



# Неорганические матричные материалы

Конструкционные функциональные  
ВОЛОКНИСТЫЕ КОМПОЗИТЫ

**Микрюков Константин Валентинович**

тел. 231-89-39,

e-mail: [mikrukov@kstu.ru](mailto:mikrukov@kstu.ru)



# Классификация НММ

- **Металлические матричные материалы**
  - Матрицы на основе алюминия
  - Матрицы на основе магния
  - Матрицы на основе титана
  - Матрицы на основе меди
  - Матрицы на основе никеля
- **Неорганические вяжущие вещества**
- **Керамические матричные материалы**



# Матрицы на основе алюминия

**Алюминий** технически чистый. Алюминий используется для получения КМ как жидко-, так и твердофазными методами.

Физические свойства технического алюминия марки АД при 293 К:

- $\rho = 2,7 \times 10^3 \text{ кг/м}^3$ ,
- $T_{\text{пл}} = 933,2 \text{ К}$ ,
- $c_{\text{пл}} = 0,93 \times 10^3 \text{ Дж/кг}$  при 373 К,
- $\alpha = 21,7 \times 10^{-6} \text{ К}$  в интервале температур 213÷293 К
- Относительная электропроводность по сравнению с отожженной медью 64,94 %

**Требования** к матрицам на основе алюминия и его сплавов:

- совместимость с материалом армирующих волокон при температурах получения и эксплуатации КМ;
- высокие значения прочности и пластичности при нормальной и повышенной температурах;
- высокие технологические свойства;
- коррозионная стойкость.



# Матрицы на основе алюминия

- Деформируемые алюминиевые сплавы
- Литейные алюминиевые сплавы
- Порошки алюминиевые
- Фольга алюминиевая техническая
- Листы из алюминия и алюминиевых сплавов
- Проволока алюминиевая сварочная



# Матрицы на основе магния

Магниевые сплавы отличаются малой плотностью, высокой удельной прочностью, способностью поглощать энергию удара и вибрационных колебаний, хорошей обрабатываемостью резанием, практически не реагируют с основными классами армирующих волокон.

Для изготовления КМ с магниевой матрицей используют технический магний, сплавы МЛ 12, ИМВ2, AZ31В, AZ33, AZ92, LA141А, ZK60А и др.

Магниевые сплавы обладают пониженной коррозионной стойкостью однако при надлежащей защите могут надежно эксплуатироваться во всех климатических условиях и неагрессивных по отношению к магнию средах.



# Матрицы на основе титана

По комплексу физико-механических свойств (высокие прочность, удельная прочность и коррозионная стойкость, нехладноломкость, немагнитность) титан является одним из наиболее перспективных легких материалов для авиационной и космической техники. Титан обладает низкой плотностью, относительно малыми тепло- и электропроводностью, невысоким коэффициентом теплового расширения.

Армирование титана и его сплавов производится высококомодульными волокнами с целью повышения жесткости. Для изготовления КМ с титановой матрицей используются преимущественно технический титан марок ВТ 1-0, ВТ 1-00, ТЧ75А и сплавы ВТ6С, ВТ22, IMI318А, Ti-5621S, В120VCA, бета-III и др. в виде фольги или порошка. Прочность изделий из порошков сплавов на основе титана близка к прочности листовых титановых сплавов, полученных плавкой.

Титан и титановые сплавы удовлетворительно обрабатываются резанием, поддаются газовой и аргонодуговой сварке.



# Матрицы на основе меди

Медь и медные сплавы обладают высокими тепло- и электропроводностью, значительной коррозионной стойкостью, хорошо обрабатываются давлением и широко используются в различных областях промышленности.

Недостаток - низкие прочностные свойства при повышенных температурах.

С целью улучшения высокотемпературных прочностных свойств медь армируют волокнами вольфрама, железа, графита и др.



# Матрицы на основе никеля

Никель и никелевые сплавы, используемые как матрицы КМ, выпускаются в виде листов, лент и порошков. Технически чистый никель можно использовать при получении КМ, армированных проволоками тугоплавких металлов, керамическими волокнами, УВ, методами, предотвращающими взаимодействие волокон и матрицы. Однако жаростойкость КМ на основе технического никеля низка. Более широко применяются КМ на основе окалиностойких и жаропрочных никелевых сплавов.

□ **Окалиностойкие сплавы системы Ni-Cr**

□ **Жаропрочные деформируемые сплавы** (введение титана и алюминия, легирование тугоплавкими элементами (вольфрамом, молибденом, ниобием), малые добавки бора, церия и других элементов)

Матрицы КМ на никелевой основе должны быть совместимы с материалом армирующих волокон, прочными при высоких температурах, пластичными, обладать сопротивлением высокотемпературной коррозии (ХН60ВТ).

Окалиностойкие никелевые сплавы хорошо деформируются в холодном и горячем состоянии. Жаропрочные деформируемые сплавы обрабатываются методами пластической деформации при нагревании (динамическое горячее прессование, диффузионная сварка, прокатка и др.).

Жаропрочные деформируемые никелевые сплавы выпускают в виде отливок, поковок или проката. Их армируют волокнами с помощью жидкофазных методов (литья, вакуумного всасывания), прокаткой либо способами порошковой металлургии. Окалиностойкие никелевые сплавы хорошо свариваются применением присадочного материала того же состава.



# Неорганические матричные материалы (неорганические вяжущие вещества)

## Цемент

- Гидравлическое вяжущее вещество, твердеющее в воде и на воздухе.
- Цементы при твердении могут приобретать различную прочность, которая характеризуется маркой цемента (300, 400, 500, 600)
- Портландцемент - получают тонким помолом клинкера с соответствующими добавками. Клинкер - спекшаяся сырьевая смесь известняка и глины в виде зерен размером до 40 мм.
- Содержание важнейших оксидов в клинкере:  $62 \div 68$  %  $\text{CaO}$ ;  $18 \div 26$  %  $\text{SiO}_2$ ,  $4 \div 9$  %  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ;  $0,3 \div 6$  %  $\text{Fe}_2\text{O}_3$
- Для производства портландцемента применять известняки, глины (в известняках преобладает карбонат кальция, в глинах имеются различные водные алюмосиликаты формула которых имеет общий вид  $n\text{SiO}_2 \times m\text{H}_2\text{O}$ ) и корректирующие добавки



# Неорганические матричные материалы (неорганические вяжущие вещества) Производство цемента

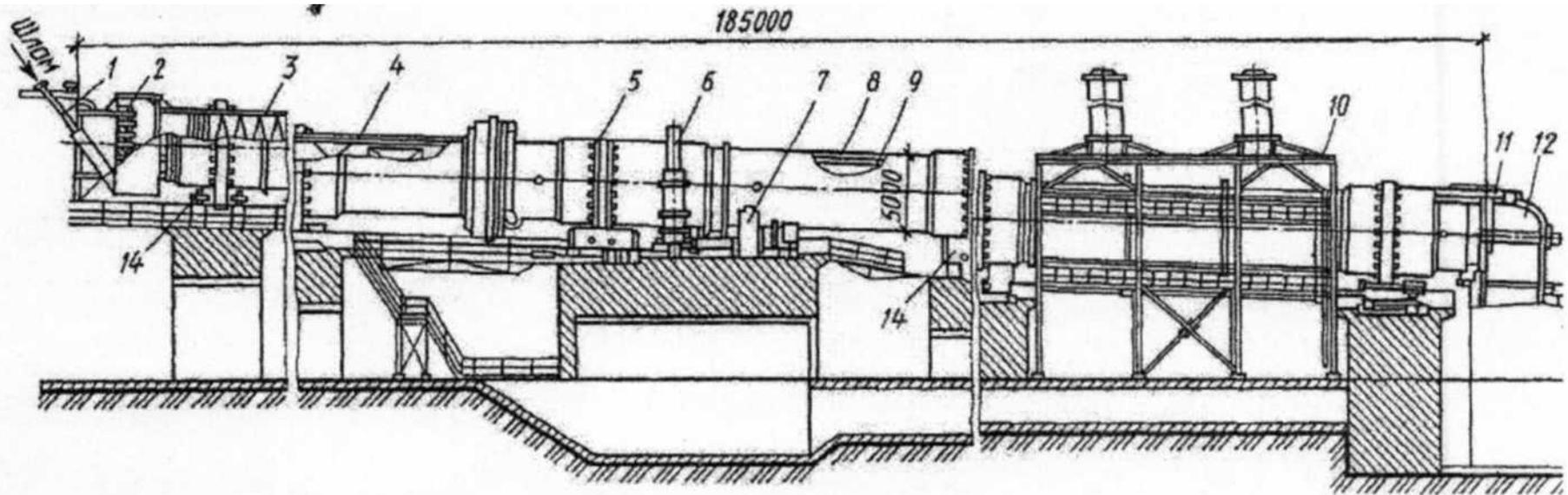


Рис 11 Вращающаяся печь размером 5×185 м

1 — течка для подачи шлема, 2 — фильтр подогреватель, 3 — цепная завеса, 4 — внутripечной теплообменник, 5 — бандаж  
6 — венцовая шестерня, 7 — привод печи, 8 — корпус печи, 9 — огнеупорная футеровка, 10 — устройство для охлаждения корпуса печи, 11 — уплотнения горячего и холодного концов печи, 12 — головка печи, 13 — холодильник, 14 — роликоопоры



# Неорганические матричные материалы (неорганические вяжущие вещества) Свойства клинкера

Степень гидратации клинкерных минералов во времени от полной гидратации, %

Клинкер	Примерное содержание, %			
	$C_3S$	$C_2S$	$C_3A$	$C_4AF$
Алитовый	Более 60	Менее 15		
Нормальный (по содержанию алита)	60÷37,5	15÷37,5	—	-
Белитовый	Менее 37,5	Более 37,5	—	
Алюминатный	—	—	Более 15	Менее 10
Нормальный (по содержанию алюмината)	....	—	15÷7	10÷18
Целитовый	—	—	Менее 7	Более 18

Степень гидратации клинкерных минералов во времени от полной гидратации, %

Клинкерный минерал	Продолжительность гидратации				
	3 сут	7 сут	28 сут	3 мес	6 мес
$C_3S$	36	46	69	93	94
$C_2S$	7	11	11	29	30
$C_3A$	82	82	84	91	93
$C_4AF$	70	71	74	89	91

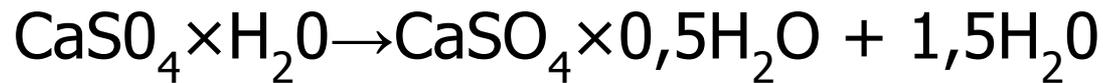


# Неорганические матричные материалы (неорганические вяжущие вещества)

## Гипс

- Гипс — быстротвердеющее и быстросхватывающееся воздушное вяжущее. Гипсовые вяжущие вещества подразделяются на строительный и высокопрочный гипс и ангидритовое вяжущее
- Гипсовые вяжущие вещества изготовляют из гипсового камня представляющего собой в основном двухводный гипс  $\text{CaSO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$  ангидрита  $\text{CaSO}_4$

Строительный гипс получают термической обработкой природного гипса по реакции



Эта реакция протекает сравнительно быстро при температур  $140 \div 190$  °С.



# Неорганические матричные материалы (неорганические вяжущие вещества) Производство гипса

Схема производства строительного гипса с применением вращающихся печей

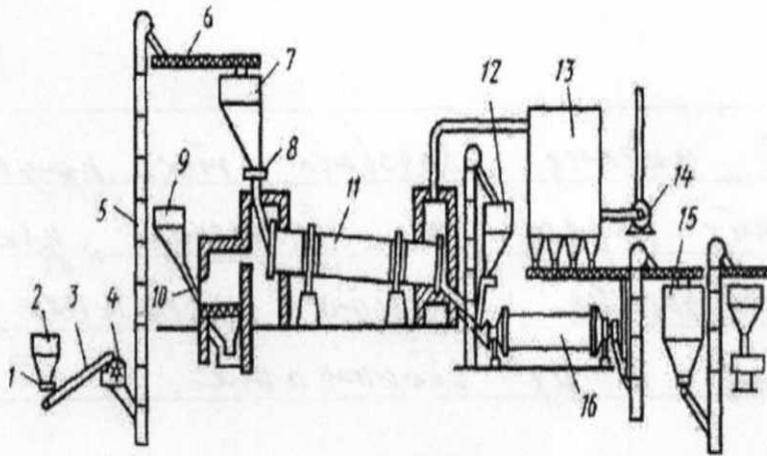
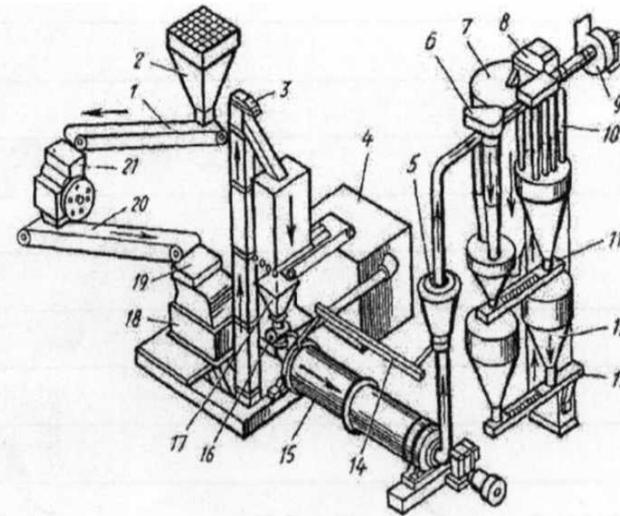


Схема совмещенного помола и обжига гипса



1 - лотковый питатель; 2 - бункер гипсового камня; 3 - ленточный транспортер; 4 - молотковая дробилка; 5 - элеватор; 6 - шнеки; 7 - бункер гипсового щебня; 8 - тарельчатые питатели; 9 - бункер угля; 10 - тонка; 11 - вращающаяся печь типа сушильного барабана; 12 - бункер обожженного щебня; 13 - пылесадительная камера; 14 - вентилятор; 15 - бункер готового гипса; 16 - шаровая мельница:

1 - питатель; 2 - бункер; 3 - элеватор; 4 - подтопок; 5 - проходной сепаратор; 6, 10 - пылесадительные устройства; 7 - бункер готовой продукции; 8 - элеватор; 9 - вентилятор; 11, 13 - винтовые конвейеры; 12 - бункер; 14 - аэрожелоб; 15 - трубная мельница; 16 - питатель; 17 - расходный бункер; 18 - молотковая дробилка; 19 - приемное устройство; 20 - питатель; 21 - щековая дробилка



# Неорганические матричные материалы (неорганические вяжущие вещества)

## Свойства гипса

Марка гипсовых вяжущих в зависимости от  $\delta_{изг}$  и  $\delta_{сж}$

Марка	$\delta_{изг}$	$\delta_{сж}$	Марка	$\delta_{изг}$	$\delta_{сж}$
Г-2	1,2	2	Г-10	4,5	10
Г-3	1,8	3	Г-13	5,5	13
Г-4	2	4	Г-16	6	16
Г-5	2,5	5	Г-19	6,5	19
Г-6	3	6	Г-20	7	22
Г-7	3,5	7	Г-25	8	25

### Характеристика гипсовых вяжущих по срокам схватывания

Вид ГВ	Индекс	Сроки схватывания, мин
Быстротвердеющие	А	2÷15
Нормальнотвердеющие	Б	6÷30
Медленнотвердеющие	В	Не менее 20



# Неорганические матричные материалы (неорганические вяжущие вещества)

## Высокопрочный гипс

- Высокопрочным называют гипс, полученный при термической обработке двухводного гипса, насыщенного паром под давлением не более 0,13 МПа, что соответствует температуре пара 124 °С с последующей сушкой.
- По пределу прочности при сжатии высокопрочный гипс имеет марки: 200, 250, 300, 350, 400, 450 и 500.
- Разработан способ получения высокопрочного вяжущего марок 600÷700 ( супергипс) Он состоит из α-модификации полуводного гипса и характеризуется следующими показателями: нормальная водопотребность – 24÷26 %; начало схватывания -5÷8 мин; конец схватывания - 9÷12 мин.

Строительный и высокопрочный гипсы не являются водостойкими материалами.

Водостойкость гипса можно повысить добавкой (при совместном посоле гипса с доменными гранулированными шлаками и известью).

Для замедления схватывания гипсовых вяжущих применяют добавки органического происхождения



# Неорганические матричные материалы (неорганические вяжущие вещества) **Известковые вяжущие**

**Строительную известь** получают путем обжига (до удаления углекислоты) кальциево-магниевых горных пород - мела, известняка, доломитизированных и мергелистых известняков, доломитов.

- **негашеная  $\text{CaO}$**  (комовую и молотую) и **гидратная  $\text{Ca(OH)}_2$**  (пушонку и тесто)
- **жирная и тощая**
- **быстрогасящуюся** (скорость гашения не более 8 мин), **среднегасящуюся** (не более 25 мин) и **медленногасящуюся** (не менее 25 мин)

**Гидравлическая известь** - продукт умеренного обжига при температуре  $900 \div 1000^\circ\text{C}$  мергелистых известняков, содержащие  $6 \div 20\%$  глинистых примесей

- **слабогидравлическую** с модулем  $4,5 \div 9$  и **сильногидравлическую** с модулем  $1,7 \div 4,5$



# Неорганические матричные материалы (неорганические вяжущие вещества) **Известково-пуццолановые вяжущие**