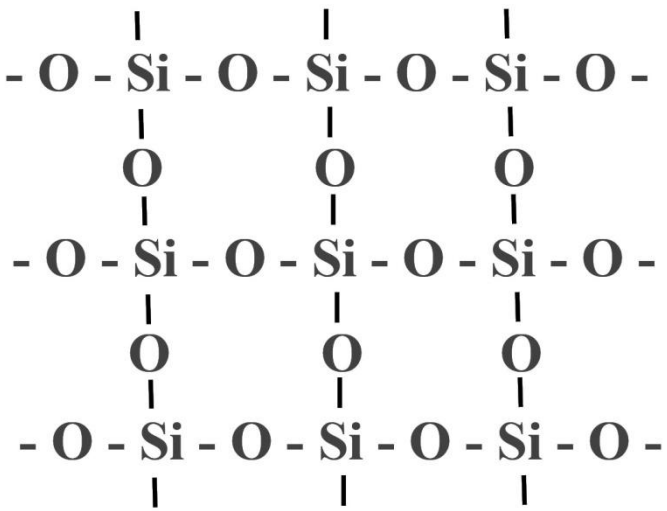
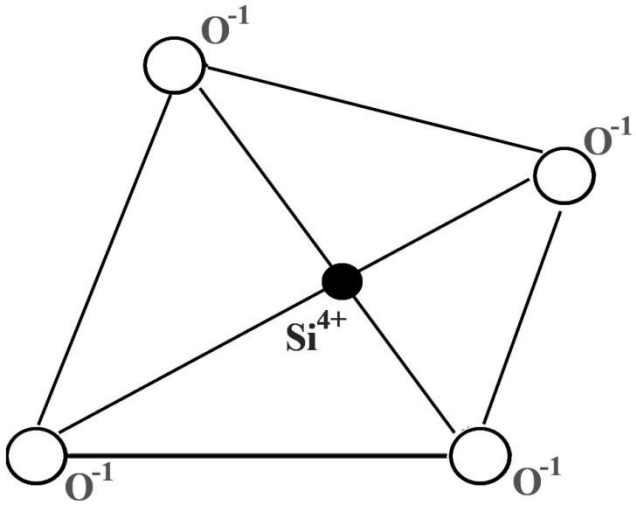
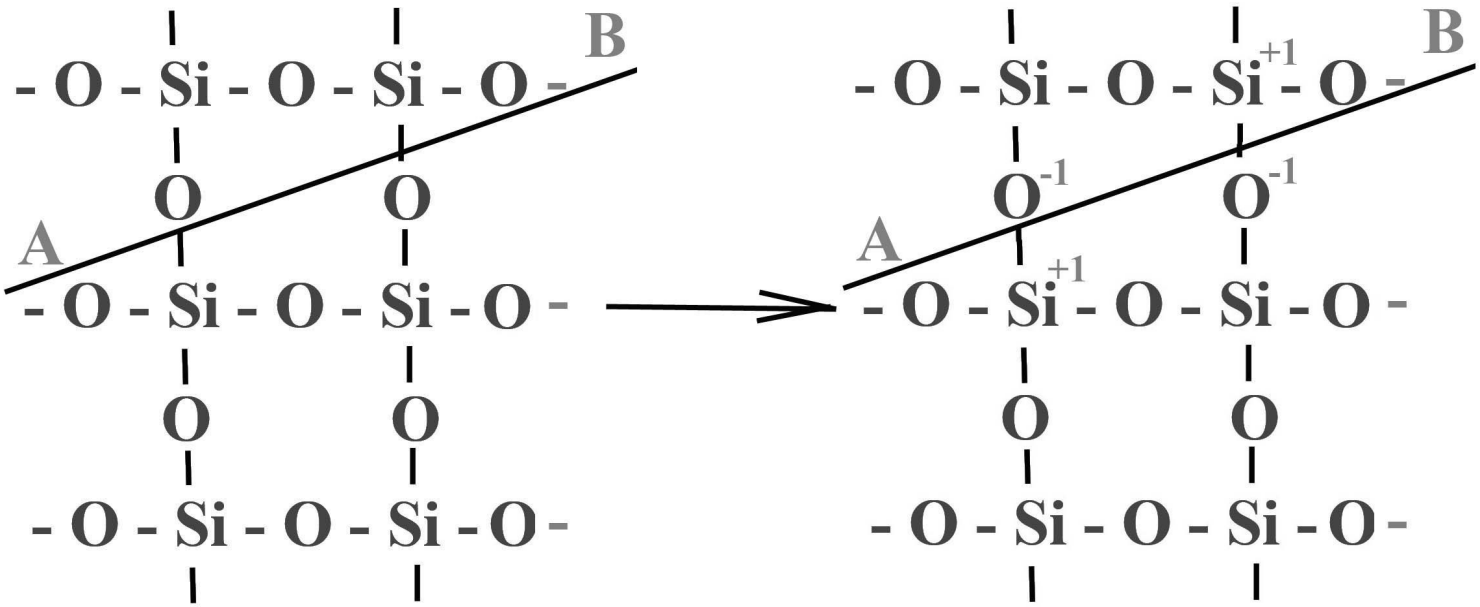
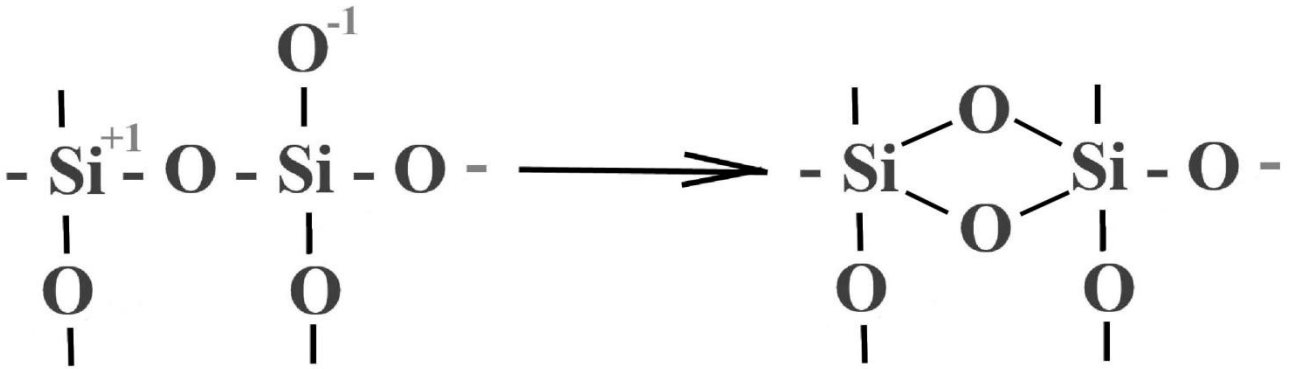
# Кварцевые пески

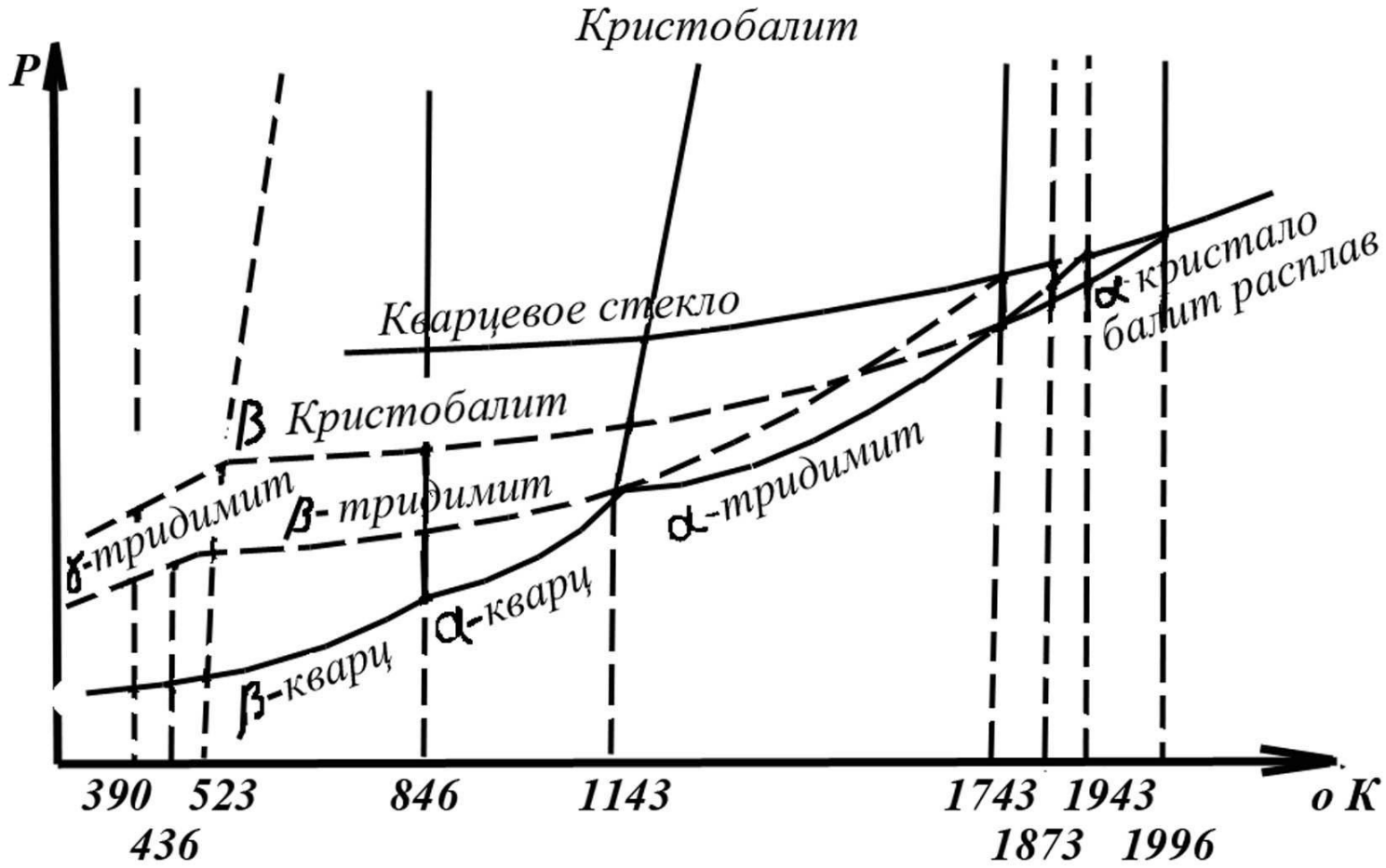
- морские
- дельтовые
- лагунно-континентальные
- озерные
- аллювиальные
- ледниковые
- элювиальные
- эоловые


- O - Si - O - Si - O - Si - O -
O O O
- O - Si - O - Si - O - Si - O -
O O O
- O - Si - O - Si - O - Si - O -


O-1
O-1
Si4+
O-1
O-1


B
- O - Si - O - Si - O -
O
O
A
- O - Si - O - Si - O -
O
O
- O - Si - O - Si - O -
B
- O - Si - O - Si+1 - O -
O-1
O-1
A
- O - Si+1 - O - Si - O -
O
O
- O - Si - O - Si - O -


O-1
Si+1
O
Si
O
O
O
Si
O
O
Si
O
O
O




$$2SiO_2 + 4H_2O \leftrightarrow SiO_4^{4-} + Si(OH)_4 + 2H_2$$

| Превращения кремнезема | Температура превращения в °С | Изменение объема В % |
|---|---|---|
| β-кварц → α-кварц | 573 | +0,82 |
| γ-тридимит → β-тридимиг | 117 | +0,20 |
| β-кристобалит → α-кристобалит | 250 | +3,70 |
| β-тридимит → α-тридимит | 263 | +0,20 |
| α-кварц → α-тридимит | 870 | +16.0 |
| α-тридимит → α-кристобалит | 1470 | +15,4 |
| α-кристобалит → кремнеземнистое стекло | 1713 | +15,5 |
| Кремнеземнистое стекло → кристобалит | | —0,90 |

α-кварц→ 573 °С→ β-кварц → 870 С→ β-тридимит→ 1470 °С → β-кристаболит 1713 °С → расплав.

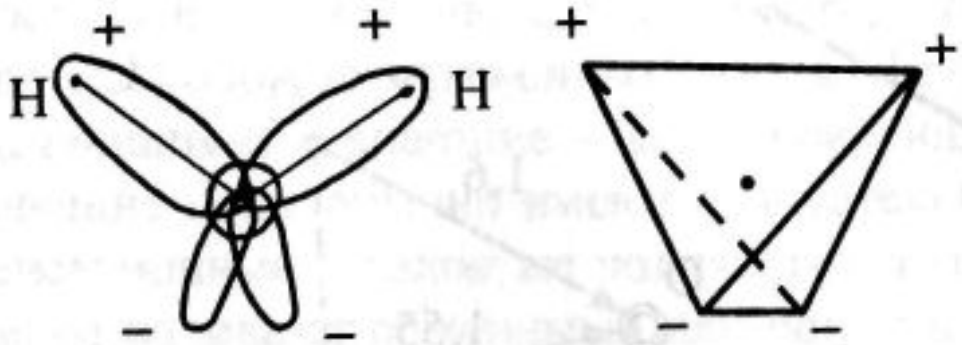
2,4; 15,1; 4,7; 0,1%

| Минерал | Химическая формула | Твердость по шкале Мооса | Плотность, г/см$^3$ | Примечание |
|---|---|---|---|---|
| Гематит (красный железняк) | $Fe_2O_3$ | 5,5-6,5 | 5,0—5,3 | Температура плавления 1560°С |
| Магнетит (магнитный железняк) | $FeO \cdot Fe_2O$ | 5,5—6,6 | 4,9—5,2 | Температура плавления 1540°С |
| Ильменит | $FeO \cdot TiO_2$ | 5—6 | 4,72 | Перед паяльной трубкой не плавится |
| Гетит<br>Лимонит | $FeO \cdot OH$<br>$2Fe_2O_3 \cdot 3H_2O$ | 4,5—5,5<br>1—4 | 4,0—4,4<br>3,3—4,0 | Перед паяльной трубкой не плавятся; начало выделения воды — при 250 °С |
| Пирит | $FeS_2$ | 6—6,5 | 4,9-5,2 | Разлагается при 575 °С |

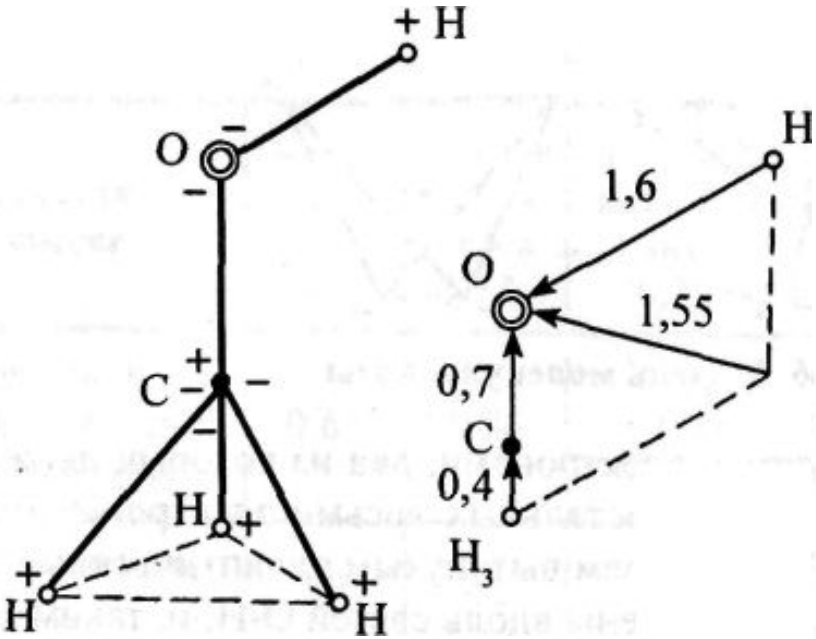
| Минерал | Химическая формула | Твердость по шкале Мооса | Плотность, г/см$^3$ | Температура диссоциации, °С |
|---|---|---|---|---|
| Кальцит (известковый шпат) | $CaCO_3$ | 3 | 2,6—2,8 | 885 |
| Магнезит<br>Доломит | $MgCO_3$<br>$CaCO_3 \cdot MgCO_3$ | 4—4,5<br>3,5—4,0 | 2.9—3,1<br>1,8—2,9 | 525<br>700—750<br>900—950 |
| Сидерит | $FeCO_3$ | 3,5—4,5 | 3,7-3,9 | 500—600 |

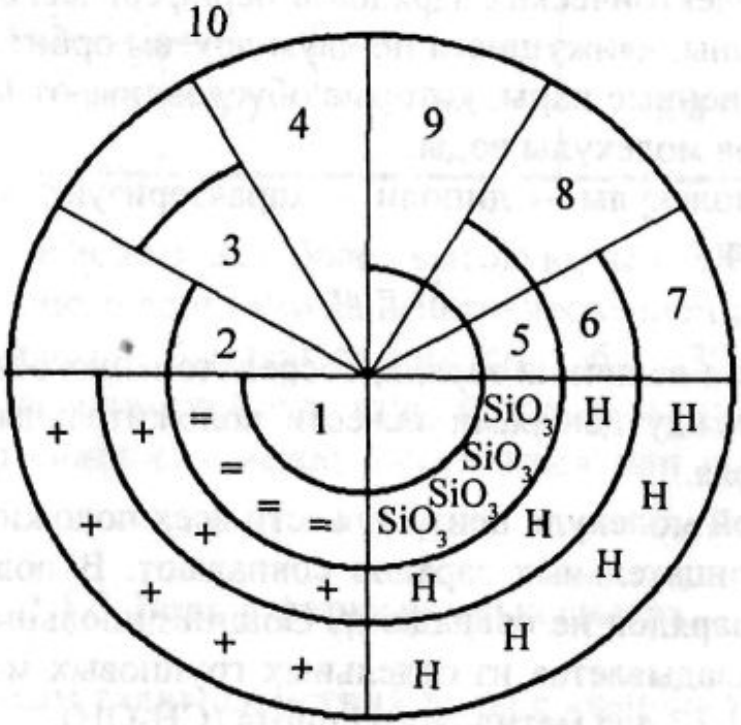
| Диаметр зерен, мм | Форма песка | | |
|---|---|---|---|
| | округлая | полуокруглая | остроугольная |
| 0,01—0,05 | 0 | 9 | 91 |
| 0,05—0,1 | 6 | 26 | 68 |
| 0,1—0,25 | 18 | 36 | 46 |
| 0,25—0,5 | 26 | 37 | 37 |
| 0,5—1,0 | 30 | 38 | 32 |
| 1,0-2,0 | 14 | 45 | 41 |

| минерал | твердость | минерал | твердость | минерал | твердость |
|---|---|---|---|---|---|
| Тальк | 1 | Флюорит | 4 | кварц | 7 |
| Гипс | 2 | Апатит | 5 | корунд | 9 |
| Кальцит | 3 | ортоклаз | 6 | алмаз | 10 |




$$M = e \cdot r,$$


+ H
O
C
H
H
H
H
O
1,6
1,55
0,7
C
0,4
$H_3$


10
4
9
8
3
7
6
2
5
1
$SiO_3$
H
H
$SiO_3$
$SiO_3$
H
H
$SiO_3$
H
H
H
H
H

$$pH = -\log [H^+]$$

| Диаметр зерен, мм | Форма песка | |
|---|---|---|
| | округлая | Остроугольная |
| 0,15 | 38,4 | 47,7 |
| 0,1 | 39,0 | 50,8 |
| 0,075 | 40,3 | 51,3 |

Пример 1: обозначение марок кварцевых формовочных песков: $2К_1О_3 02$ - марка кварцевого формовочного песка с массовой долей глинистой составляющей от 0,2 до 0,5%, массовой долей диоксида кремния не менее 99.0%, коэффициента однородности от 60,0 до 70,0% и средним размером зерна от 0,19 до 0,23 мм.

Пример 2: $2Т_2О_4$ 02 - тощий формовочный песок с массовой долей глинистой составляющей не более 8%, массовой долей диоксида кремния не менее 93,0%, коэффициента однородности от 50,0 до 60,0% и средним размером зерна от 0,19 до 0,23 мм.

Пример 3: $Ж_2$ 016 - жирный формовочный песок с пределом прочности при сжатии во влажном состоянии от 0.05 МПа до 0,08 МПа и средним размером зерна от 0,14 до 0,18 мм.

**Массовая доля глинистой составляющей в кварцевых песках**

| Группа | Массовая доля глинистой составляющей, %, не более |
|---|---|
| 1 | 0,2 |
| 2 | 0,5 |
| 3 | 1,0 |
| 4 | 1,5 |
| 5 | 2,0 |

**Массовая доля $SiO_2$ в кварцевых песках**

| Группа | Массовая доля диоксида кремния, %, не менее |
|---|---|
| $К_1$ | 99,0 |
| $К_2$ | 98,0 |
| $К_3$ | 97,0 |
| $К_4$ | 95,0 |
| $К_5$ | 93,0 |

**Коэффициент однородности формовочных песков**

| Группа | Коэффициент однородности, % |
|---|---|
| $O_1$ | Св. 80,0 |
| $O_2$ | От 70,0 до 80,0 |
| $O_3$ | >> 60,0 >> 70,0 |
| $O_4$ | >> 50,0 >> 60,0 |
| $O_5$ | До 50,0 |

**Средний размер зерен формовочных песков**

| Группа | Средний размер зерна, мм |
|---|---|
| O1 | До 0,14 |
| O16 | От 0,14 до 0,18 |
| O2 | >> 0,19 >> 0,23 |
| O25 | >> 0,24 >> 0,28 |
| O3 | Св. 0,28 |

**Массовая доля глинистой составляющей тощих песков**

| Группа | Массовая доля глинистой составляющей, %, не более |
|---|---|
| 1 | 4,0 |
| 2 | 8,0 |
| 3 | 12,0 |

**Массовая доля $SiO_2$ тощих песков**

| Группа | Массовая доля диоксида кремния, %, не менее |
|---|---|
| $Т_1$ | 96,0 |
| $Т_2$ | 93,0 |
| $Т_3$ | 90,0 |

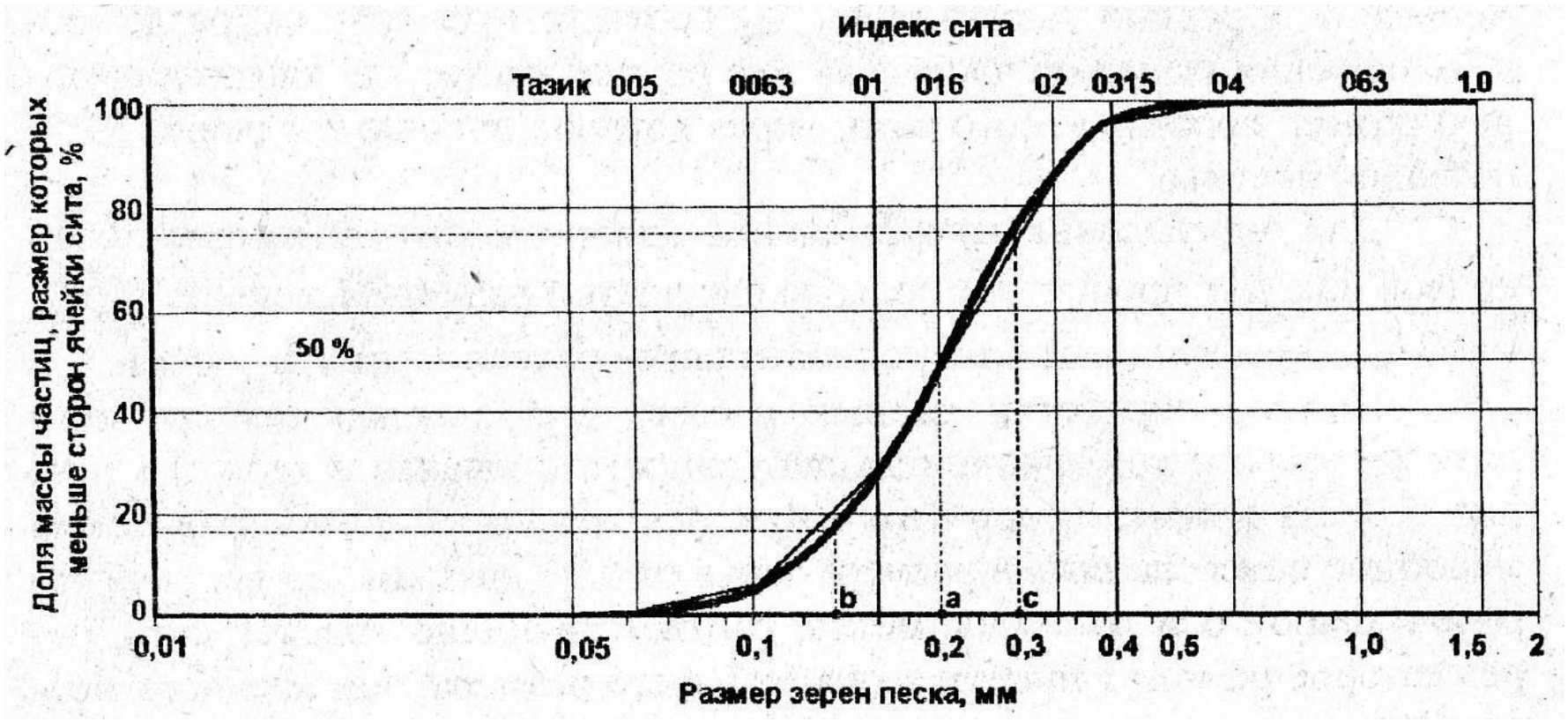
**Предел прочности при сжатии во влажном состоянии**

| Группа | Предел прочности при сжатии во влажном состоянии, МПа |
|---|---|
| $Ж_1$ | Св. 0,08 |
| $Ж_2$ | От 0,05 до 0,08 |
| $Ж_3$ | До 0,05 |

| номер сита | 25 | 16 | 10 | 063 | 04 | 0315 | 02 | 016 | 01 | 0063 | 005 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| размер стороны ячейки сита, мм | 2,5 | 1,6 | 1,0 | 0,63 | 0,4 | 0,315 | 0,2 | 0,16 | 0,1 | 0,063 | 0,05 |

$$X_i = \frac{m_i \cdot 100}{m}$$

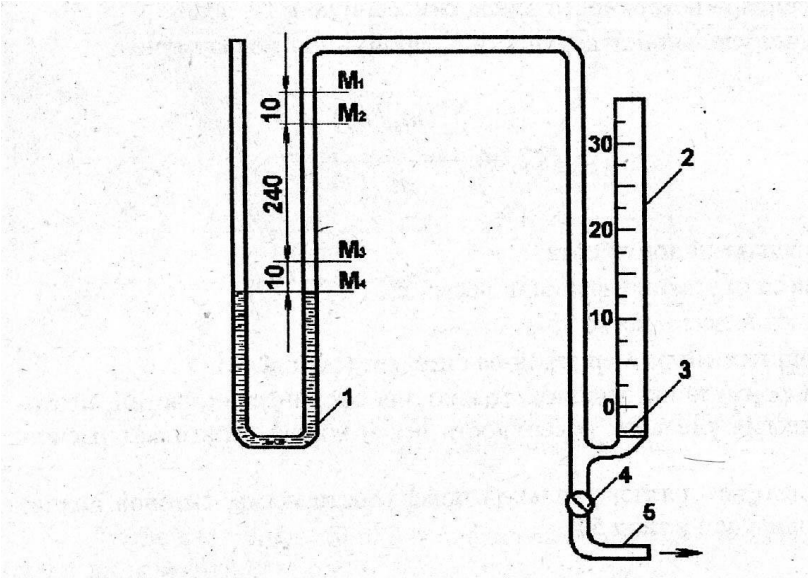
| Индекс сита | Размер стороны ячейки сита в свету d, мм | Характерный размер фракции 6, мм | Остаток на сите | | Доля массы частиц, размер которых меньше сторон ячейки сита, % |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | г | % | |
| 2.5 | 2,5 | — | 0 | 0 | 100 |
| 1.6 | 1,6 | 2,05 | 0 | 0 | 100 |
| 1.0 | 1 | 1,3 | 0,10 | 0,21 | 99,8 |
| 063 | 0,63 | 0,815 | 0,40 | 0,82 | 99,0 |
| 04 | 0,4 | 0,515 | 1,80 | 3,70 | 95,3 |
| 0315 | 0,315 | 0,3575 | 4,60 | 9,45 | 85,8 |
| 02 | 0,2 | 0,2575 | 18,75 | 38,50 | 47,3 |
| 016 | 0,16 | 0,18 | 8,90 | 18,27 | 29,0 |
| 01 | 0,1 | 0,13 | 11,60 | 23,82 | 5,2 |
| 0063 | 0,063 | 0,0815 | 2,35 | 4,83 | 0,4 |
| 005 | 0,05 | 0,0565 | 0,15 | 0,30 | 0,1 |
| Тазик | — | 0,035 | 0,05 | 0,10 | 0 |
| Всего | | | 48,70 | 100 | |




$$\delta = \frac{(d + d_в)}{2}$$

$$S_p = 22{,}64 \frac{\sum_i (m_i / \delta_i)}{m}$$

$$S_p = \frac{22{,}64}{48{,}7} \cdot \left(\frac{0{,}1}{1{,}3} + \frac{0{,}4}{0{,}815} + \frac{1{,}8}{0{,}515} + \frac{4{,}6}{0{,}3575} + \frac{18{,}75}{0{,}2575} + \frac{8{,}9}{0{,}18} + \frac{11{,}6}{0{,}13} + \frac{2{,}35}{0{,}0815} + \frac{0{,}15}{0{,}0565} + \frac{0{,}05}{0{,}035}\right) = 121{,}5$$



| Группа | Теоретическая удельная поверхность, $см^2/г$, не менее |
|---|---|
| Высокая | 150 |
| Средняя | 100 |
| Низкая | 50 |

| Группа | Коэффициент угловатости, ед., не более |
|---|---|
| Округлая | 1,10 |
| Полуокруглая | 1,25 |
| Угловатая | 1,40 |

D = m/V

$$\varepsilon + \frac{\gamma - D}{\gamma}$$

$$S_{\phi} = \frac{y}{D}\sqrt{\frac{\varepsilon^{3}}{H}} \cdot T$$

$$K = \frac{S_{\phi}}{S_{p}}$$

| Класс | Наименование песка | Содержание глинистой составляющей, % | Содержание кремнезема $SiO_t$, % | Содержание вредных примесей | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | оксиды щелочно-земельных и ще-лочных металлов, %, не более | оксиды железа ($Fe_2O_3$), %, не более |
| Об1к<br>Об2к<br>Об3К | Обогащенный кварцевый | Не более 0,2<br>« » 0,5<br>» » 1,0 | Не менее 98,5<br>» » 98,0<br>» » 97,5 | 0,40<br>0,75<br>1,00 | 0,20<br>0,40<br>0,60 |
| 1К<br>2К<br>3К<br>4К | Кварцевый | » » 2,0<br>» » 2,0<br>» » 2,0<br>» » 2,0 | » » 97,0<br>» » 96,0<br>» » 94,0<br>« » 90,0 | 1,20<br>1,50<br>2,0<br>- | 0,75<br>1,00<br>1,50<br>- |
| т | Тощий | Св. 2,0 до 10,0 | — | — | — |
| п | Полужирный | » 10,0 » 20,0 | — | — | — |
| ж | Жирный | » 20,0 » 30,0 | — | — | — |
| ож | Очень жирный | » 30,0 » 50,0 | — | — | — |

| Пески | Группа | Номера сит смежных размеров,на которых остаются зерна основной фракции |
|---|---|---|
| Грубый | 063 | 1; 063; 04 |
| Очень крупный | 04 | 063; 04; 0315 |
| Крупный | 0315 | 04; 0315; 02 |
| Средний | 02 | 0315; 02; 016 |
| Мелкий | 016 | 02; 016; 01 |
| Очень мелкий | 01 | 016; 01; 0063 |
| Тонкий | 0063 | 01; 0063; 005 |
| Пылевидный | 005 | 0063; 005; тазик |

1К02А обозначают кварцевый песок 1-го класса средней зернистости, группы 02, категории А.

| Предприятие | Марка песка | Массовая доля компонентов, % | | | | Огнеупорность, °С |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Глинистая составляющая | $SiO_2$ | $Fe_2O_3$ | Оксиды щелочных и щелочно-земельных металлов | |
| Балашейский карьер | $3К_3О_302$-025 | 0,2-0,9 | 96,8-97,8 | 0,2-0,4 | 0,38-0,8 | 1750 |
| | $5К_4О_4О3$ | 1,2-2,0 | 96,9-98,0 | 0,2-0,4 | 0,4-0,8 | 1750 |
| обогатительная фабрика | $1К_2О_303$ | 0,2 | 98 | 0,12 | 0,8 | 1760 |
| | $1К_2О_202$-025 | 0,2 | 98 | 0,12 | 0,8 | 1760 |
| Толмачев-ский карьер | $3К_2О_2025$ | 0,5-0,9 | 98,2-98,7 | 0,16-0,22 | 0,46-0,58 | 1740 |
| | $3К_2О_303$ | 0,5-0,9 | 97,7-98,0 | 0,18-0,24 | 0,46-0,58 | 1740 |
| Лужский ГОК | $2К_2О_2025$ | 0,3-0,5 | 98,4-98,5 | 0,20-0,26 | 0,49-0,65 | 1750 |
| | $3К_3О_203$ | 0,1-0,7 | 97,0-98,0 | 0,21-0,28 | 0,64-0,80 | 1740 |
| | $3К_3О_203$ | 0,2-1,2 | 97,0-98,0 | 0,25-0,40 | 0,65-0,80 | 1750 |
| Люберецкий горно-обогатительный комбинат | $2К_2О_102$ | 0,1-0,3 | 98,0-98,8 | 0,1-0,24 | 0,40-0,52 | 1760 |
| | $2К_2О_102$ | 0,1-0,3 | 98,0-98,5 | 0,14-0,26 | 0,42-0,60 | 1760 |
| | $2К_3О_102$ | 0,1-0,5 | 97,5-98,4 | 0,18-0,28 | 0,46-0,64 | 1740 |
| | $3К_3О_202$ | 0,2-1,0 | 97,0-98,0 | 0,18-0,28 | 0,46-0,65 | 1740 |

| Оксид | Плотность, $10^{-3}$, т/м$^3$ | Температура плавления t,$^0$C | Теплоемкость $C_p$, Дж/моль*К | ЛКТР $10^{-6}$, л/$^0$C | Кислотность |
|---|---|---|---|---|---|
| $SiO_2$ | 2.65 | 1710 | 44.4 | 13.7 | кислотный |
| $Al_2O_3$ | 3.96 | 2050 | 79.1 | 8.8 | амфотерный |
| MgO | 3.58 | 2800 | 37.8 | 13.5 | основной |
| $Cr_2O_3$ | 5.21 | 2275 | 118.9 | 9.6 | амфотерный |
| $ZrO_2$ | 5.79 | 2700 | 56.2 | 10.0 | амфотерный |
| $TiO_2$ | 4.20 | 1830 | 56.4 | 8.1 | кислотный |
| FeO | 5.87 | 1368 | 49.9 | 15.2 | основной |

→

Алюмосиликатные огнеупоры (шамот, дистен-силлиманит и муллит)

**Шамот** получают путем обжига каолинов и огнеупорных глин; он содержит 30—70% муллита ($3A1_20_3$-$SiO_2$); имеет огнеупорность 1690—1770 °С.

$Al_2O_3 \cdot 2\ SiO_2 \cdot H_2O \rightarrow Al_2O_3 \cdot 2\ SiO_2 + 2H_2O - Q$

**Дистен-силлиманит** состоит из двух модификаций: дистена (синоним-кианит) и силлиманита, имеющих один и тот же химический состав- $Al_2O_3 \cdot 2\ SiO_2$

**Муллит** плавится при температуре $1910^0$С, химически инертен. С кремнеземом муллит образует эвтептику (5,5% $Al_2O_3$ и 94,5% $SiO_2$) с температурой плавления $1585^0$С

Электрокорунд получают плавлением боксита (основа боксита - глинозем $Al_2O_3$ ) с углем в дуговых печах

В белом электрокорунде как примесь может присутствовать алюминат натрия $Na[Al(OH)_4]$, который с оксидом кремния дает соединения типа $Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 4SiO_2$ (температура плавления $1060^0C$) или $Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$ (температура плавления $1100^0C$). Присутствие этих веществ вызывает падение прочностных свойств керамических форм при температуре $1060\text{-}1200^0C$

## Огнеупоры на основе **оксида магния**

**Шпинелями** называют минералы общей формулы R’O□R’’O или $R'(R',R'')O_4$, где R’-$Mg^{2+}$,$Mn^{2+}$,$Fe^{2+}$ и др.; R’’-$Al^{3+}$, $Fe^{3+}$, $Cr^{3+}$ и др.

Алюмомагнезиальная шпинель $MgAl_2O_4$.

Магнезиальная шпинель, являясь химическим соединением в системе MgO - $SiO_2$ , содержит 71,7% $Al_2O_3$ и 23,3% MgO, имеет температуру плавления $2105^0$C, с MgO образует эвтептику с $t_{пл.}$=$1995^0$C, с $Al_2O_3$ - $t_{пл.}$=$1920^0$C.

**Хромомагнезит.**

Иногда называют магнезито-хромитом (от преобладающего содержания оксидов хрома или магния). Он содержит MgO не менее 42% и $Cr_2O_3$, не менее 15%; имеет температуру плавления до 2200°С. В чистом виде хромомагнезит представляет собой соединение $MgCr_2O_4$. Хромомагнезит получают в результате обжига при 1500-1600°С смеси, состоящей из 50— 70% хромитовой руды и 30—50% металлургического магнезита

**Оливин и дунит**

Оливин представляет собой изоморфную смесь форстерита $2MgO\text{-}SiO_2$ и фаялита $2FeO\text{-}SiO_2$; Оливин имеет состав, % масс.: 48-50 MgO, 8-10 (до 20) FeO, 0,1 NiO, до 0,01 CoO, присутствуют также оксиды марганца, кальция, алюминия ($SiO_2$ =38-52). Температура плавления оливина $1890^0$С, примеси снижают её до $1620^0$С

**Форстерит.** Иначе - ортосиликат магния имеет теоретический состав, % масс.: 57,1 MgO, 42,9 $SiO_2$.

Ставролит и пирофиллит. Ставролит содержит, % масс.: 55,9 $Al_2O_3$, 26,3 $SiO_2$, 15,8 FeO, 2,0 $H_2O$. $Fe^{2+}$ в значительных количествах заменяется $Mn^{2+}$. Пирофиллит состоит: 66,7 $SiO_2$, 28,3 $Al_2O_3$, 5,0 $H_2O$, примесями могут быть оксиды железа, кальция, титана.

**Хромит** (хромистый железняк или $FeO \cdot Cr_2O_3$). Получают обжигом при 900-1100$^0$С соответствующей руды или боя металлургического хромистого железняка с последующим размолом и рассевом.

$Cr_2O_3$ не менее 45, $Fe_2O_3$ не более 26, $SiO_2$ не более 8 и CaO не более 2,5.

Хромитовые пески на ситах 1,6—01 имеют остаток 60—70%, на ситах 0063, 005 и в тазике — 30—40%

Цирконовый песок представляет собой природный минерал — $ZrO_2 \cdot SiO_2$ соединение $ZrSiO_4$ (или $ZrO_2 \cdot SiO_2$ ), является силикатом циркония, называют цирконом или реже силикатом циркония, встречается в россыпях.

| Материал | Массовая доля, % | | Огнеупорность, °С | Область применения |
|---|---|---|---|---|
| | Основной компонент | Вредных примесей | | |
| Шамотный порошок ПШС | 32 $Al_2O_3$ | - | 1690 | Для многократных форм, противопригарных красок при литье марганцовистых сталей |
| Хромитовые порошки ПХК<br>ПХС | ≥45 $Cr_2O_3$<br>≥30 $Cr_2O_3$ | ≤8 $SiO_2$<br>≤2,5 CaO<br>≤ 10 $SiO_2$<br>≤ 3 CaO | 1600-1800 | Для облицовочных смесей при получении крупных стальных отливок |
| Дистенсиллиманит | ≥ 75 $Al_2O_3$ | ≤0,8 $Fe_2O_3$<br>≤0,2 CaO<br>≤0,4MgO<br>≤1,5$TiO_2$ | 1800 | Для формовочных и стержневых смесей при получении крупных отливок из высоколегированных сталей, в том числе марганцовистых, для противопригарных красок |
| Оливиновый песок | 46-50 MgO<br>42-43 $SiO_2$ | ≤10-12 $Fe_2O_3$<br>≤2 ($Al_2O_3$+ $Cr_2O_3$+ CaO+MgO | 1750-1830 | Для облицовочных смесей и покрытий при изготовлении форм и стержней для крупных отливок из высоколегированных сталей, в том числе марганцовистых |
| Магнезитовый порошок МФЛ | 91 MgO | 3,5 CaO<br>3,0 $SiO_2$ | 1900-2000 | Для облицовочных смесей, противопригарных красок при изготовлении отливок из высокомарганцовистых сталей |
| Магнезито-хромитовые и хромомагнезитовые ПМХТ<br>ПХМТ | 15-25 $Cr_2O_3$<br>MgO<br>30-40 $Cr_2O_3$<br>55 MgO | 5 $SiO_2$<br>7$SiO_2$ | 2000-2100 | Для облицовочных смесей, противопригарных красок и паст при получении крупных стальных отливок, особенно из высоколегированных сталей. |
| Корунд | 98.5 $Al_2O_3$ | | 2050 | Для облицовочных смесей при производстве стальных отливок |
| Цирконовые<br>Ц1<br>Ц2 | 97-98.5 $ZrSiO_4$<br>94-96.5 $ZrSiO_4$ | 1.5-3.0<br>3.5-6.0<br>примеси | 2430-2450 | Для формовочных материалов при получении крупных, толстостенных отливок, когда смесь подвергается длительному воздействию высоких температур при высоком гидростатическом давлении |

**Теплофизические свойства высокоогнеупорных материалов**

| Материал | Температура плавления, °С | Тепло-аккумулирующая способность, Дж/(м$^2$·с$^{1/2}$·К) | Температурный коэффициент расширения (К$^{-1}$) в интервале 300–1000°С | | ρ, кг/м$^3$ |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | объемного | линейного | |
| Кварцевый песок $SiO_2$ | 1550–1713 | 1260 | 1,54 | $13{,}7\cdot10^{-6}$ | 2650 |
| Дистен-силлиманит $Al_2O_3\cdot SiO_2$ | 1800–1830 | 1470 | 0,43 | – | 3250 |
| Циркон $ZrO_2\cdot SiO_2$ | 2600 | 1820 | 0,16–0,63 | $5{,}5\cdot10^{-6}$ | 4570 |
| Рутил $TiO_2$ | 1560–1570 | 1960 | 0,25–0,92 | – | 4200–4300 |
| Хромомагнезит $MgO\cdot Cr_2O_3$ | 2000–2100 | 2100 | 0,8–0,9 | – | 3900 |
| Хромит $FeO\cdot Cr_2O_3$ | 1600–1800 | 2380 | 0,7 | – | 3760–4280 |
| Магнезит $MgCO_3$ | 2000–2800 | – | – | $13{,}5\cdot10^{-6}$ | 2900 |
| Оливиниты, дуниты $(Mg,Fe)_2SiO_4$ | 1830–1750 | – | – | – | 3200–3500 |
| Шамот (40% $Al_2O_3$, остальное $SiO_2$) | 1580–1750 | – | – | $(4{,}5\div6{,}0)\cdot10^{-6}$ | 3000 |
| Муллит $3Al_2O_3\cdot 2SO_2$ | 1810 | – | – | – | 3030 |