

# ОСОБО НИЗКОЩЕЛОЧНОЙ ПОРТЛАНДЦЕМЕНТ ДЛЯ БЕТОНОВ ДОРОЖНЫХ И АЭРОДРОМНЫХ ПОКРЫТИЙ

Л.Г. Бернштейн, Б. Э. Юдович

НЦ «Гипроцемент-Наука» (СПб)

ООО«Интехстром» (Москва)

# Минералогический состав цемента по ГОСТ 55224-2012

(расчётный)

- **Трёхкальциевый алюминат (С3А)  $\leq 7\%$**
- **Сумма С3А+С4АФ  $\leq 24\%$**
- **Трёхкальциевый силикат (алит, С3S)  $\geq 55\%$**
- **Обоснования:**
  - С3А снижает сульфато- и морозостойкость бетона;
  - Сумма С3А+С4АФ больше 24% снижает скорость гидратации алита;
  - С3S ниже 55% замедляет рост прочности цемента и повышает долю открытых пор в бетоне, снижая морозо- и водостойкость и повышая вероятность коррозии арматуры

# Тонкость помола цемента по ГОСТ 55224-2012

- Удельная поверхность  $S_{уд}$  250 – 350 м<sup>2</sup>/кг.
- Основания: С.В.Шестопёров (1958): ниже – медленная гидратация цемента, рост капиллярной пористости, низкая сульфато- и морозостойкость; выше – высокие водопотребность, капиллярная пористость, усадка. **На деле:** вибродомол; при  $\geq 350$  м<sup>2</sup>/кг фракция  $\leq 5$  мкм  $\geq 25\%$ ; фракция 5 - 30 мкм 45%; вредной фракции  $\geq 30$  мкм  $\geq 30\%$
- Комментарии:
- G.Kühl (1961): ОПЦ 300 – 320; БТЦ до 350 м<sup>2</sup>/кг;
- Zement institut Düsseldorf (Jahrestagung 2014):
- ОПЦ 350 – 450; БТЦ 450 – 600 м<sup>2</sup>/кг;
- Основания: зерновые составы современных цементов:  
ОПЦ фр  $\leq 5$  мкм  $\approx 20\%$ ; фр 5 - 30 мкм  $\approx 60\%$ ; фр.  $\geq 30$  мкм  $\approx 20\%$ ;  
БТЦ фр  $\leq 5$  мкм  $\approx 25\%$ ; фр 5 - 30 мкм  $\approx 70\%$ ; фр.  $\geq 30$  мкм  $\approx 5\%$ .

# Содержание щелочных оксидов в цементе по ГОСТ 55224-2012

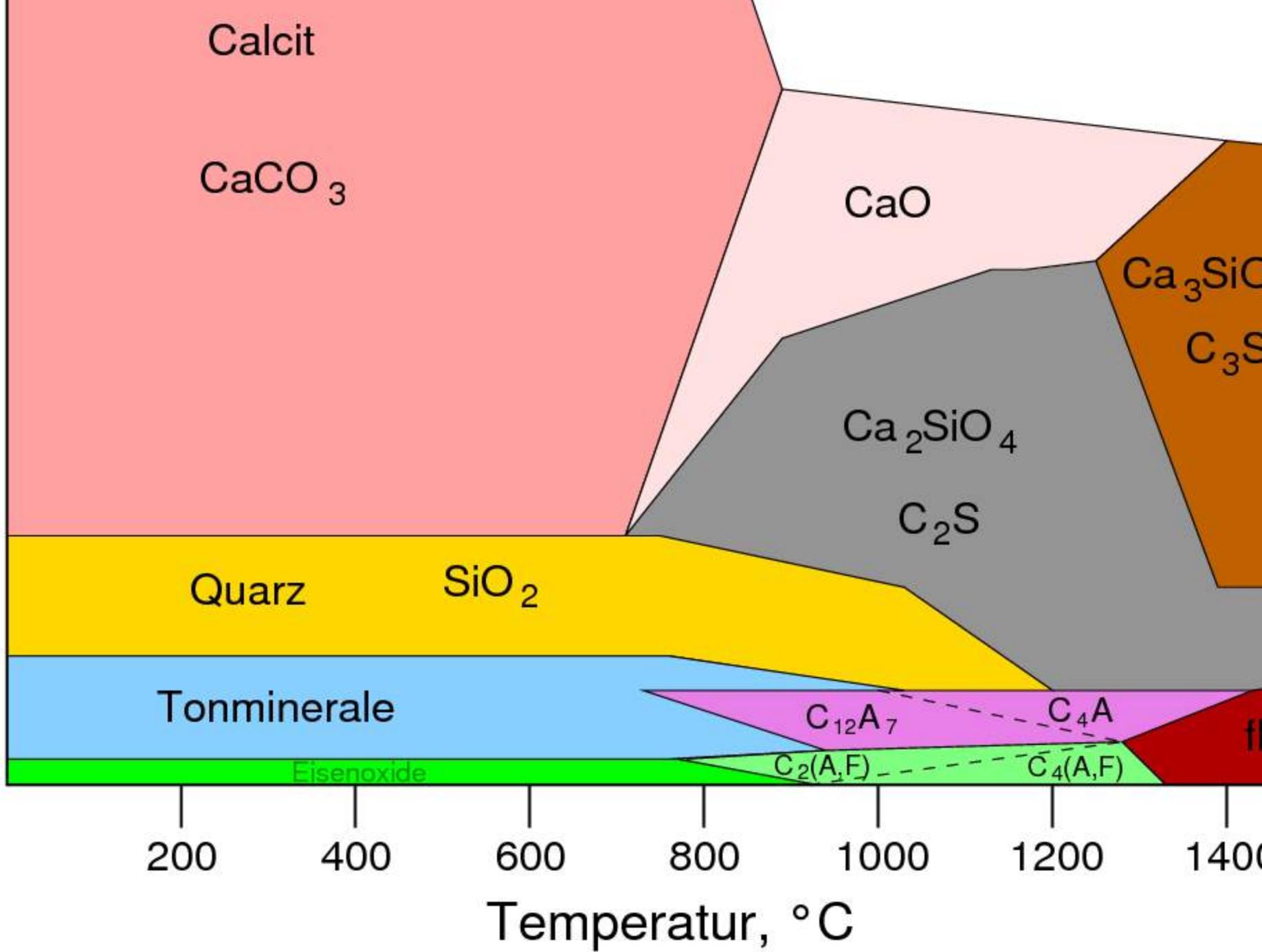
$R_{2O} = Na_2O + 0,658 K_2O \leq$

0,8%

Разрушение плотины BD

Основания: Stanton (1940):  
бетон плотины Boulder Dam  
(авария 1936) – из-за  
реакции  $R_{2O}$  (цемента) + акт.  
 $SiO_2$  (заполнитель):  $R_{2O} \leq$   
0,6%

Massenanteil im Ofen



# Алиитообразование в клинкерном расплаве

•  $C_2S + C = C_3S$  (термодинамически запрещена или нереальна)

1)  $C_2S + C_3A \rightarrow C_3S + C_{12}A_7$  (майенит, с  $\approx 1\%$  своб. ат. O);

2)  $C_{12}A_7 + C \rightarrow C_3A$ ;

3)  $C_2S + C_4AF \rightarrow C_3S + C_{12}A_7 + C_2F + CF$  (ферриты, с  $\approx 1\%$  своб. FeO – моноксид Fe);

4)  $C_{12}A_7 + C_2F + CF \rightarrow C_4AF$ ;

**Клинкер:  $C_3S + C_2S + C_3A + C_4AF$ ;**

промежуточные

фазы:  $C_{своб} + C_{12}A_7 + C_2F + CF$ ; вызывают: майенит

– л.схв.; рост В/Ц; коррозию арматуры; ферриты –

# Щелочесодержащие фазы цемсырья

# Клинкерные фазы, включающие катионы K и Na, отношение к расплаву

- **Силикаты: КС 23 S11 калиевый белит, н/р**
- **KCS кальсилит: растворим;**
- -- ограничивают алит:  $C3S \leq 62\%$
- **Алюминаты: КС8 А3; NС8 А3: растворимы;**  
-- аналоги майенита по влиянию и свойствам: л.схв.; высокая водопотребность и водоотделение; усадка; низкая сульфато- и морозостойкость

## Гидратация цемента (начало) с 0,6% R2O

Концентрация в жидкой  
фазе через 1 сутки:

K<sub>2</sub>O 7 мг/л

Na<sub>2</sub>O 5 мг/л

CaO 0,8 мг/л

SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 2,1 мг/л

## **Микротрещины как результат реакции R2O цемента и акт. SiO2 песка (желтые зёрна)**

**Расширение (разрушение)**  
пропорционально  
содержанию R2O, доле и  
диаметру зёрен  
активной части  
заполнителя,  
концентрации R2O в  
жидкой части цемента .

### **Высолы**

пропорциональны  
содержанию Ca(OH)2 и  
R2O, обратно пропор-  
циональны содержанию  
SO42 – в жидкой фазе  
бетона.

# Поверхность бетона после реакции

# Реакционные дефекты в покрытиях мостов (расширение с выпиранием)

Реакционные дефекты

в дорожных разделителях, сопровождаемые  
коррозией арматуры

# Особо низкощелочной цемент: основные требования

- **C3S (алит)  $\geq$**

**62%**

- **C3A**

**(трёхвалентный оксид алюминия)**

# ТЕХНОЛОГИЯ

## особо низкощелочного цемента

- 1. Низкощелочное сырьё (подбор) и резкое повышение его реакционной способности (тонкий помол, промоторы минералообразования)
- 2. Двухбарабанная вращающаяся печь по Бернштейну
- 3. Байпас отходящих газов и пылеподавление в печи за счёт новых конструкций теплообменных устройств по Бернштейну
- 4. Испарение  $H_2O$  путём добавки фторидов в

Спасибо за внимание!

<http://rucem.ru/presentation/>