**Государственный стандарт СССР ГОСТ 29167-91
"Бетоны. Методы определения характеристик трещиностойкости (вязкости разрушения) при статическом нагружении"
(утв. постановлением Госстроя СССР от 25 ноября 1991 г. N 13)**

**Concretes. Methods for determination of fracture toughness characteristics**

Дата ведения 1 июля 1992 г.

 [1. Общие положения](#sub_100)

 [2. Образцы](#sub_200)

 [3. Испытательное оборудование](#sub_300)

 [4. Проведение испытаний](#sub_400)

 [5. Обработка результатов](#sub_500)

 [Приложение 1. Обозначения величин](#sub_1000)

 [Приложение 2. Термины и пояснения](#sub_2000)

 [Приложение 3. Определение характеристик трещиностойкости](#sub_3000)

 при равновесных испытаниях образцов с фиксацией размеров

 развивающейся магистральной трещины и соответствующих

 значений прилагаемой нагрузки

 [Приложение 4. Определение предела прочности на растяжение и начального](#sub_4000)

 модуля упругости

 [Приложение 5. Испытательное оборудование для определения характеристик](#sub_5000)

 трещиностойкости при равновесных испытаниях образцов

 типа 1

 [Приложение 6. Поправка на массу образца и дополнительного оборудования](#sub_6000)

Настоящий стандарт распространяется на бетоны всех видов (кроме ячеистых), применяемых в строительстве, и устанавливает методы их испытаний для определения силовых и энергетических характеристик трещиностойкости при статическом кратковременном нагружении.

Требования настоящего стандарта являются рекомендуемыми.

Обозначения, применяемые в настоящем стандарте, приведены в [приложении 1](#sub_1000). Пояснения к терминам приведены в [приложении 2](#sub_2000).

**1. Общие положения**

1.1. Характеристики трещиностойкости определяют при равновесных и неравновесных механических испытаниях.

Равновесные испытания на стадии локального деформирования образца характеризуются обеспечением адекватности изменения внешних сил внутренним усилиям сопротивляемости материала с соответствующим статическим развитием магистральной трещины.

Неравновесные испытания характеризуются потерей устойчивости процесса деформирования образца в момент локализации деформации по достижении максимальной нагрузки, с соответствующим динамическим развитием магистральной трещины.

 1.2. Для определения характеристик трещиностойкости испытывают

образцы с начальным надрезом. При равновесных испытаниях записывают

 \*

диаграмму F-V; при неравновесных испытаниях фиксируют значение F\_с.

Допускается проведение равновесных испытаний с фиксацией текущих размеров развивающейся магистральной трещины (а\_ij) и соответствующих значений прилагаемой нагрузки (F\_ij) согласно [приложению 3](#sub_3000).

 1.3. По результатам испытаний определяют следующие основные силовые

- в терминах коэффициентов интенсивности напряжений (К), энергетические

- в терминах удельных энергозатрат (G) и джей-интеграла (J),

 \*

характеристики трещиностойкости: К\_c, K\_с, K\_i, G\_F, G\_i, G\_ce, J\_i,

 c

X\_F

Значения R\_bt, R\_btf, E\_в определяют по [приложению 4](#sub_4000).

1.4. Определяемые по настоящему стандарту характеристики трещиностойкости (наряду с другими характеристиками механических свойств) используют для:

сравнения различных вариантов состава, технологических процессов изготовления и контроля качества бетонов;

сопоставления бетонов при обосновании их выбора для конструкций;

расчетов конструкций с учетом их дефектности и условий эксплуатации;

анализа причин разрушений конструкций.

**2. Образцы**

2.1. Для определения характеристик трещиностойкости при равновесных испытаниях применяют образцы типа 1 - для испытаний на изгиб ([черт. 1](#sub_771)).

2.2. Для определения характеристик трещиностойкости при неравновесных испытаниях применяют образцы типов 1 - для испытаний на изгиб ([черт. 1](#sub_771)), 2 - для испытаний на осевое растяжение ([черт. 2](#sub_772)), 3 - для испытаний на внецентренное сжатие ([черт. 3](#sub_773)), 4 - для испытаний на растяжение при раскалывании ([черт. 4](#sub_774)).

2.3. Соотношение размеров и схемы нагружения образцов приведены на [черт. 1-4](#sub_771).

Минимальные размеры образцов и размеры начальных надрезов принимают по таблице в зависимости от размера зерна заполнителя d\_am.

2.4. Начальные надрезы наносят при помощи режущего инструмента или при формовании образцов путем закладывания фольги либо латунной (или стальной) пластины.

Ширина начального надреза не должна превышать 0,5 d\_am и быть не более 2 мм.

2.5. Образцы для испытаний изготавливают по ГОСТ 10180 сериями не менее чем из четырех образцов-близнецов каждая, либо выбуривают (выпиливают) из изделий, конструкций, сооружений по ГОСТ 28570.



"Черт. 1."



"Черт. 2."



"Черт. 3."



"Черт. 4."

**Примечание к черт. 1-4.** Обозначения приведены в [приложении 1](#sub_1000), размеры образцов - в таблице.

мм

┌─────────────────┬─────────────────────────────────────────────────────┐

│ Максимальный │ Размеры образцов │

│ размер зерна ├────────────┬───────────┬─────────────┬──────────────┤

│ заполнителя │ Тип 1 │ Тип 2 │ Тип 3 │ Тип 4 │

│ d\_am │ │ │ │ │

├─────────────────┼────────────┼───────────┼─────────────┼───────┬──────┤

│ Менее 1,25 │ 40 10/5 │ 40 15 │ 40 10 │ 100 │ 30 │

│ 1,25-5,0 │ 70 25/5 │ 70 25 │ 70 15 │ 100 │ 30 │

│ 5,0-10,0 │100 35/5 │ 100 45 │ 100 25 │ 100 │ 30 │

│ 10,0-20,0 │150 50/10│ 150 60 │ 150 35 │ 200 │ 60 │

│ 20,0-40,0 │200 70/10│ 200 80 │ 200 50 │ 200 │ 60 │

│ 40,0-60,0 │300 100/15│ 300 120 │ 300 75 │ 400 │ 120 │

│ 60,0-80,0 │400 140/20│ 400 160 │ - - │ 400 │ 120 │

└─────────────────┴────────────┴───────────┴─────────────┴───────┴──────┘

**Примечание.** При неравновесных испытаниях образца типа 1 допускается не образовывать верхний надрез (a\_0t = 0).

2.6. Для изготовления образцов используют оборудование по ГОСТ 10180 и ГОСТ 28570.

2.7. Условия твердения образцов после изготовления принимают по ГОСТ 18105.

**3. Испытательное оборудование**

3.1. Перечень оборудования и его характеристики для изготовления образцов всех типов и их испытаний для определения характеристик трещиностойкости при неравновесных испытаниях принимают по ГОСТ 10180 и ГОСТ 28570.

3.2. Для определения характеристик трещиностойкости при равновесных испытаниях образцов типа 1 используют испытательное оборудование согласно [приложению 5](#sub_5000); при этом средства измерения должны обеспечивать непрерывную двухкоординатную запись диаграммы F-V в соответствии со схемой коммутации аппаратуры согласно [приложению 6](#sub_6000).

3.3. Допускается использование других средств измерения, оборудования и приспособлений, если их технические характеристики удовлетворяют требованиям ГОСТ 10180 или ГОСТ 28570 и [приложению 5](#sub_5000) настоящего стандарта.

3.4. Правила поверки и аттестации средств измерения и испытательного оборудования принимают по ГОСТ 10180.

**4. Проведение испытаний**

4.1. При проведении испытаний температура окружающей среды должна составлять (20 +- 5)°С, а относительная влажность - не менее 50%.

4.2. Линейные размеры образцов измеряют с погрешностью не выше 1 мм, их перемещения - 0,01 мм, а усилия, действующие на образец, - не более 1% измеряемого максимального усилия.

4.3. Перед началом испытаний следует провести два цикла нагружения - разгружения до нагрузки, составляющей 10% ожидаемой максимальной нагрузки.

4.4. Скорость нагружения образцов устанавливают по скорости перемещения нагружающей плиты пресса в пределах 0,02-0,2 мм/с; при этом время испытаний должно составлять не менее 1 мин.

4.5. При равновесных испытаниях образцы типа 1 нагружают непрерывно до их разделения на части с фиксацией полной диаграммы состояния материала F-V ([черт. 5](#sub_778), кривая OTCDE).

Для определения значений К\_с, G\_ce на стадии локального деформирования производят 5-7 кратковременных разгружений образцов для определения направлений линий разгрузок (например, линия XX" на [черт. 6](#sub_779)) с фиксацией полной диаграммы состояния материала F-V (черт. 6, кривая OTCXDE).

При равновесных испытаниях образцов типа 1 с b >= 200 мм производят поправку на массу образца и дополнительного оборудования согласно приложению 7.

*По-видимому, в тексте предыдущего абзаца допущена опечатка. Вероятно, имеется в виду* [*приложение 6*](#sub_6000) *ГОСТа 29167-91, утвержденное постановлением Госстроя СССР от 25 ноября 1991 г. N 13*

 4.6. При неравновесных испытаниях образцы типов 1-4 нагружают

 \*

непрерывно вплоть до их разделения на части с фиксацией значения F\_c.

**5. Обработка результатов**

5.1. Определение характеристик трещиностойкости по результатам равновесных испытаний образцов типа 1.

5.1.1. Полную диаграмму состояния трансформируют в расчетную и производят дополнительные построения ([черт. 5](#sub_778)):

а) с начала прямолинейного нисходящего участка диаграммы, то есть из точки D, где выполняется условие (dF/dV) ~ const, проводят отрезок DK, перпендикулярный оси OV;

б) фиксируют расчетную диаграмму OTCDK;

в) из точки С опускают перпендикуляр СН к оси OV и линию СА, параллельную упругой линии ОТ;

г) определяют величину отрезка ОМ из выражения (1):



"Формула (1)"

 с

 д) из точки М восстанавливают перпендикуляр МС\_u к оси OV до

 с

пересечения с линией СС\_u, параллельной оси OV. Точку О соединяют с

 с с

точкой С\_u отрезком ОС\_u;

е) для определения величин К\_с, G\_ce из расчетной полной диаграммы построением выделяют полную упругую диаграмму ОТС'Х'О ([черт. 6](#sub_779)), для чего используют направления линий разгрузок, например, точку разгрузки X переносят по линии, параллельной оси OV, в положение X' на величину, равную V\_x.

 5.1.2. Расчетным путем или планиметрированием определяют

энергозатраты на отдельные этапы деформирования и разрушения образца, а

 с

именно: W\_m, W\_e, W\_i, W\_ui, W\_ce, соответственно, численно равные

 с

площадям фигур ОТСА, ACH, HCDK, ОС\_u М на [черт. 5](#sub_778) и ОТС'Х'О на [черт. 6](#sub_779).

5.1.3. Расчетным путем определяют значения силовых и энергетических характеристик трещиностойкости по зависимостям:



"Формулы (2)-(8)



 \*

 5.2. Характеристики трещиностойкости К\_с по результатам

неравновесных испытаний образцов типов 1-4 определяют по зависимостям

(9-12):

"Формулы (9)-(12)



"Черт. 5"



"Черт. 6"

**Приложение 1**

**Обязательное**

**Обозначения величин**

К - коэффициент интенсивности напряжений,

 МПа х м(0,5).

К\_с - критический коэффициент интенсивности

 напряжений при максимальной нагрузке,

 МПа х м(0,5).

K\_i - статический критический коэффициент

 интенсивности напряжений, МПа х м(0,5).

 \*

K\_с - условный критический коэффициент интенсивности

 напряжений, МПа х м(0,5).

K\_ij - текущие значения коэффициентов интенсивности

 напряжений при поэтапном равновесном нагружении

 образцов, МПа х м(0,5).

G - удельные энергозатраты, МДж/м2.

G\_i - удельные энергозатраты на статическое

 разрушение до момента начала движения

 магистральной трещины, МДж/м2.

G\_F - удельные эффективные энергозатраты на

 статическое разрушение, МДж/м2.

G\_ce - полные удельные упругие энергозатраты на

 статическое деформирование образцов до деления

 на части, МДж/м2

J - джей-интеграл, МДж/м2.

J\_i - статический джей-интеграл, МДж/м2.

 с

X\_F - критерий хрупкости, м.

W - энергозатраты, МДж.

W\_m - энергозатраты на процессы развития и слияния

 микротрещин до формирования магистральной

 трещины статического разрушения, МДж.

W\_e - энергозатраты на упругое деформирование до

 начала движения магистральной трещины

 статического разрушения, МДж.

W\_i - энергозатраты на локальное статическое

 деформирование в зоне магистральной трещины,

 МДж.

 с

W\_ui - расчетные энергозатраты на упругое

 деформирование сплошного образца, МДж.

W\_ce - полные упругие энергозатраты на статическое

 деформирование до деления на части, МДж.

F\_g - нагрузка, действующая на образец в процессе

 испытания, МН.

F\_C - нагрузка, соответствующая статическому началу

 движения магистральной трещины при равновесных

 испытаниях, МН.

 \*

F\_c - нагрузка, соответствующая динамическому началу

 движения магистральной трещины при

 неравновесных испытаниях, МН.

F - нагрузка, соответствующая массе образца и

 дополнительного оборудования, МН.

F\_IJ - текущие значения действующей на образец

 нагрузки при его поэтапном равновесном

 нагружении, МН.

V - перемещения образца, м.

V\_e - перемещения, соответствующие упругим

 деформациям образца, м

V\_m - перемещения, соответствующие необратимым

 деформациям образца, м.

V\_l - перемещения, соответствующие локальным

 деформациям образца в зоне магистральной

 трещины, м.

 с

V\_ui - расчетное значение перемещений сплошного

 образца, соответствующее моменту начала

 движения магистральной трещины в образце с

 начальным надрезом, м.

a\_0, a\_0t - длина начального надреза, м.

a\_ij - текущие значения длины магистральной трещины

 при по этапном равновесном нагружении образца,

 м.

e\_0 - начальный эксцентриситет приложения нагрузки,

 м.

b, t, L\_0, L, D - размеры образцов, м.

фи = b/L\_0 - относительная высота образца.

лямбда = (a\_0 + a\_0t)/b - относительная длина начального надреза.

d\_am - максимальный размер заполнителя, м.

m\_1, m\_2 - масса образца и дополнительного оборудования,

 кг.

g = 9,81 - ускорение свободного падения, м/с(2).

tg\_aльфа - тангенс угла наклона восходящего упругого

 участка диаграммы.

E\_i - единичный модуль упругости, МПа.

E\_b - модуль упругости, МПа.

R\_bt - прочность на осевое растяжение, МПа.

R\_btf - прочность на растяжение при изгибе, МПа.

**Приложение 2**

**Справочное**

**Термины и пояснения**

┌─────────────────────────────────┬─────────────────────────────────────┐

│ Термин │ Пояснение │

├─────────────────────────────────┼─────────────────────────────────────┤

│1. **Трещиностойкость (вязкость**│Способность бетона сопротивляться│

│ **разрушения) бетона** │началу движения к развитию трещин при│

│ │механических и других воздействиях │

├─────────────────────────────────┼─────────────────────────────────────┤

│2. **Трещина** │Полость, образованная без удаления│

│ │материала двумя соединенными внутри│

│ │тела поверхностями, которые при│

│ │отсутствии в нем напряжений удалены│

│ │друг от друга па расстояния, во много│

│ │раз меньше протяженности самой│

│ │полости │

├─────────────────────────────────┼─────────────────────────────────────┤

│3. **Магистральная трещина** │Трещина, протяженность которой│

│ │превосходит размеры структурных│

│ │составляющих материалов и областей│

│ │самоуравновешенных напряжений и по│

│ │поверхностям которой произойдет│

│ │деление образца на части │

├─────────────────────────────────┼─────────────────────────────────────┤

│4. **Коэффициент** │Величина, определяющая│

│ **интенсивности напряжений К.** │напряженно-деформированное состояние│

│ │и смещения вблизи вершины трещины,│

│ │независимо от схемы нагружения, формы│

│ │и размеров тела и трещины │

├─────────────────────────────────┼─────────────────────────────────────┤

│5. **Условный коэффициент**│Значение К, вычисленное через│

│  **\*** │действующую на образец нагрузку и│

│ **интенсивности напряжений К** │исходную длину трещины а\_0 по│

│ │формулам для упругого тела │

├─────────────────────────────────┼─────────────────────────────────────┤

│6. **Удельные энергозатраты G** │Величина, характеризующая удельные│

│ │(относительно эффективной рабочей│

│ │площади поперечного сечения образца)│

│ │энергозатраты на различные этапы│

│ │деформирования и разрушения │

├─────────────────────────────────┼─────────────────────────────────────┤

│7. **J-интеграл** │Величина, характеризующая работу│

│ │пластической деформации и разрушения,│

│ │а также поле напряжений и деформаций│

│ │при упругопластическом деформировании│

│ │вблизи вершины трещины (аналогично│

│ │коэффициенту интенсивности напряжений│

│ │К) │

├─────────────────────────────────┼─────────────────────────────────────┤

│ │ \* │

│8. **Условный критический**│Значение К, определяемое при│

│ **коэффициент интенсивности**│неравновесных испытаниях образцов│

│  **\*** │типов 1-4 по нагрузке, равной F\_ с,│

│ **напряжений К\_с** │и начального надреза образца а\_0,│

│ │условно характеризующее критическое│

│ │состояние материала при динамическом│

│ │начале движения магистральной трещины│

├─────────────────────────────────┼─────────────────────────────────────┤

│9. **Статический критический** │Значение К, определяемое при│

│ **коэффициент интенсивности**│равновесных испытаниях образцов типов│

│ **напряжений K\_i** │1, 5, 6 по g\_i и Е\_b, характеризующее│

│ │критическое состояние материала при│

│ │статическом начале движения│

│ │магистральной трещины │

├─────────────────────────────────┼─────────────────────────────────────┤

│10. **Критический коэффициент**│Значение К, определяемое при│

│ **интенсивности напряжений K\_c** │равновесных испытаниях образцов типа│

│ │1 по G\_ce и Е\_b, инвариантно│

│ │характеризующее состояние материала│

│ │при динамическом начале движения│

│ │магистральной трещины │

├─────────────────────────────────┼─────────────────────────────────────┤

│11. **Удельные энергозатраты на**│Значение G, определяемое при│

│ **начало статического**│равновесных испытаниях образцов типа│

│ **разрушения G\_i** │1 по диаграмме F-V, характеризующее│

│ │удельные энергозатраты на начало│

│ │статического разрушения │

├─────────────────────────────────┼─────────────────────────────────────┤

│12. **Удельные эффективные**│Значение G, определяемое при│

│ **энергозатраты на**│равновесных испытаниях образцов типа│

│ **статическое разрушение G\_F** │1 по диаграмме F-V, характеризующее│

│ │удельные энергозатраты на статическое│

│ │разрушение │

├─────────────────────────────────┼─────────────────────────────────────┤

│13. **Полные удельные упругие**│Значение G, определяемое при│

│ **энергозатраты на**│равновесных испытаниях образцов типа│

│ **статическое деформирование**│1 по диаграмме F - V, характеризующее│

│ **до деления на части G\_ce** │удельные энергозатраты на разрушение │

├─────────────────────────────────┼─────────────────────────────────────┤

│14. **Статический джей-интеграл J\_i**│Значение J, определяемое при│

│ │равновесных испытаниях образцов типа│

│ │1 по диаграмме F-V, характеризующее│

│ │поле напряжений и деформаций вблизи│

│ │вершины магистральной трещины при│

│ │начале ее движения │

├─────────────────────────────────┼─────────────────────────────────────┤

│ **с** │ │

│15. **Критерий хрупкости X\_F**  │Характеристика хрупкости материала │

└─────────────────────────────────┴─────────────────────────────────────┘

**Приложение 3**

**Рекомендуемое**

**Определение характеристик трещиностойкости при равновесных испытаниях образцов с фиксацией размеров развивающейся магистральной трещины и соответствующих значений прилагаемой нагрузки**

1. Для определения характеристик трещиностойкости производят поэтапное нагружение (с выдержками продолжительностью 60-120 с и фиксацией текущих значений F\_ij и a\_ij) образцов типов: 5 - для испытаний на осевое сжатие ([черт. 7](#sub_7710)); 6 - для испытаний на растяжение при внецентренном сжатии ([черт. 8](#sub_7711)).

2. Соотношение размеров и схемы иагружения образцов приведены на [черт. 7](#sub_7710), [8](#sub_7711).

Минимальные размеры образцов: типа 5-b >= 12 d\_am;

типа 6-b >= 15 d\_am

3. Для определения значений величин а\_ij применяют капиллярный и оптический способы.

Капиллярный способ основан на эффекте капиллярной адсорбции подкрашенных, люминесцирующих или быстроиспаряющихся жидкостей в трещины. На поверхность образца наносят кистью ацетон, который испаряется с поверхности быстрее, чем из трещины, что позволяет идентифицировать длину развивающейся магистральной трещины.

Оптический способ основан на использовании средств оптической микроскопии; следует применять микроскопы с не менее чем 20-кратным увеличением по ГОСТ 8074.

4. Определение характеристик трещиностойкости

4.1. Для каждого этапа нагружения определяют значение K\_ij по зависимостям:



"Черт. 7"



"Черт. 8"

**Примечание к черт. 7 и 8.** Обозначения приведены в [приложении 1](#sub_1000), размеры образцов - в [приложении 3](#sub_3000).

- для образца типа 5.



"Формула (13)"

- для образца типа 6.



"Формулы (14)-(17)"

4.2. По результатам [п. 4.1](#sub_3041) строят зависимость Kij-aij; за величину K\_i принимают среднее значение K\_ij на участке зависимости, где тангенс угла ее наклона отличается от нуля не более чем на 8%.

**Приложение 4**

**Рекомендуемое**

**Определение предела прочности на растяжение и начального модуля упругости**

1. Значение R\_bt определяют при равновесных испытаниях образцов типа 1 и типов 5, 6 (согласно [приложению 3](#sub_3000)) по зависимости



"Формула (18)"

2. Значение R\_btj определяют при равновесных испытаниях образцов типа 1 по зависимости



"Формула (19)"

3. Значение E\_b определяют при равновесных испытаниях образцов типа 1 с лямбда ~ 0,1-0,5 по зависимости



"Формула (20)"

**Приложение 5**

**Обязательное**

**Испытательное оборудование для определения характеристик трещиностойкости при равновесных испытаниях образцов типа 1**

Для определения характеристик трещнностойкости при равновесных испытаниях образцов типа 1 используют специальные испытательные машины со следящей системой и быстродействующей обратной связью или испытательные машины, обладающие высокой жесткостью (не менее чем в два раза превышающей начальную жесткость образца ([черт. 9](#sub_7717)), или стандартные испытательные машины по [п. 3.1](#sub_31), оборудованные дополнительным перераспределяющим устройством ([черт. 10](#sub_7718)) типа "кольцо", включающим в себя: силовой элемент - кольцо; нагружающий силоизмеритель - шток; датчик перемещения; опорную плиту с шарнирной и роликовой опорами. Испытания рекомендуется проводить на установке ПРДД-3 экспериментального объединения "Реконструкция", которое распространяет чертежи, методики аттестации и поставляет оборудование.



"Черт. 9"



"Черт. 10"

**Приложение 6**

**Обязательное**

**Поправка на массу образца и дополнительного оборудования**

При равновесных испытаниях образцов типа 1 с b >= 200 мм перед определением характеристик трещиностойкости производят поправку на массу образца и распределительную балку.

Для этого полную диаграмму состояния материала (кривая STCDA на [черт. 11](#sub_7719)) трансформируют в расчетную (кривая OSTCDK) следующим образом:

точку S по упругой линии ST переносят в положение точки О на величину F\_s, откладываемую на оси F, равную

 F\_s = [m\_1(L\_0/L) + m\_2]g, (21)

проводят оси OF и OV, параллельные соответственно SF и SV';

с начала прямолинейного нисходящего участка диаграммы, то есть из точки D, где выполняется условие (dF/dV) ~ const проводят отрезок DK, перпендикулярный оси OV;

фиксируют расчетную диаграмму OSTCDK.



"Черт. 11"