK8, BK10) могут достигать 91,5 HRA, а жаростойкости 810-860 °С. Присутствует также высокая прочность и устойчивость к износу. Эти соединения не утрачивают своих функциональных качеств даже в режиме температур, превышающих 1000 °С, обеспечивая возможность скоростной механообработки металлов путем резания, точения, волочения, прокатки, штамповки и т.д. Так, в частности, инструментом из СТС можно обработать в 4-6 раз большее количество металла, нежели инструментом из быстрорежущих сталей с той же концентрацией металлического W, за счет в

разы более высоких скоростей резания. При этом твердосплавным инструментарием можно обрабатывать не только закаленные стали, но и неметаллические материалы в виде стекла, фарфора и т. п.

2. Получение и производственный цикл.

Спеченные твердые сплавы производят только методами ПМ.

Для изготовления металлокерамической твердосплавной продукции мелкодисперсный карбидный порошок тщательно перемешивают с порошковым Co или Ni в требуемом соотношении. Образовавшуюся шихту засыпают в

формы, имеющие конфигурацию будущих изделий (пластин и т.д.), после чего подвергают прессованию. Образовавшиеся черновые заготовки предварительно обжигают, с тем, чтобы они, обретя начальную прочность, все же поддавались механообработке для придания точных размерных параметров. После доводки и заточки осуществляется финишный обжиг, в результате которого изделиям становятся присущи необходимые физико-механические характеристики (прочность, твердость, износостойкость и т.п.). Готовые изделия из СТС уже не поддаются механическим обрабатывающим воздействиям за исключением обработки абразивами из сверхтвердых материалов.

Производственно-технологический цикл реализуется в несколько последовательно осуществляемых стадий:

1. Восстановление из оксидов порошков основной (карбидной) и связующей (Со или Ni + Mo) фаз.

2. Длительный (≥ 2 сут.) тонкий (до 1.5-2.5 мкм) размол полученных порошков на мельничных агрегатах шарового типа.

3. Тонкое просеивание с повторным размолом недостаточно мелких (не прошедших в ячейки сита) частиц.

4. Подготовка исходной шихты (миксация порошков, взятых в требуемых процентных соотношениях, для обеспечения необходимого химсостава будущего сплава).

5. Холодное формопрессование.

6. Горячее спекание под прессом при T° плавления матричного компонента (напр, для Со – 1410 °C). В таком температурном режиме связующий металл, расплавившись, смачивает имеющие более высокую T° плавления и потому остающиеся твердыми зерна карбидов. Заставая, металл-связка образует с карбидозернами твердый сплав – кермет.

7. Конечная продукция из керметов имеет вид фасонных цельнотвердосплавных изделий, в т.ч. пластин различных форморазмеров (рис. 60).

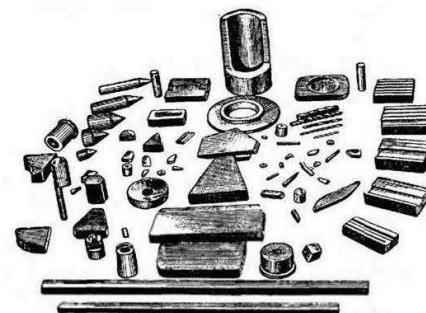


Рисунок 60. Спеченные твердосплавные фасонные изделия

Пластины из СТС используют в качестве рабочих элементов резцов, фрез, сверл, зенкеров и другого металлорежущего инструмента. Широко применяют их также для оснащения породоразрушающего оборудования в буровой, горнодобывающей и дорожно-строительной сферах (рис. 61).



Рисунок 61. Буровая коронка и дорожная фреза с металлокерамическими вставками из СТС.

3. Особенности применения

Керметы не выносят перегрева. Это объясняется тем, что при слишком высоких температурах плавится металл-связка, вследствие чего сплав, теряя прочность, растрескивается и крошится при рабочих нагрузках.

Утраченные под воздействием перегрева функциональные свойства сплава восстановить не представляется возможным. Данная особенность, в свою очередь, обуславливает невозможность крепления СТС-пластин на державках и корпусах металлорежущих инструментов способом сварки – температура сварочной дуги слишком высока. Вот почему пластины приходится крепить к инструменту либо с применением метизов (винты, прижимы и т.п.), либо, гораздо чаще, напаечным способом. На-

пайку осуществляют припоеем из меди (Cu), поскольку T° ее плавления, составляя $\approx 1085^{\circ}\text{C}$, существенно меньше аналогичного значения для используемых в СТС металлов-связок, а потому не оказывает пагубного влияния на их структуру. Особенно эффективно проводить такую пайку в водородной среде.

Однако применять СТС-пластины нелепообразно, когда речь идет о мелком инструменте. Такой мелкоразмерный инструментарий изготавливают в виде монолитных изделий, целиком состоящих из СТС. Исходную шихту в этом случае пластифицируют, вводя в нее до 8% технического парафина, а затем брикетируют. Формование из брикетов полуфабрикатных заготовок осуществляют мундштучным способом: пластичные брикеты помещают в обойму с фасонным мундштуком из СТС и продавливают ее в требуемые формы сквозь отверстие фильтры. Сформованные заготовки предварительно обжигаются для упрочнения, а затем шлифуются, зачищаются и спекаются до состояния готовой продукции.

Иногда, если это обусловлено объективной необходимости, цельный инструмент из СТС изготавливают по технологии, согласно которой полностью спеченные цилиндрические заготовки подвергают профильному шлифованию алмазными абразивами.

Твердосплавный инструментарий почти не истирается под воздействием сходящей стружки и обрабатываемого

материала, а также не утрачивает своих режущих качеств при Т° нагрева до 1150 °С.

Единственный недостаток СТС в сравнении с быстрорежущими сталью заключается в их более высокой хрупкости, возрастающей по мере уменьшения концентрации в составе сплава металлического связующего компонента.

3.3.7. Литые твердые сплавы

3.3.7.1. Определение и общие положения.

Литые твёрдые сплавы (ЛТС), имеющие также наплавочными, производят плавильно-литевым способом. Конечная продукция может иметь вид прутков (ГОСТ 21449-75) либо специальных наплавочных электродов (ГОСТ 10051-75).

Расплавы ЛТС применяют с целью газотермического или электродугового наплавления защитно-упрочняющих покрытий на рабочие поверхности подверженных интенсивному износу деталей станочных и кузнечнопрессовых устройств, выполняющих режуще-штамповочную функцию, а также различных породоразрушающих механизмов, с целью увеличения степени стойкости к износу и коррозии.

Литым сплавам присущи высокие показатели твердости (HRG 61-66), прочности, износостойчивости. Доста-

точно отметить, что значения износостойкости изделий с покрытием из ЛТС повышаются на порядок и более.

ЛТС-прутки, Ø которых в заводском исполнении составляет 0,5- 0,7 см, а длина – 20-30 см, наплавляют на режущие кромки вступающего в непосредственное взаимодействие с обрабатываемыми металлами или горными породами инструмента, функционирующего в режимах повышенного износа и высочайших температур.

Все ЛТС, сообразно их химсоставу, делятся на 3 основных типа – релитов, стеллитов и сормайтов.

3.3.7.2. Релиты

К 1 типу относят релиты (ТУУ 24.6-33876998-001-2006), представляющие собой композицию литых вольфрамо-карбидов (WC и W2C). Т° плавления этих сплавов достигает 3600°С. Имея, помимо этого, особенно высокие показатели твердости/износстойкости, они в то же время являются высокохрупкими соединениями.

Группа релитов состоит из:

- литых вольфрамо-карбидов ЛКВ-«3» (ТУ У 24.6-33876998-001-2006);
- сферич. вольфрамо-карбидов КВС (ТУ 24.1-19482355-001:2010);
- ленточн. релитов ЛЗ, ЛС, ЛСЗ (ТУ Y28.7-19482355-002:2014).

3.3.7.3. Стеллиты

2-й тип ЛТС – это группа собственно стеллитов – литых твердых растворов композиционной карбидной структуры W-Co-Cr. Их Т° плавления не столь высока, как у релитов (приближаясь к значениям аналогичного параметра сталей) при высоких значениях твердости и стойкости к износу/коррозии. Отечественные стеллиты производят в виде марок В2К и В3К, имеющих в своем составе около 2,55% С, примерно 42% Cr, 12,5-17,5 % W и 51-56% Co при незначительной концентрации Ni, а также выполняемых исключительно как прутки марок ПР-В3К и ПР-В3К-Р (ГОСТ 21449-75).

Структура и комплекс механических свойств стеллитов во многом зависят от быстроты остывания. Так, в режиме быстрого охлаждения их структура становится мелкозернистой при заметном улучшении механических свойств. Характеризуются стеллиты и значительной коррозионной стойкостью. Эти ЛТС хорошо поддаются сварке, что позволяет без проблем осуществлять их наплавку на быстроизнашиваемые поверхности. В составе режущих инструментов стеллиты также используют в виде наварных или вставных пластин.

3.3.7.4. Сормайты

К 3 типу ЛТС причисляют сормайты – не содержащие дефицитных вольфрама и кобальта стеллитоподобные сплавы, в которых в качестве основного компонента применяются Fe (до 61%), карби-

ды Cr (до 31%), и углерод (до 3,5%), а в роли демпфирующего связующего выступает композиция Ni+Mn. Благодаря такому химсоставу сормайты отличаются весьма низкой себестоимостью, что является едва ли не самым ценным их качеством.

Сормайты подразделяют на 2 подтипа – сормайт №1 и сормайт №2. Последний, в сравнении с сормайтом №1, отличается более высокими показателями прочности/вязкости, а также тем, что его можно обрабатывать термическим способом (напр. отжиг). При этом сормайты имеют меньшую твердость и тугоплавкость, чем стеллиты. Слой, наплавляемый сормайтом № 1, имеет значение твердости HRC48,01-50,01. Термообработке он не подлежит. Слой сормайта № 2, после его наплавления до толщины 1,1-6,1 мм., подвергается отжигу в температурном режиме 860-910 °С, после чего закаливается в масляной среде при высоком отпуске до твердости HRC 74-77 ед. Прутки сормайта №1 окрашиваются по торцам ярко-зеленым цветом, а сормайта №2 – ярко-красным. Отечественной промышленностью выпускаются сормайт-прутки марки Пр-С (ГОСТ 21449-75).

Данные о химическом составе релитов, стеллитов, сормайтов представлены в сводной табл. 34

Таблица 33. Химсостав ЛТС

Тип	Марка сплава	Химический состав, %						
		Co (Ni)	Fe	Cr	Mn	Si	W	C
Литые карбиды	Релит	-	<0,25	-	-	-	Основа	3,0-4,5
Стеллиты	ВК2	47-53 Co <2 Ni	<2	28-32	<1,0	1,0-2,0	13-17	1,8-2,5
	ВК3	58-62 Co <2 Ni	<2	28-32	-	1,5-3,0	4,0-5,0	1,0-1,5
	ВХН1	50-60 Ni	<5,0	35-40	<0,5	1,5-2,5	-	0,5-1,2
Сормайты	ВХН2	35 Ni	25	35-40	<0,5	1,5-2,5	-	0,5-1,2
	Сормайт №1	3,0-5,0 Ni	Основа	25-31	1,5	2,8-3,2	-	2,5-3,3
	Сормайт №2	1,3-2,2 Ni	-	13-17,5	1,0	1,5-2,2	-	1,5-2,0

3.3.7.5. Технологии производства и наплавки.

Технология изготовления ЛТС типа стеллитов. Плавку стеллитов осуществляют в электроиндукционных тигельных электропечах (рис. 62).



Рисунок 62. Плавка сплава в тигельной электропечи.

Использование подобных печей, в отличие от электродуговых, исключает возможность нежелательного обогаще-

ния подвергаемой плавке шихты избыточным углеродом (благодаря тому, что в электроиндукционных печах не применяют угольных электродов), а также делает возможными регулировку температурного режима и постоянное перемешивание расплава под воздействием сил электродинамического генеза.

В качестве исходных компонентов используют чистометаллические порошки Со, алюмотермического Cr и W (из отходов при механической обработке компактных штабиков либо вольфрамокарбидов), а также С (древесный уголь или графит). В ходе плавильного процесса сплав рафинируют, вводя в его состав немного раскислителя из отведенной на процесс дозы, а также подбирая состав шлака.

При использовании исходных металлических компонентов с незначительной концентрацией S и P ($\leq 0,041-0,051\%$) допускается применять как кислый,

так и основной шлаки. Для кислошлаковой среды используют стеклянный бой с примесью $\approx 6\%$ оксида K₂O, для основного шлака – микс оксида CaO с фторидом CaF₂.

При повышенной концентрации S и P в исходных металлокомпонентах, что делает сплав хрупким, используют основной шлак, в который переходят сульфаты/фосфаты. В состав шлака вводится также некоторое количество добавок С либо Si, усиливающих воздействие раскислителя в шихтовой массе.

Для изготовления полноценного сплава учитывается

фактор выгорания С, а также возможность перехода в состав шлака Si и прочих компонентов, добавочное количество которых для введения с целью компенсации угара определяется методом контрольных плавок.

После разогрева печи до 1550–1600°C на металлический расплав наводится шлак. При $\approx 1580^{\circ}\text{C}$ начинается бурное газовыделение (металл «закипает»). Расплав выдерживают до завершения «кипения», после чего оставляют до $\approx 1480^{\circ}\text{C}$ и вводят в тигель оставшийся раскислитель. В завершение процесса расплав выпускается в нагретый ковш и разливается в формы из земляной смеси или чугунные сосуды-кокили.

Разливку в земляные формы применяют для получения наплавочных прутков. Метод кокильного литья в данном

случае неприменим, поскольку в кокилях расплав почти мгновенно застывает, что исключает возможность полноценного наполнения форм узкого сечения.

Разливку в кокили осуществляют для получения заготовок заданных формоизмеров (рис. 63.).



Рисунок 63. Кокильное литье

В кокиле расплав быстро охлаждается, вследствие чего получаемая продукция обретает мелкозернистую структуру, а значит, и набор повышенных физикомеханических свойств.

Наплавку ЛТС чаще всего выполняют при помощи газовых ацетилено-кислородных горелок, а в ряде случаев – электродуговым способом. Наплавка осуществляется послойно, не менее чем в 2, а нередко и в 3 слоя. Физикомеханические свойства каждого из наплавляемых слоев будут тем выше, чем интенсивнее происходит их охлаждение, чем более мелкозернистой окажется структура.

Необходимость многослойного наплавления обусловлена рядом объек-

тивных причин. Первый наплавляемый слой является «черновым», поскольку при его нанесении расплав, частично сплавляясь с металлом обрабатываемой поверхности, не достигает требуемых значений твердости/износостойкости. Таким образом, первый наплавочный слой образует лишь своеобразную «стартовую платформу» для следующего слоя, который станет уже более функционально насыщенным. Для получения идеального результата необходима наплавка третьего чистового слоя, который будет обладать полным набором полезных качеств чистого сплава.

Наплавлять защитно-упрочняющие слои ЛТС можно как на чугунные, так и на стальные детали. В последнем случае рабочие части инструмента, которые будут подвергаться наплавке, с целью экономии дорогостоящих легированных материалов обычно выполняются из углеродистых сталей.

3.3.8. Сфера практического применения изделий из твердых сплавов

В настоящее время твердые сплавы – основной инструментальный материал, способный обеспечить высокоеффективную обработку металлов/сплавов методом резания. Сегодня условная общая масса твердосплавного инструментария, используемого в различных промышленных отраслях, превышает 45%, при том, что с его помощью удаляется до 70% стружки за счет возможности проведения высокоскоростной об-

работки, в несколько раз более интенсивной по сравнению с инструментом из быстрорежущих сталей.

Способность ТС к сохранению изначально высокой твердости и сопротивляемости деформационным воздействиям в высокотемпературном режиме, в сочетании с приемлемыми прочностными характеристиками, – их неоспоримое преимущество перед линейками всех прочих инструментальных материалов.

Современные ТС новейших марок востребованы во множестве промышленных отраслей (рис. 64).



Рисунок 64. Образцы промышленной продукции из твердых сплавов

Твердые сплавы различных марок повсеместно используются для создания режущих металлокерамических пластин, продления срока службы подверженных быстрому износу и коррозии поверхностей путем наплавления многослойных защитно-упрочняющих покрытий, армирования рабочих частей породоразрушающих машин и механизмов с целью обеспечить возмож-

ность их воздействования для обработки горных пород наивысших степеней вязкости и крепости.

Основными сферами практического применения ТС являются:

- создание резцов, фрез, сверл, протяжек, зенкеров, разверток и другого инструментария для механической обработки различных конструкционных материалов способами резания;
- изготовление штампов, матриц, пuhanсонов, мундштучных фильтров, протяжек и т.п. изделий, применяемых для обработки материалов давлением;
- обустройство рабочих поверхностей аппаратуры для микрометрии и взвешивания, прочих высокоточного измерительно-дозирующих инструментов и приспособлений;
- оснащение рабочих элементов устройств для нанесения клеем;
- оснащение функциональных частей волочильного оборудования;
- изготовление породоразрушающих элементов оборудования для добычи и дорожно-строительной отраслей (буровые головки, шарошки, долота и т.д.) с применением металлокерамических вставок из СТС или наплавляемых покрытий из ЛТС;
- изготовление элементов подшипников качения (шариков, роликов, обойм);

- порошковое СТС-напыление или ЛТС-наплавление износостойких покрытий.

3.3.8.1. Выбор марки ТС

Выбор необходимой марки следует осуществлять исходя из таких важнейших критериев, как сфера применения, физикомеханические параметры обрабатываемого материала, предполагаемый класс точности обработки поверхности изготовленным из сплава инструментом, методы обработки и т.д. Так, некоторые из марок могут быть одинаковы по химсоставу, но иметь неодинаковые размерные параметры карбидозерен, что и определяет различия в практическом назначении.

Для того, чтобы минимизировать потенциальную возможность ошибок при выборе режущего инструментария из необходимой марки ТС, предлагаем воспользоваться нижеприведенными таблицами, в которых приведены данные о методах, условиях и ориентировочных режимах, рекомендуемых для выполнения конкретных операций механообработки.

Таблица 34. Использование ТС для механообработки резанием.

Сплав	Применение:
ВК6*	<ul style="list-style-type: none"> - получистовая фрезеровка сплошных поверхностей; - черновое и получерновое точение; - черновая нарезка резьбы с использование токарных резцов; - рассверловка и раззенковка отверстий; - фрезеровка заготовок из серого чугуна, цветного металла и неметаллических заготовок.
ВК6С	<ul style="list-style-type: none"> - изготовление матричных устройств для синтеза искусственных корундов.
ВК60М*	<ul style="list-style-type: none"> - чистовая и получистовая обработка твердых, легированных и отбеленных чугунов, закаленных сталей и ряда марок нержавеющих, высокопрочных и жаропрочных сталей и сплавов, в т.ч. на базе Ti, W и Mo.
ВК8*	<ul style="list-style-type: none"> - черновое строгание при неравномерных сечениях срезов; - дискретная механообработка; - черновая фрезеровка, сверловка, раззенковка заготовок из серого чугуна, цветных металлов и неметаллических заготовок.; - обработка нержавеющих, высокопрочных и жаропрочных заготовок из титаносодержащих сталей.
ВК15	<ul style="list-style-type: none"> - изготовление опорных пластинок и отрезных лезвий.
ВП322*	<ul style="list-style-type: none"> - черновая механообработка поковок из коррозиестойких, жаропрочных сплавов Ni-Co, Ti, легированных чугунов при значительных сечениях срезов в умеренном скоростном режиме.
ВП3115 (CVDпокр-е)	<ul style="list-style-type: none"> - получистовое и чистовое точение, растачивание, сверловка, раззенковка отверстий, фрезеровка чугунных и цвет. мет. заготовок, неметаллических элементов при средних сечениях срезов и щадящих условиях обработки.
ВП3325 (CVDпокр-е)	<ul style="list-style-type: none"> - черновое и получистовое точение, растачивание, сверловка, раззенковка отверстий, фрезеровка чугуна и цвет. мет., а также неметаллических заготовок с большими сечениями срезов в среднескоростном режиме.
МС121*	<ul style="list-style-type: none"> - восстановление колесных пар ж/д подвижного состава (тяжелое точение сталей).

МС137*	<ul style="list-style-type: none"> - фрезеровка при оптимальных сечениях срезов для отливок из конструкционной, автоматной, инструментальной, коррозиестойкой сталей. <p>Сплав имеет высокую механическую прочность режущих кромок.</p>
МС146*	<ul style="list-style-type: none"> - тяжелое черновое точение, фрезеровка, растачивание, сверловка, раззенковка, заготовок из конструкционных, инструментальных и коррозиестойких сталей со срезами значительных сечений в среднем и щадящем скоростном режиме. <p>Сплав имеет высокую термоударную прочность режущих кромок.</p>
МС221*	<ul style="list-style-type: none"> - черновая и получистовая фрезеровка, точение, раззенковка, сверловка, нарезка резьбы на отливках из конструкционной, жаростойкой и коррозиестойкой. - точение сталей и титана, со средними сечениями срезов в интенсивном скоростном режиме. <p>Имеет высокую механическую прочность режущих кромок, износостойк.</p>
МС321*	<ul style="list-style-type: none"> - черновая и получистовая фрезеровка, точение, раззенковка, сверловка, резка резьбы на чугунных, цвет. мет. и неметаллических отливках со средними сечениями срезов. <p>Имеет высокую термоударную прочность режущих кромок, износостойк.</p>
МС1465 (CVDпокр-е)	<ul style="list-style-type: none"> - черновая и получистовая механообработка стальных отливок, в том числе из нержавеющих, аустенитных и жаростойких сталей, увеличенные сечения срезов в низкоскоростном режиме с учетом неблагоприятных условий обработки.
МС1466 (CVDпокр-е)	<ul style="list-style-type: none"> - получистовая и чистовая фрезеровка стальных заготовок со средними сечениями среза при умеренной или низкой скорости резки.
МС2215 (CVDпокр-е)	<ul style="list-style-type: none"> - получистовая и чистовая обработка стальных заготовок со средними сечениями срезов в интенсивно-скоростном режиме механической обработки.
МС2216 (CVDпокр-е)	<ul style="list-style-type: none"> - чистовая фрезеровка стальных заготовок со средним сечением срезов в умеренно-скоростном режиме механической обработки.
МС3215 (CVDпокр-е)	<ul style="list-style-type: none"> -точение, фрезеровка, расточка, сверловка заготовок из серых и ковких чугунов, а также ряда коррозиестойких и жаропрочных ста-

	лей/сплавов.
МС3216 (CVDпокр-е)	- получистовая и чистовая фрезеровка чугунных заготовок в интенсивном и умеренно-скоростном режиме.
Т5К10*	- черновое точение при неравномерных сечениях срезов в режиме дискретной механообработки; - фасонное точение; - отрезка при помощи токарных резцов; - чистовое строгание; - черновая фрезеровка прерывающихся поверхностей, а также иных разновидностей механической обработки углеродистых и легированных стальных отливок/поковок с удалением корки/окалины.
Т14К8*	- черновое точение при неравномерных сечениях срезов в беспрерывном режиме; - получистовое и чистовое точение в дискретном режиме; - черновая фрезеровка сплошных поверхностей; - рассверловка отверстий в отливках/поковках; - черновая раззенковка; - и другие сходные разновидности механообработки углеродистых и легированных сталей.
Т15К6*	- получерновое точение при обработке в непрерывном режиме; - чистовое точение при обработке в дискретном режиме; - нарезка резьбы с помощью токарных резцов и вращающихся головок; - получистовая и чистовая фрезеровка сплошных поверхностей; - получистовая и чистовая расточка/раззенковка заранее подготовленных отверстий; - иные сходные виды механообработки заготовок из углеродистой и легированной сталей.
Т30К4	- чистовое точение, нарезка резьбы, рассверловка и раззенковка заготовок из незакаленной и закаленной высокоуглеродистой сталей с небольшими сечениями срезов.
ТС1Т (CVDпокр-е)	- сплав повышенной надежности для точения стальных заготовок в экстремальных условиях
ТС1Ф (CVDпокр-е)	- сплав повышенной надежности для черновой и получистовой фре-

	зеровки вязких легированных сталей.
Т17К12*	- тяжелое черновое точение стальных отливок/поковок неравномерными сечениями срезов, в т.ч. по шлаку, с наличием следов ударной деформации, раковин, включений песка и др. неметаллических элементов; - любые разновидности строгания и сверловки заготовок из высокоуглеродистых и легированных сталей.

Примечание: *Шкала Протодьяконова – шкала коэффициентов крепости горн. пород (f) по возрастанию от 1 до 20. (http://mininawiki.ru/wiki/Шкала_Протодьяконова)

Таблица 35. Использование ТС для волочильного оборудования

Сплав	Применение:
ВК3	- сухое волочение стальной и цвет. мет. проволок; - изготовление подверженных интенсивному износу деталей механизмов, КИП и А, а также измерительных инструментов.
ВК6	- сухое волочение стальной и цвет. мет. проволок при невысоких значениях обжатия; - изготовление подверженных интенсивному износу деталей механизмов, КИП и А, а также измерительных инструментов., предназначенных для работы без ударных воздействий.
ВК8	- изготовления подверженных интенсивному износу деталей механизмов, КИПиА, а также измерительных инструментов, предназначенных для работы в условиях небольших ударных воздействий.
ВК20КС	- холодной высадки метизной продукции.

В современной промышленности категория твердосплавных соединений становится все более востребованной, постоянно обогащаясь новой высокотехнологичной продукцией. Развитие твердосплавных техник продвигается постепенно: на фоне оптимизации

составов и технологических особенностей получения данных веществ расширяется сфера их практической востребованности, также требующая научного подхода. Динамика развития производства ТС-материалов во многом определяется дальнейшим становлением тех

областей жизнедеятельности, где они находят свое применение.

Использование чистых ТС-материалов, совершенствование этапов производственного цикла, включая разработку новейших методик их шлифования и затачивания (в т. ч. с использованием лазеров, ультразвука, алмазных абразивов, других инновационных техник) – основные векторы приложения творческих сил инженеров и конструкторов, обеспечивающие возможность создания высокотехнологичных твердосплавных инструментов отечественного производства.

3.4. Порошковые материалы и области их применения

3.4.1. Назначение и категории по видам применения

Метод порошковой металлургии в последние годы прочно вошел во все сферы техники. С его помощью производят различные материалы, имеющие уникальные функциональные характеристики. Сегодня из них изготавливаются конструкционные элементы машин и механизмов, металлорежущий и породоразрушающий инструмент, подшипники и прочие компоненты узлов трения, детали электротехнического оборудования и оснащения атомных реакторов, магниты, охладители испарительного типа, множество других незаменимых изделий промышленного назначения. Повсеместное распространение получил в последнее время также

способ нанесения на металлические поверхности защитных покрытий путем напыления и наплавления.

Технологическими достижениями в сфере ПМ обусловлено создание порошковой продукции исключительных функциональных качеств, при наиболее выгодных экономических характеристиках, способствующих ресурсо- и энергосбережению. В последние годы ПМ развивается особенно бурно в плане разработки как инновационных технологий, так и новейших порошковых материалов.

Современные порошковые материалы по видам применения условно подразделяют на следующие функциональные категории:

- конструкционные (включая группы металлов и их сплавов, металлокерамических твердых сплавов и минералокерамики);
- пористые (включая группы фильтрующих, триботехнических, «потеющих» и пеноматериалов);
- электротехнического назначения;
- специальные материалы для ядерной энергетики и др.

Все они по-своему востребованы, а потому нуждаются в более подробном рассмотрении.

3.4.2. Конструкционные порошковые материалы

Конструкционными называют материалы металлического, неметаллического и композиционного генеза, сочетающие в себе комплекс свойств, обеспечивающих возможность применения в машиностроительных отраслях для производства наиболее ответственных узлов и агрегатов.

Порошковые материалы конструкционного назначения – самая распространенная продукция ПМ. Потребность в них сегодня достигает 65% общей вос требованности. Обладая набором высоких механических характеристик, они повсеместно используются в машиностроении для производства высоконагруженных шестерен, звездочек, зубчатых колес, червячных пар, клапанов и седел к ним, муфт, фланцев, эксцентриков, накладок, заглушек, храповиков, гаек, ограничителей, кулачков, шайб, крышек, корпусов подшипников, компонентов насосного оборудования и измерительного инструмента, различных дисков, втулок, деталей множества других элементов технических устройств. Некоторые из таких изделий можно видеть на рис. 65.

Основным требованием, предъявляемым к материалам данной категории, является сочетание повышенных физико-химические свойств и экономичности.



Рисунок 65. Образцы продукции из порошковых материалов конструкционного назначения

Изделия из конструкционных материалов подразделяются на малонагруженные, средненагруженные и высоко-нагруженные, а по типу материала – продукцию на основе черных (стали/чугуны), цветных (сплавы Al, Mg, Ti, Cu и др.) и тугоплавких металлов (W, Mo, Nb, Ta и др.), а также полученную из твердых сплавов металлокерамического генеза, безметаллической порошковой керамики и композитных армированных материалов.

Правильность выбора конструкционных материалов прямо зависит от того, насколько верно учтены особенности их применения в технологическом и эксплуатационном аспектах, последний из которых обусловлен наличием подходящего химсостава и необходимых физико-механических свойств.

К физико-механическим свойствам, зависящим от внутренней структуры и химсостава материала, относят значения:

- прочности;
- плотности;
- твердости;
- тепло-электропроводности;
- теплоемкости;
- Т° плавления;
- пластичности/вязкости/упругости;
- хрупкости.

К технологическим свойствам, определяющим степень способности материала поддаваться термомеханической обработке, относят значения:

- деформируемости (ковкости);
- свариваемости;
- обрабатываемости резанием и давлением;
- обрабатываемости термическими способами;
- обрабатываемости методами литья.

К эксплуатационным (служебным) свойствам, востребованным в тех или иных рабочих условиях, относят значения:

- сопротивляемости износу;

- устойчивости к воздействию коррозии;
- устойчивости к температурным факторам (хладоустойчивость, жароустойчивость, жаропрочность и т.п.).

3.4.2.1. Конструкционные металлические материалы

По признаку технологического исполнения материалы данной группы подразделяются на подгруппы деформируемых, литейных и спеченных, что отображается в их маркировке.

Черные металлы - стали и чугуны.

Стали – это поликомпонентные железоуглеродистые сплавы с концентрацией С до 2,15 %. Стали могут быть углеродистыми (высокоуглеродистыми при концентрации С ≤ 0,31%, среднеуглеродистыми при С ≤ 0,61%, высокоуглеродистыми при С > 0,61%), или легированными (низколегированными с суммарной концентрацией легирующих компонентов ≤ 2,51%, среднелегированными, соответственно, 2,51...10,01%, высоколегированными, соответственно, > 10,01 %).

Чугуны – это поликомпонентные железоуглеродистые сплавы с концентрацией С > 2,15%, при затвердении образующие эвтектику. Чугуны принято классифицировать по степени их графитирования. В рамках данной классификации различают классы белых чугунов, графитированных чугунов (серых – СЧ, высокопрочных – ВЧ, ковких – КЧ), а также т. наз. половинчатых чугунов с от-

беленной поверхностной и внутренней сероугольной структурой.

В табл. 37 приводятся данные о наиболее востребованных марках черно-

металлических конструкционных порошковых материалов (ГОСТ 28378-89) и сфере их практического использования.

Таблица 36. Общие характеристики и назначение некоторых конструкционных порошковых материалов на чернометаллической основе

Марка	ρ_s , г/см ³	σ_{B0} , МПа	KCV, Дж/м ²	$\delta, \%$	σ_{B2} , МПа	НВ		Область применения	Заменяемый материал
						Не менее	Не более		
Ж10-66	6,6	170	15	5,0	200	45	450	Средненагруженные конструкционные детали	Углеродистые стали
Ж10-72	7,2	200	25	9,0	—	55	560		
Ж10-75	7,5	230	40	20,0	—	65	660		
Ж10Д3-66	6,6	260	6	4,0	300	65	650		
Ж10Д3-70	7,0	340	—	7,0	—	90	900		
Ж50Н3Д2-66	6,6	320	3,0	3,0	—	100	1000		
Ж50Н3Д2-70	7,0	440	—	4,5	—	130	1300		
Ж40Н3Д2Х-66	6,6	800	—	1,0	—	180	1800		
Ж20Х2-76	7,6	850	50	4,0	1150	250	2500		
Ж10Х18Н9-68	6,8	400	—	12,0	—	—	—		
Ж10Х23Н18-66	6,6	350	—	18,0	—	—	—		
Ж30Х7-76	7,6	800	10	2,0	—	—	—	Аbrasивостойкие и тяжелонагруженные детали	40Г2

3.4.2.1.1. Эрозионно-стойкие металлические материалы

Данная группа металлических материалов обладает набором свойств, получение которых в сплавах не представляется возможным. Их производят на базисе чистых тугоплавких металлов или С в форме композиций, в частности, пропитывая каркас из W или С расплавами Cu/Ag. Компоненты механизмов из устойчивых к эрозии материалов могут функционировать в режиме температур, превышающих 2600 °С. В процессе работы Cu (Ag) подвергаются ис-

парению, благодаря чему снижается интенсивность теплопотока, влекущая за собой улучшение условий эксплуатации вольфрамовой или углеродной каркасной матрицы.

По мере увеличения связующих межзеренных сил возрастают расходы на изготовление конечной продукции, зато снижается степень вероятности воздействий на материал негативных факторов со стороны наружной среды и минимизируются затраты на защитные мероприятия. Порошки, выступающие в роли исходных компонентов для ПМ, в

этом плане находятся как бы на промежуточной ступени между фазами жидкости и твердого тела, обладая, в общем объеме зерен, свойством текучести, а в составе каждого из отдельных зерен – способностью к деформированию.

Вот почему группа эрозиостойких материалов сочетает в себе широкий набор полезных качеств, стабилизирующих их рабочие характеристики в экстремальных эксплуатационных режимах. Наглядное тому подтверждение – турбины, где едва ли не самым нагруженным компонентом является выполняемый из эрозиостойкого материала вкладыш сопла, бесперебойно функционирующий в диапазоне поверхностных рабочих температур 3550–3650°С.

К категории конструкционных порошковых материалов относятся и керамические (спеченные), подразделяемые, в свою очередь, на металлокерамику и минералокерамику.

3.4.2.2. Конструкционные металлокерамические материалы

К данной группе конструкционных материалов относятся отличающиеся сложной структурой металлокерамические твердые сплавы (керметы), содержащие в своем составе более 50% (по объему) твердозернистой фазы (карбиды, бориды, оксиды, нитриды различных металлов), а также используемое в качестве матрицы для удержания зерен пластичное связующее в виде чистых металлов (никель, кобальт, тугоплавкие

металлы). Керметы применяют для производства активных компонентов металлорежущего, штамповочного, бурового инструмента. Физикомеханические и другие эксплуатационные свойства керметных ТС подробно описаны в предыдущей главе данного раздела.

Металлокерамические твердые сплавы – один из наиболее распространенных классов конструкционных порошковых материалов, в ходе получения которых потенциал ПМ реализуется во всей его широте, поскольку речь идет о создании методом безотходной технологии сложноструктурных соединений компонентов с резко различающимися значениями Т° плавления и уникальным набором физикомеханических свойств. Твердые сплавы находят применение в инструментальном производстве, кузнечно-прессовом, штамповочном и буровом оборудовании. Показатели плотности керметов (керамики с матричным металлическим связующим) достигают 3,97 г/см³, а твердости (HRA) – 93 ед.

Твердые сплавы совершенно незаменимы при изготовлении металлорежущего и контрольно-измерительного инструментария, функциональных вставок волочильных фильтров, прессоштамповочных матриц и пuhanсонов. В сфере легкого, среднего и тяжелого машиностроения широко используются детали с твердосплавным армированием. Так, в текстильной отрасли применяют твердосплавные направляющие кольца и прочие трущиеся компоненты; в сфере

ПМ из твердых сплавов изготавливают размольные шары для шаровых мельниц и детали для оснащения литейных прессов.

3.4.2.2.1. Высокотемпературные конструкционные материалы

К разряду высокотемпературной порошковой металлокерамики, получающейся в большинстве случаев только методами ПМ, принадлежат сплавы на базе жаростойких металлов (W, Mo, Nb, Ta, Zr, Re, Ti).

Производство изделий из жаропрочных конструкционных материалов во многом определяют темпы дальнейшего расширения круга эксплуатационных возможностей современных систем и агрегатов для космической, авиационной, судостроительной, электротехнической, радиоэлектронной, химической и станкостроительной индустрии. Что не представляется возможным без обеспечения специальных функциональных свойств, среди которых одним из важнейших является именно термостойкость (рис 66.)



Рисунок 66. Компоненты нагревательных устройств из высокотемпературной металлокерамики

3.4.2.3. Конструкционные минералокерамические материалы

Повышение твердостных параметров подвергаемых обработке заготовок вызвало необходимость расширить диапазон применяемых режущих материалов от твердосплавных до минералокерамических и прочих сверхтвёрдых соединений, получаемых посредством ПМ.

Минералокерамические материалы – группа неорганических безметаллических соединений, отличающихся весомыми преимуществами в сравнении с группами металлов и керметов. Их характеризуют оптимальные соотношения параметров прочность/плотность и жесткость/упругость, а также устойчивость к коррозии наряду с непревзойденными прочностными показателями при эксплуатации в высокотемпературном режиме.

Минералокерамику, структурно включающую в свой состав кристаллы, соединенные стекловидным аморфным связующим, получают преимущественно на базисе порошковых оксидов и высокотвердых безоксидных карбидных, боридных, нитридных и силицидных тугоплавких композиций, а также подобных соединений Al, Ti, Zr и ряда других металлов. Минералокерамические материалы являются высокопрочностными, термостойкими, износостойчивыми. Минералокерамика имеет плотность в диапазоне 4,2–4,6 г/см³ и твёрдость (HRA) в пределах 92–94 ед.

Минералокерамические материалы по маркам условно подразделяют на 3 группы:

1. Оксидную, состоящую из оксидов Al, Ti (99,2%) с незначительными примесями оксида Mg и прочих химэлементов. К данной группе причисляют марки ВО-13, ЦМ-332 и ВШ-75.

2. Оксидно-карбидную из оксида Al (61...80%), а также карбидов и оксидов тугоплавких металлов. К ней причисляют марки ВО-3 и ВОК-60 (ГОСТ 25003-81).

3. Нитридную из нитридов Si (до 97,1%) и тугоплавких минералов с добавками оксида Al и ряда других включений. К ней относят кортинит ОНТ-20 и силинит-Р.

Свойства минералокерамических материалов регламентируются по ГОСТ Р 50151-92.

Минералокерамику чаще всего применяют с целью изготовления рабочих компонентов режущего инструментария, которым производят получистовую и чистовую обработку (в режиме безударных нагрузок и скоростей обработки до 8100 мм/мин на неинтенсивных подачах) сталей углеродистой и легированной групп (включая закалённые и улучшенные), а также чугунов, цветометаллических и тугоплавких сплавов.

Металлокерамику для режущего инструментария выполняют в форме сменных пластинок, конфигурационно сходных с твердосплавными аналогами. Такие пластины отличают высокие значения термостойкости (1210...1410 °C), твердостных показателей (30010...33010 МПа), износостойчивости и стойкости к воздействию агрессивных химических сред, что обуславливает возможность высокоскоростной обработки (рис. 67).



Рисунок 67. Металлокерамические пластины для металлорежущего инструментария

В сравнении с твердосплавными, минералокерамические пластины обеспечивают возможность обработки чернometаллических заготовок во вдвое более интенсивном скоростном режиме. К тому же, поскольку минералокерамика почти не сродственна металлам, при их обработке инструментами из данных материалов практически исключен риск слипания с обрабатываемыми поверхностями.

К группе минералокерамики по свойствам причисляют также корунды. Корунды незаменимы при изготовлении износостойчивых насадок к породоразрушающим долотам гидромониторного типа, насосных горловин, нитеvodных устройств ткацкого оборудования. Применяют корунды и в электротехнической отрасли при изготовлении компонентов гироскопных подшипников. Весьма результативным оказывается использование корундов для изготовления рабочих кромок грунтотрапировочных машин.

3.4.2.3. Композитные дисперсно-прочненные и металловолоконные материалы

Поликомпонентные конструкционные материалы, структурно являющиеся композициями с пластичноматричной основой, армированной металловолоконными или мелкодисперсными наполнителями, так и именуют композитами.

Объединение в одно структурное целое химэлементов с различными наборами свойств обуславливает получение инновационного материала, обладающего набором эксплуатационных характеристик, в количественном и качественном отношении в разы превышающими аналогичные параметры каждого из отдельных компонентов. Большинство композитов по своим физикомеханическим свойствам выгодно отличаются от традиционных конструкционных материалов, являясь при этом, что немаловажно, намного более легкими. Применение композитоматериалов позволило минимизировать вес и габариты конструкций при сопоставимых либо даже лучших функциональных параметрах.

Исходным материалом металломатрицы обычно служат Al, Mg, Ni и их сплавы, в качестве армирующего компонента используются материалы в виде волокон либо порошков из мелкозернистых (тонкодисперсных) термостойких частиц, не подверженных растворению в металле матрицы (дисперсноармированные материалы). Металломатрица увязывает армоволокна (дисперсные зерна) в единый прочный монолит.

Подобные композиты можно получить путем пропитывания волоконных пучков металлическими расплавами, или миксации и последующего спекания материала металлоосновы с мелкозернистым порошковым наполнителем.

На рис. 68 схематично проиллюстрированы принципы армирования металломатричных композиционных материалов.

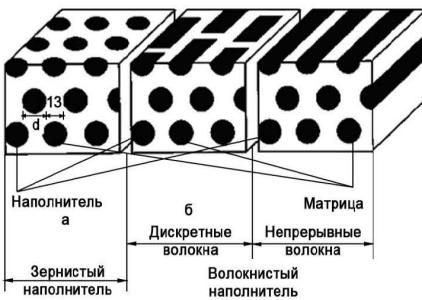


Рисунок 68. Схема структуры композитов: а — зернистый дисперсно-армирующий материал ($l/d = 1$); б — волоконные армоматериалы с с прерывным и недискретным волокном.

Дисперсноармированные металлокомпозиты по функциональному признаку являются изотропными, обладая набором свойств, одинаково распространяемых по всем направлениям. Добавки 6-12% армирующих наполнителей (тугоплавких оксидных, нитридных, боридных, карбидных порошков) позволяют существенно повысить сопротивляемость матричного каркаса разноплановым нагрузочным воздействиям, увеличить степень термостойкости композитного соединения в сравнении с исходной матрицей. Дисперсноупрочненные композитные материалы с металломатрицей изготавливают путем ввода порошка наполнителя в металлический расплав или методами ПМ.

Композиты с волоконным армополнителем по принципу упрочнения подразделяют на прерывистые, с примерно равным соотношением длины и диаметра волоконных нитей, и недискретные, с волокном непрерывной структуры. При этом \varnothing волоконных нитей может варьироваться в широких пределах (от десятых долей до нескольких сот мкм.). Чем большим значением выражается соотношение длины волоконных нитей к их \varnothing , тем выше будет прочность композита.

Композиты, в отличие от всех иных конструкционных материалов, имеют повышенные на 55-95 % показатели предельной сопротивляемости/упругости/жесткости и пониженную склонность к растрескиванию. Использование композитов позволяет увеличить конструкционную жесткость и минимизировать металлоемкость производимой из них конечной продукции.

Набор полезных качеств композитов-волоконных материалов определяется свойствами волокна; основная же функция матрицы заключается в перераспределении напрягающих сил между нитями. Вот почему показатели прочности/упругости волокон должны существенно превышать аналогичные параметры матричного каркаса. Жесткие армоволокна, демпфируя возникающие в композиции нагрузочные напряжения, усиливают прочностные свойства нитей, распределяя их соответственно направлению, в котором нити ориентированы.

Для армирования матриц на базисе Al и Mg применяют карбидо- нитридо-, боридо- и оксидоволокна, имеющие высокие значения коэффициента прочности и модуля упругости. Довольно часто в качестве армоволокна используется тонкая стальная проволока.

Армирование титаноматричных композитов выполняется с применением проволоки из Mo, а также сапфировых, кремниеборидных и титанокарбидных волокон.

Повысить значение термостойкости никелевоматричных композитов удается путем армирования проволокой из W или Mo. Металловолоконные композиты являются востребованными и тогда, когда необходимо добиться высоких значений тепло- электропроводимости.

Композиты на металлооснове при высоких значениях механической и жаропрочности, одновременно являются малопластичными, что способствует минимизации разрушений трещинного и хрупкостного генеза.

Композитные дисперсно- и волоконноармированные конструкционные материалы широко применяют в ракето-, авиа-, судо- автостроении, многих других машиностроительных отраслях.

3.4.3. Пористые порошковые материалы

Характерная особенность данной категории порошковых материалов состоит в наличии в них большого количества пор, равномерно распределенных по

всему объему, что дает возможность обеспечения необходимых функциональных характеристик.

По основным свойствам пористые материалы можно подразделить на подкатегории:

- фильтрующих;
- капиллярных.

Пористые материалы отличают разнообразие физикохимического состава исходного сырья и применяемых производственных технологий, по которым они изготавливаются. Этим обусловлен широкий диапазон значений степени пористости, который может варьироваться в пределах от 2-3 % до 95-98 %.

Степень пористости существенно влияет на проявление структурных, физических, технологических и эксплуатационных свойств конечной продукции из данных материалов. На комплекс функциональных характеристик, которым обладают те или иные пористые изделия, помимо этого, воздействуют факторы формы, состояния поверхности и распределения зерен исходных порошков во всем объеме по размерным параметрам.

К категории пористых относят классы фильтрующих, «потеющих», пенистых и триботехнических порошковых материалов.

3.4.3.1. Фильтрующие пористые материалы

Пористые фильтры (степень пористости 45-55%), применяемые для механической очистки различных жидкостей и газов от частиц посторонних включений, составляют значительную долю продукции, выпускаемой из пористых порошковых материалов. Они изготавливаются методом формовки (формопрессование с различными усилиями или свободная засыпка в формы) с последующим спеканием бронзового, никелевого, титанового, вольфрамового, молибденового порошка, а также порошков нержавеющих сталей и тугоплавких композиций. Рабочий температурный диапазон составляет от -270 до +1000 °С. Методами ПМ в числе прочих изготавливают фильтрующие элементы, степень пористости которых, а значит, и очищающую способность, можно изменять и даже регулировать в зависимости от круга конкретных задач (рис. 69)

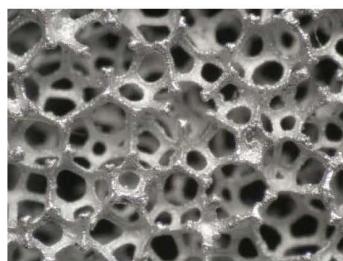


Рисунок 69. Структура пористого фильтра под микроскопом

Определяющими критериями качества пористых фильтроматериалов являются:

- характер пористости;

- степень проницаемости;
- тонкость очистки;
- грязеёмкость;
- капиллярность.

Характер пористости. Различают пористость наружную (открытые поры) и внутреннюю (закрытые поры). При этом в наружной пористости проявляется сочетание пор сквозного и несквозного (тупикового) характера. Степенью сквозной пористости определяется интенсивность пропускаемого потока очищаемой среды – критерий, именуемый скоростью очистки.

Степенью проницаемости называют показатель, определяющий пропускную способность фильтрующего элемента и выражаемый количественным значением интенсивности фильтруемого потока, проходящего за единицу времени через единицу рабочей площади при стабильной силе давления. Степень проницаемости увеличивается по мере возрастания степени пористости и количества сквозных наружных пор в сравнении с количеством тупиковых.

Тонкость очистки (фильтрации) – показатель, количественно характеризующий качество процесса очистки фильтруемой среды от посторонних включений (загрязнений). Общая очищающая способность фильтра определяется соотношением значений абсолютной и номинальной тонкости фильтрации, а также коэффициентом полноты очистки.

Абсолютной тонкостью фильтрации называют значение показателя наибольшего размера пропускаемых сквозь фильтр загрязняющих частиц, а номинальной тонкостью – их наименьшего размера. Коэффициентом полноты очистки характеризует количественное значение уменьшения массы загрязнений в фильтруемой среде при её единоразовом пропускании сквозь фильтрующий элемент.

Грязеёмкость – количественный показатель массы загрязняющих включений, которую способна задержать единица площади фильтра во временном интервале увеличения силы давления от начальной до предельной.

Критерий капиллярности характеризует в количественном выражении особенности процесса взаимодействия пористого фильтрующего элемента с очищаемыми средами. Величина потенциала капиллярности (для жидкостей) определяется произведением наибольшей высоты, на которую способна подняться жидкость в данном пористом теле, на величину ускорения свободного падения.

Спекаемые фильтрующие элементы производят из металлопорошков однородной дисперсии и требуемого химического состава. Зерна при этом могут по своей форме быть сферичными и несферичными. Важнейшим достоинством фильтрующих элементов из несферич-

ных порошков является повышенная механическая прочность, достигаемая благодаря более плотному взаимоконтакту зерен произвольной конфигурации, чем у сферических порошков, округлые зерна которых могут вступать лишь в точечный контакт. Тем не менее, спеченные пористые фильтры чаще всего изготавливают из сферических порошков, поскольку такие изделия характеризуются гораздо большей степенью проницаемости, поддаваясь, к тому же, регулированию и восстановлению.

Порошковые фильтры имеют целый ряд преимуществ перед непорошковыми аналогами, среди которых основными являются:

- несложное изготовление;
- повышенная прочность;
- лучшие очищающие свойства;
- высокие значения жаростойкости, теплопроводности, сопротивления абразивному износу;
- равномерное распределение фильтрации по всей площади фильтрующего элемента.

По форме фильтрующие элементы из спеченных порошковых материалов могут являть собой диски, пластинки, цилиндры, втулки, конусы и фасонные изделия более сложной конфигурации (рис. 70)