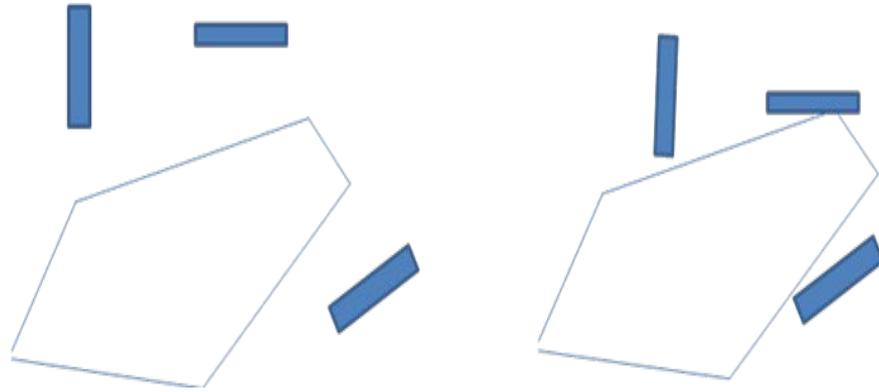


# Сближение частиц материала при сушке



# Схема процесса удаления связки

T, C

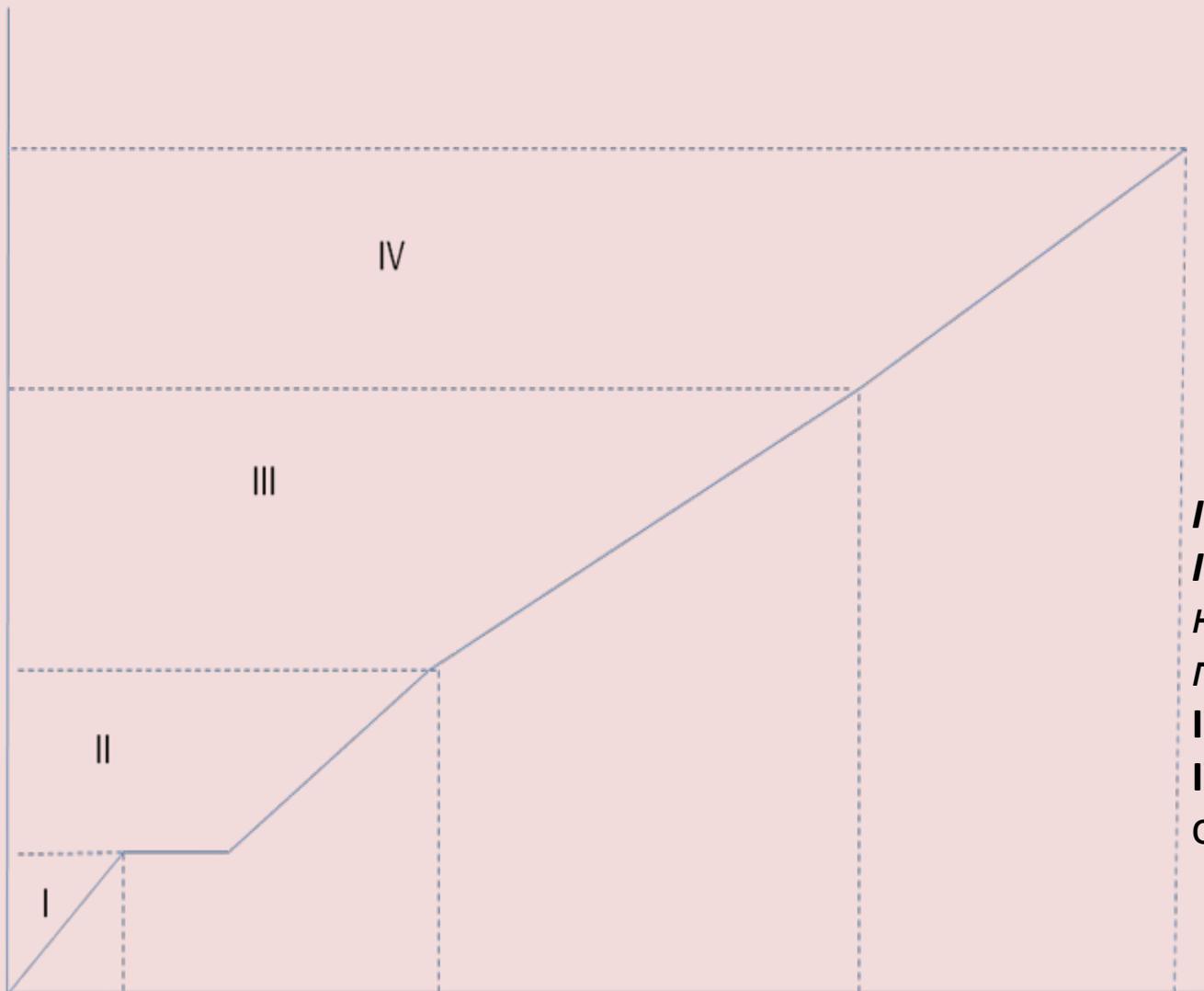
900-  
1200

600

300

80-100

Время.ч



*I-удаление связки;*  
*II-разложение связки*  
*на газообразные*  
*продукты;*  
**III-полное выжигание;**  
**IV-частичное**  
**спекание.**

# ***Процессы, протекающие при нагревании в заготовках :***

## ***На начальной стадии:***

- удаление механически и химически связанной воды;
  - выгорание органических веществ;
  - термическое разложение кристаллических соединений (карбонатов, сульфатов) с выделением газов и паров;
  - линейное (объемное) расширение
- другие структурообразования, интенсифицирующие процесс

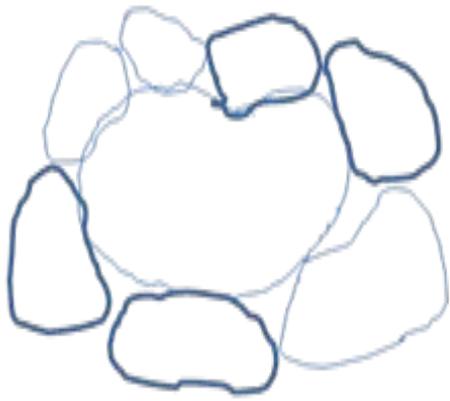
## ***На последующих стадиях:***

- твердофазные химические реакции;
- взаимные растворения компонентов с образованием новых фаз;
- плавление отдельных составляющих;
- полиморфные превращения;
- концентрация внутренних напряжений.

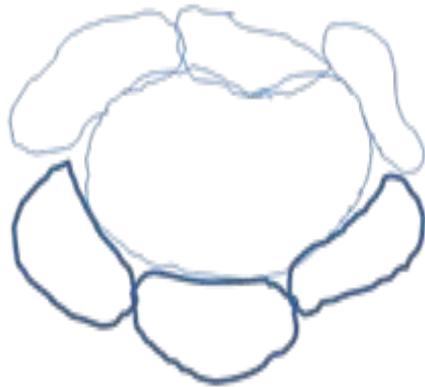
# Механизмы спекания:

- 1) диффузионный;
- 2) жидкостной;
- 3) испарение и конденсация;
- 4) пластическая деформация;
- 5) реакционный.

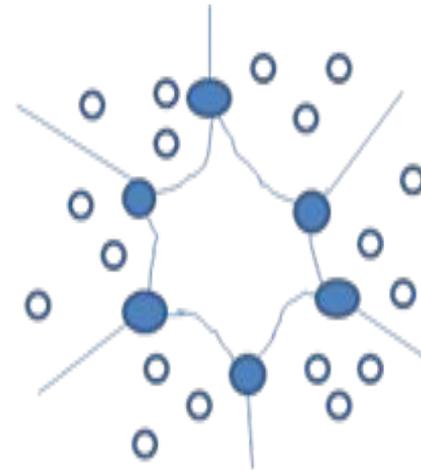
# Процесс спекания



а



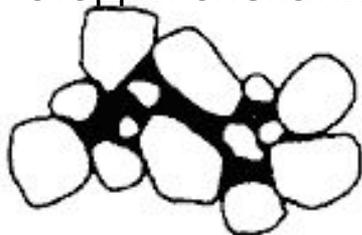
б



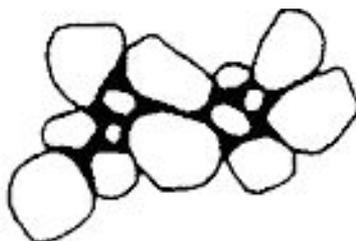
в

*а - начальная стадия  
б- промежуточная,  
стадия  
в- конечная стадия*

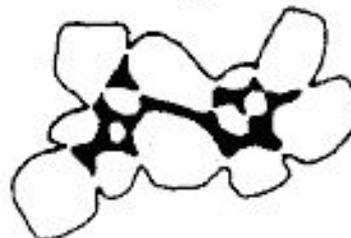
Начальная  
стадия спекания



Перестройка  
частичек

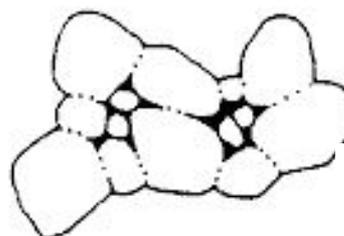
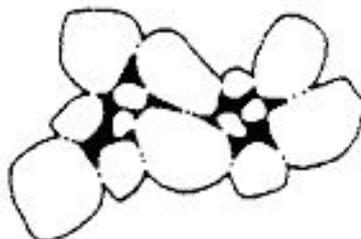


Образование  
контактов



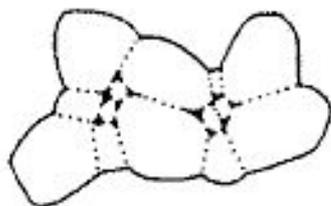
*Начальная  
стадия*

Рост  
контактов

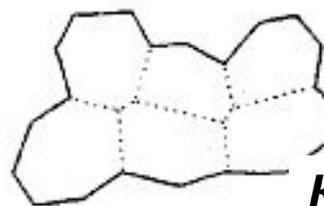
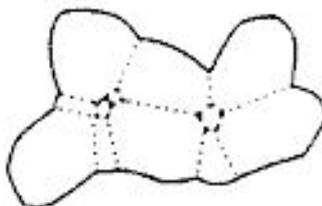


*Промежуточная  
стадия*

Рост зерен



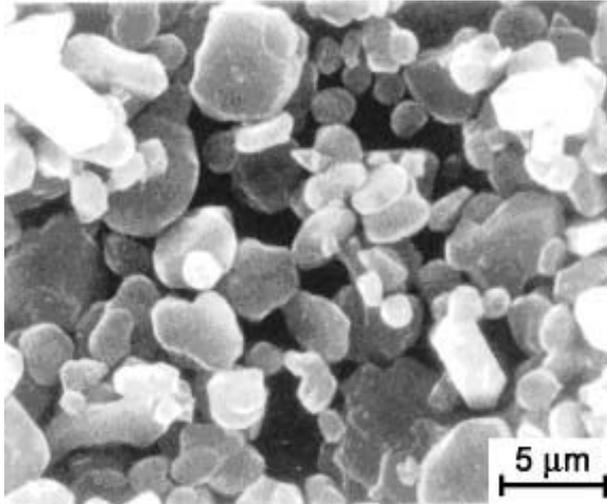
Залечивание пор и рост  
зерен



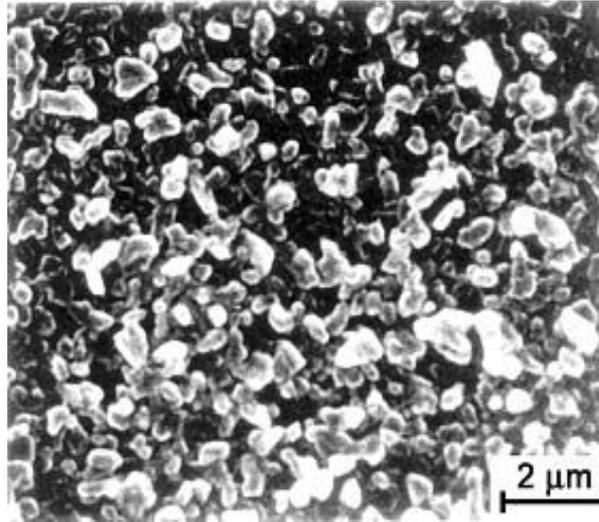
*Конечная  
стадия*

**Рост зерен в процессе**

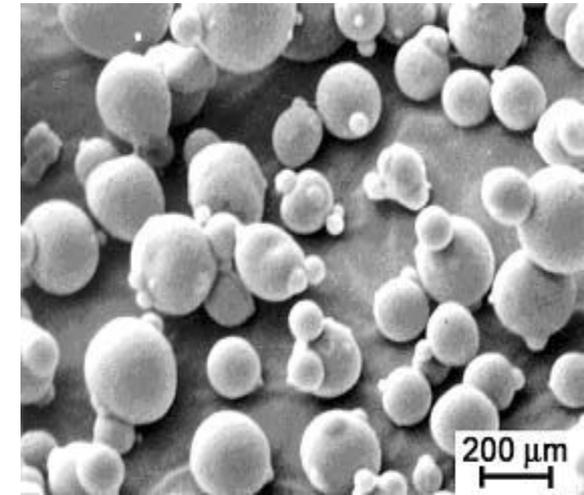
# Микрофотографии $\text{Al}_2\text{O}_3$



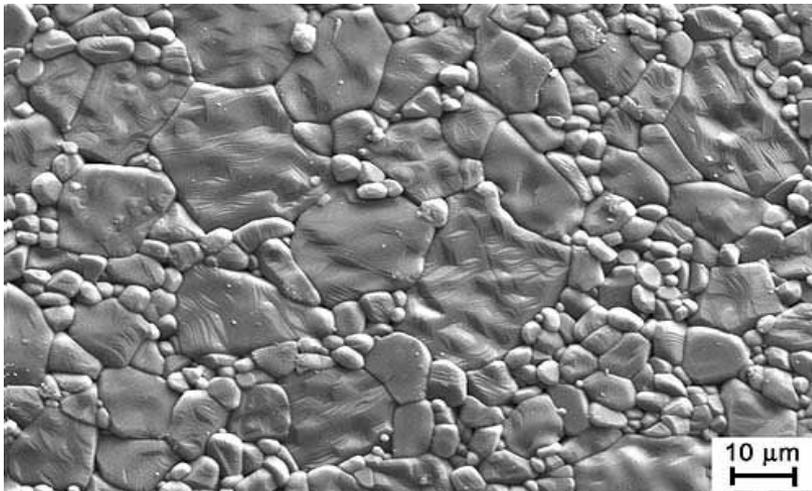
Грубый порошок  $\text{Al}_2\text{O}_3$



Тонкая пудра  
 $\text{Al}_2\text{O}_3$

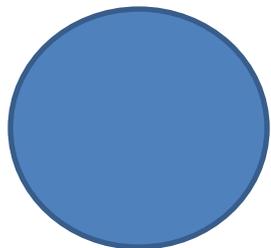


$\text{Al}_2\text{O}_3$ -  
гранулят

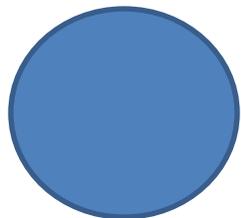


Поверхность готового изделия из

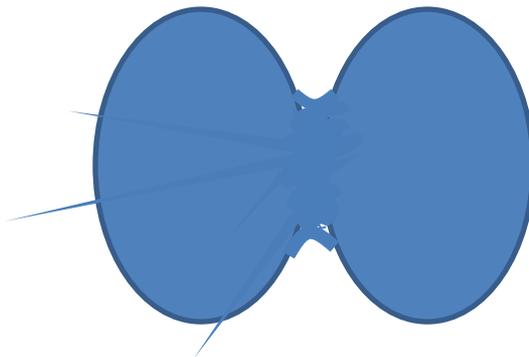
# Схема слияния двух стеклянных шаров



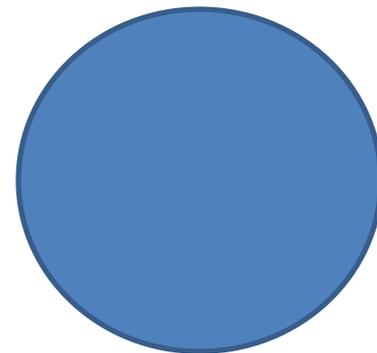
а



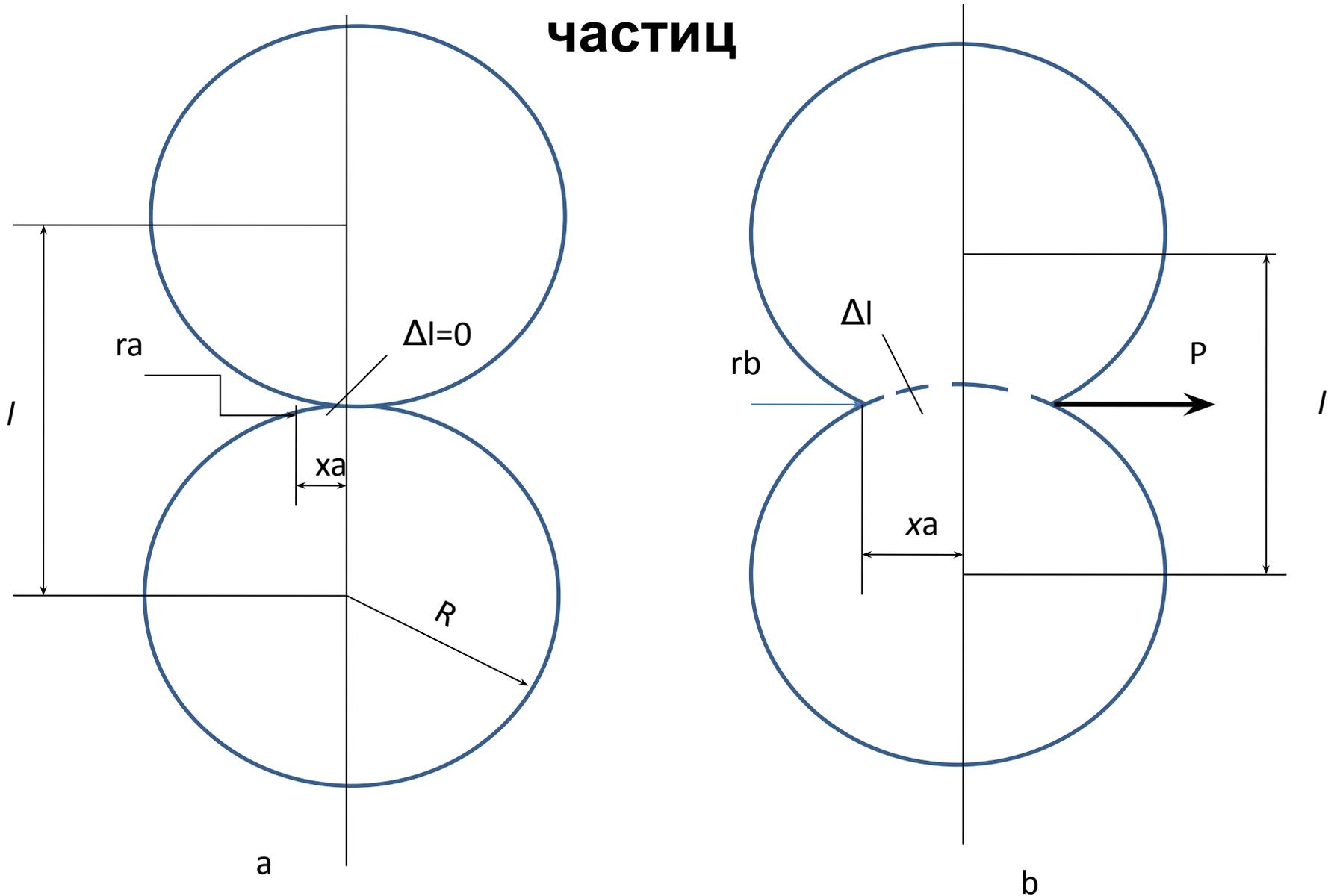
б



в



# Модель спекания шарообразных частиц



а- начальный момент времени; в - спекание.

$$(x/R)_2 \approx 3a/2R\eta$$
$$\Delta l/l \approx 3at/8R\eta, \quad \text{где}$$

$x$  - радиус площади контакта;

$R$  – начальный радиус частицы;

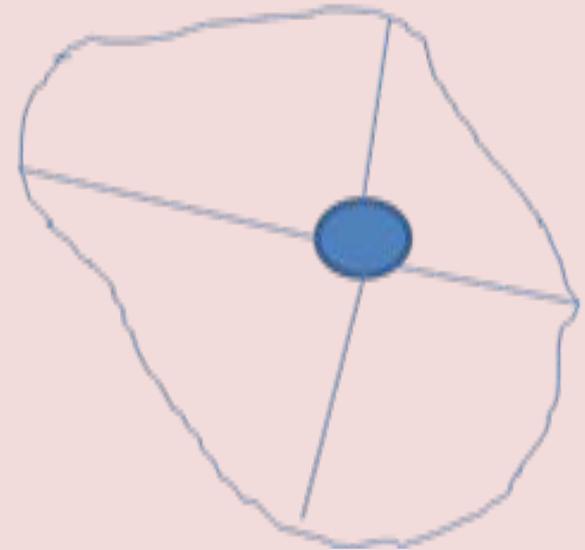
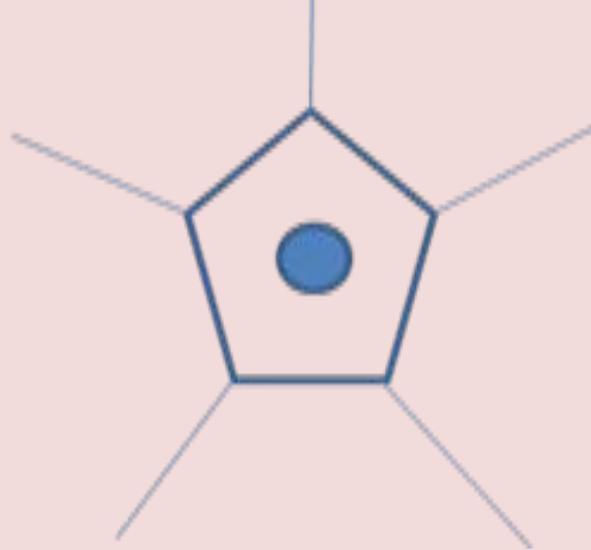
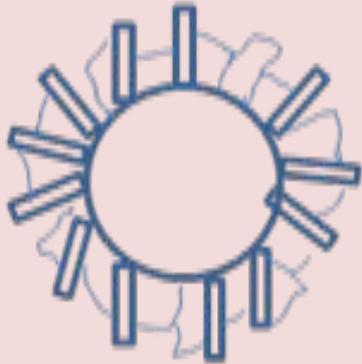
$a$  – удельная поверхностная энергия;

$t$  – время;

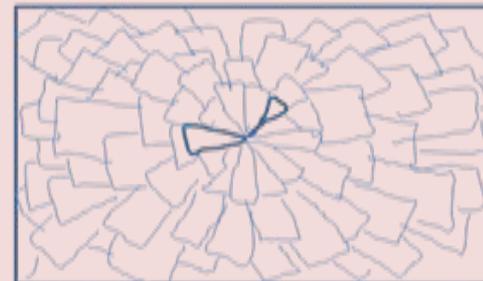
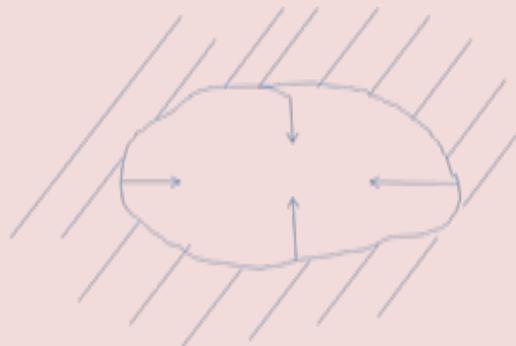
$\eta$  – коэффициент вязкости;

$l$  и  $\Delta l$  – соответственно расстояние между частицами и его изменение.

# Возможные варианты расположения пор в структуре



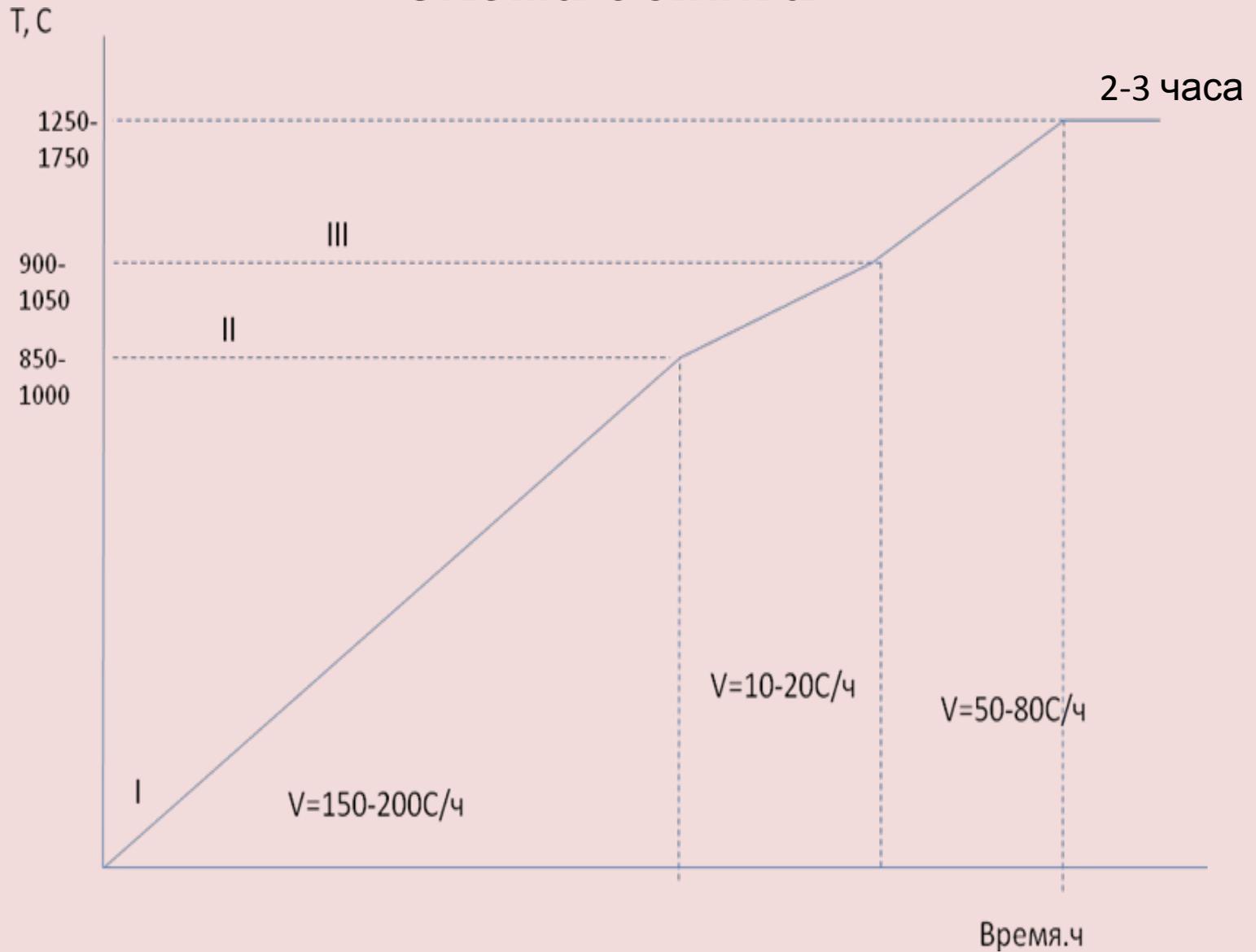
## Залечивание изолированной поры



# Туннельная печь



# Схема обжига



## ***Показатели для оценки процесса спекания:***

- кажущаяся плотность;
- пористость (внутризеренная, межзеренная);
- усадка;
- изменение массы.

## **Спекающие добавки-минерализаторы:**

- Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CrO<sub>3</sub> → уменьшение размера зерен
- ZnO, CdO → рост зерна

## Типичные температуры спекания:

Keramik	Sintertemperatur
Tonerdeporzellan	ca. 1.250 °C
Quarzporzellan	ca. 1.300 °C
Steatit	ca. 1.300 °C
Cordierit	1.250 - 1.350 °C
Aluminiumoxid	1.600 - 1.800 °C
rekristallisiertes Siliciumcarbid	2.300 - 2.500 °C
gesintertes Siliciumcarbid	ca. 1.900 °C
Siliciumnitrid	ca. 1.700 °C

# Значения линейной усадки некоторых материалов

МАТЕРИАЛ	УСАДКА
Рекристаллизованный карбид кремния SiC	около 0 %
Карбид кремния SiC	18 - 20 %
Кордиерит $(Mg,Fe)_2Al_4Si_5O_{18}$	3 - 8 %
Фаянс	13 - 16 %
Оксид алюминия Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17 - 20 %
Оксид циркония ZrO <sub>2</sub>	25 - 32 %

# Взаимосвязь кинетических параметров спекания с прочностью керамики.

$$Z = \frac{V_n}{V_{0n}} = \frac{1-P_0 * P}{P_0 * (1-P)},$$

**где**

$V_n$  - объем пор спеченного материала;

$V_{0n}$  - объем пор до спекания;

$P_0$  - объемная доля пор до спекания.