

ООО «Геотехническое бюро»

**Отчет по Договору 2ГБ-03/23
от 14 марта 2023 г**

Определение остаточной прочности фибробетона на растяжение

Заместитель генерального директора –
главный инженер, к.т.н.

А.Б. Максимов

Санкт-Петербург
2023

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Руководитель НИР:

Заместитель генерального
директора – главный инженер, к.т.н.

А.Б. Максимов

подпись

Отв. исполнитель:

Заместитель генерального
директора по научной работе, к.т.н.

В.Ю. Синегубов

подпись

Исполнители:

Ю.С. Иванов

подпись

Д.С. Строганов

подпись

подпись

Нормоконтроль

подпись

Реферат

Отчет содержит 48 страниц, 36 рисунка, 5 таблицы, 6 источников.

ФИБРА, БЕТОН, ПРОЧНОСТЬ, СЖАТИЕ, ИЗГИБ, ПРЕДЕЛ ПРОПОРЦИОНАЛЬНОСТИ

Объектом исследования являются образцы бетона и фибробетона с различным содержанием фибры.

Цель работы: получение прочностных характеристик бетона и фибробетона.

В отчёте приведены результаты лабораторных исследований образцов бетона и фибробетона на одноосное сжатие и растяжение при изгибе.

Результаты представлены в виде таблиц и графического материала.

Содержание

1. ВВЕДЕНИЕ.....	5
2. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ	7
2.1. Подбор состава бетона класса В 22.5 и изготовление образцов	7
2.2. Подготовка образцов к испытаниям.....	8
2.3. Определение плотности образцов	8
2.4. Определение прочности на сжатие	9
2.5. Определение прочности на растяжение при изгибе.....	10
3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ	13
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	18
ПРИЛОЖЕНИЕ 1	21
ПРИЛОЖЕНИЕ 2	28
ПРИЛОЖЕНИЕ 3	35
ПРИЛОЖЕНИЕ 4	42

1. Введение

Работа выполнена в соответствии с Договором №2ГБ-03/23 от 14.03.2023г между обществом с ограниченной ответственностью «Геотехническое бюро» и обществом с ограниченной ответственностью «РИМТЕК».

Предметом договора являлись лабораторные исследования прочностных характеристик бетона и фибробетона с различным содержанием фибры.

Условиями договора предусмотрен следующий состав работ:

1. Подбор состава торкретбетонной смеси класса В22,5.
2. Изготовление образцов из бетона, в составе:
 - образцы балки 150x150x600мм в количестве 6 шт с дозировкой полипропиленовой конструкционной макрофибры «STROFIBER» 1кг/м³ (партия образцов 1);
 - образцы балки 150x150x600мм в количестве 6 шт с дозировкой полипропиленовой конструкционной макрофибры «STROFIBER» 2кг/м³ (партия образцов 2);
 - образцы балки 150x150x600мм в количестве 6 шт с дозировкой полипропиленовой конструкционной макрофибры «STROFIBER» 3кг/м³ (партия образцов 3);
 - образцы кубы 100x100x100мм в количестве 9 шт для подтверждения класса бетона В22,5 (3 образца на каждую партию фибробетона).
3. Определение остаточной прочности фиброторкретбетона согласно приложению Б СП 297.1325800.2017 (Конструкции фибробетонные с неметаллической фиброй. Правила проектирования) в составе:
 - образцы балки 150x150x600мм в количестве 6 шт с дозировкой полипропиленовой конструкционной макрофибры «STROFIBER» 1кг/м³;
 - образцы балки 150x150x600мм в количестве 6 шт с дозировкой полипропиленовой конструкционной макрофибры «STROFIBER» 2кг/м³;

- образцы балки 150x150x600мм в количестве 6 шт с дозировкой полипропиленовой конструкционной макрофибры «STROFIBER» 3кг/м³;

Определение остаточной прочности фибротокретбетона включают следующие показатели: График «нагрузка – перемещение внешних граней надреза» «F-a_F» для каждого образца и результирующие для каждой партии образцов, нормативные значения остаточной прочности фибробетона на растяжение $R_{fbt2,n}$ и $R_{fbt3,n}$ для каждой партии фибротокретбетона, нормативные значения прочности фибробетона на растяжение $R_{fbt,n}$ для каждой партии фибротокретбетона.

4. Подтверждение класса бетона согласно ГОСТ 10180-2012 (Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам). По 3 образца 100x100x100мм для каждой партии.

5. Подготовка отчета «Испытания образцов бетона и фибробетона на одноосное сжатие и растяжение».

В соответствии с техническим заданием договора проведено определение: прочности на одноосное сжатие - 9 образцов, предела прочности при растяжении методом изгиба (предела пропорциональности) – 18 шт.

2. Методика проведения испытаний

2.1. Подбор состава бетона класса В 22.5 и изготовление образцов

Подбор состава бетонной смеси для изготовления образцов выполнен в соответствии с ГОСТ 27006-2019 «Бетоны. Правила Подбора состава».

Номинальный состав бетонной смеси назначен исходя из условия требуемой прочности на сжатие (класс бетона не менее В22,5). Номинальный состав представлен в таблице 1.

Таблица 1 - Номинальный состав бетонной смеси

№	Наименование материала	Ед. изм	Кол-во	Примечание
1	Номинальный состав 1			
1.1	Песок	кг/м ³	1430	Песок строительный сеяный Мк 2
1.2	Цемент	кг/м ³	500	ЦЕМРОС М500 Д0 ЦЕМ I 42,5
1.3	Вода	л/м ³	220	Вода техническая
1.4	Пластифицирующая добавка	кг/м ³	2,5	MasterPolyheed 3055
2	Номинальный состав 2			
2.1	Песок	кг/м ³	1430	Песок строительный сеяный Мк 3,4
2.2	Цемент	кг/м ³	500	ЦЕМРОС М500 Д0 ЦЕМ I 42,5
2.3	Вода	л/м ³	220	Вода техническая
2.4	Пластифицирующая добавка	кг/м ³	2,5	MasterPolyheed 3055

По номинальному составу были изготовлены образцы кубы (100x100x100мм) и испытаны на 7 сутки. После испытания внесены корректировки в состав бетонной смеси. Рабочий состав бетонной смеси представлен в таблице 2.

Таблица 2 – Рабочий состав бетонной смеси

№	Наименование материала	Ед. изм	Кол-во	Примечание
1	Рабочий состав 1			
1.1	Песок	кг/м ³	1475	Песок строительный сеяный Мк 2
1.2	Цемент	кг/м ³	475	ЦЕМРОС М500 Д0 ЦЕМ I 42,5
1.3	Вода	л/м ³	209	Вода техническая
1.4	Пластифицирующая добавка	кг/м ³	2,5	MasterPolyheed 3055
2	Рабочий состав 2			
2.1	Песок	кг/м ³	1590	Песок строительный сеяный Мк 3,4
2.2	Цемент	кг/м ³	475	ЦЕМРОС М500 Д0 ЦЕМ I 42,5
2.3	Вода	л/м ³	209	Вода техническая
2.4	Пластифицирующая добавка	кг/м ³	2,5	MasterPolyheed 3055

По рабочему составу 1 изготовлены образцы балки (150x150x550мм) с дозировкой полипропиленовой конструкционной макрофибры «STROFIBER» 1кг/м³ в количестве 6 шт и кубы (100x100x100мм) в количестве 3шт.

По рабочему составу 2 изготовлены образцы балки (150x150x550мм) с дозировкой полипропиленовой конструкционной макрофибры «STROFIBER» 2кг/м³ в количестве 6 шт, с дозировкой полипропиленовой конструкционной макрофибры «STROFIBER» 3кг/м³ в количестве 6 шт, и кубы (100x100x100мм) в количестве 6шт (по 3 образца для каждой партии балок соответственно).

После изготовления, образцы (балки и кубы) выдержаны не менее 28 суток в нормальных условиях твердения бетона.

2.2. Подготовка образцов к испытаниям

При помощи камнерезного станка DIMAS TS 350 E (Рисунок 1) на образцах (балках), в средней части выполнялся надрез на всю ширину образца. Ширина надреза составила 5 мм, глубина – 25 мм ± 1 мм .



Рисунок 1– Камнерезный станок DIMASTS 350 E

2.3. Определение плотности образцов

Плотность образцов определена в соответствии с [3,4] методом непосредственных измерений. Для этого выполнены замеры высоты, ширины и длины образцов бетона, определен объем по формуле (1), затем путем взвешивания определена масса образца и вычислена плотность (2).

$$V = abh; \quad (1)$$

$$\rho = \frac{m}{V}, \quad (2)$$

где a – ширина образца, м; b – длина образца, м; h – высота образца, м; m – масса образца, кг.

2.4. Определение прочности на сжатие

Предел прочности бетона при одноосном сжатии $\sigma_{сж}$ определен в соответствии с [2]. Образцы подвергались разрушению путем сжатия в испытательной установке со скоростью нагружения, обеспечивающей повышение расчетного напряжения в образце до его полного разрушения, равной 0,5 МПа/с. В качестве испытательной установки применялся пресс MTS 816 (Рисунок).



Рисунок 2 – Вид прессовой установки MTS 816.

Предел прочности при одноосном сжатии вычислен по формуле:

$$\sigma_{сж} = \alpha \frac{F}{A} k_{\omega}, \quad (3)$$

где F – разрушающая образец нагрузка, кН; A – площадь поперечного сечения образца, м², α – масштабный коэффициент для приведения прочности бетона к прочности бетона в образцах базовых размера и формы [2]; k_{ω} – поправочный

коэффициент для ячеистого бетона, учитывающий влажность образцов в момент испытания, принимался равным 1.

Прочность бетона в серии образцов определялась как среднее арифметическое значение в серии:

из пяти образцов - по четырем наибольшим по прочности образцам;

из шести образцов - по четырем наибольшим по прочности образцам.

2.5. Определение прочности на растяжение при изгибе

Определение прочности на растяжение при изгибе выполнено в соответствии с [5].

Перед проведением испытаний при помощи масштабной линейки определена средняя длина пролета образца, исходя из двух замеров расстояния между осями опорных роликами, установленных по обе стороны образца. При помощи штангенциркуля определена средняя ширина образца и расстояние между вершиной надреза и верхней частью образца.

Для проведения испытаний использовалась испытательная машина MTS Insight 200, максимальное усилие которой составляет 200 кН (Рисунок).



Рисунок 3- Испытательная машина MTS Insight 200

Устройство для передачи нагрузки от испытательной машины MTS Insight 200 к образцам, состояло из двух опорных и одного нагружающего ролика (Рисунок). Расстояние между центрами опорных роликов установлено 500 мм, с погрешностью $\pm 1,0$ мм. Для измерения ширины раскрытия устья надреза (CMOD) в процессе испытания с обеих сторон от надреза на образец наклеивались специальные крепежи, на которые устанавливался датчик перемещения, таким образом, чтобы расстояние между нижней частью образца и линией измерения составляло не более 5 мм. Для фиксации перемещений использовался датчик MTS 632.11F-90, погрешность измерения деформаций которого $\pm 0,005$ мм.

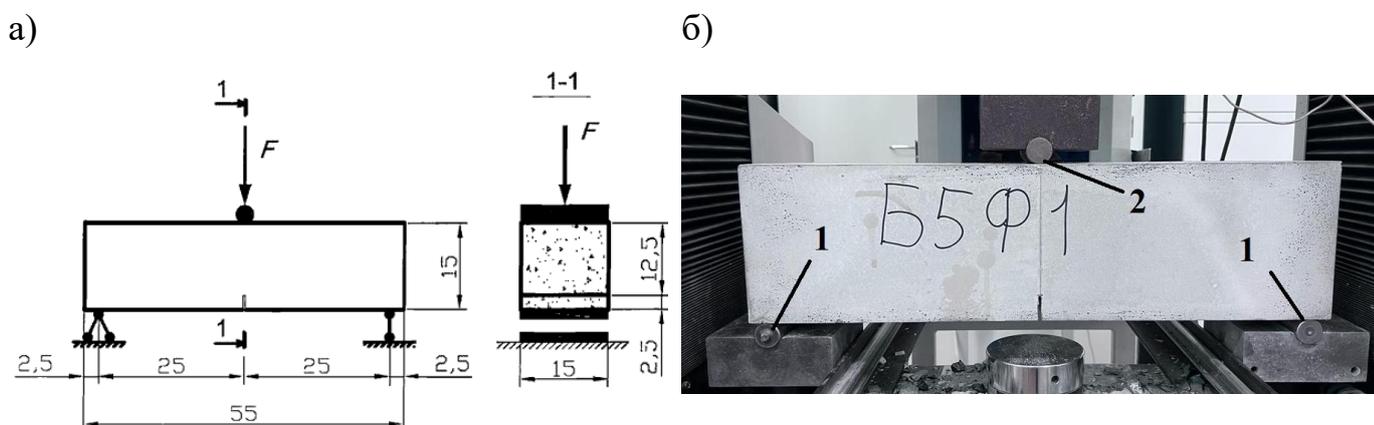


Рисунок 4— Схема (а) и общий вид (б) устройства для передачи нагрузки: ,
1 – опорные ролики, 2- нагружающий ролик

Процесс испытания образцов и запись результатов испытаний производились в полностью автоматическом режиме. Управление процессом испытания осуществлялось по скорости раскрытия устья надреза. При ширине раскрытия устья надреза (CMOD) до 0,1 мм скорость раскрытия устья надреза назначалась 0,05 мм/мин, а далее увеличивалась до 0,2 мм/мин. Испытание продолжалось до достижения ширины раскрытия устья надреза (CMOD) не менее 4 мм.

Запись значений нагрузки и ширины раскрытия устья надреза (CMOD) в первые две минуты испытаний осуществлялась с частотой 5 Гц, далее с частотой 1 Гц.

Предел пропорциональности (LOP) определялся по следующей зависимости:

$$f_{ct,L}^f = \frac{3F_l l}{2bh_{sp}^2}, \quad (4)$$

где $f_{ct,L}^f$ - предел пропорциональности (LOP), Н/мм²; F_l - нагрузка, относящаяся к пределу пропорциональности (LOP), Н; l - длина пролета (расстояние между центрами опорных роликов), мм; b - ширина образца, мм; h_{sp} - расстояние между вершиной надреза и верхней частью образца, мм.

Значение F_l определялось как максимальное значение нагрузки при раскрытии устья надреза (CMOD) от 0 до 4 мм.

3. Результаты испытаний

Для удобства обработки результатов все образцы были разделены на 3 группы. Для каждой группы характерным является наличие различной дозировкой полипропиленовой конструкционной макрофибры «STROFIBER» в 1 м³ бетонной смеси (Таблица).

Таблица 3– Характеристика составов образцов фибробетона.

№	Наименование группы	Наименование добавки к бетону	Номер приложения
1	2	3	4
1	Группа №1	макрофибра «STROFIBER» 1кг/м ³	1
2	Группа №2	макрофибра «STROFIBER» 2кг/м ³	2
3	Группа №3	макрофибра «STROFIBER» 3кг/м ³	3
4	Группа №4	макрофибра «STROFIBER» 1кг/м ³	4

Результаты определения прочности на одноосное сжатие и предела пропорциональности образцов бетона и фибробетона сведены в таблицу 4 и 5.

На рисунках 5-7 приведены сводные графики зависимостей СМОД от нагрузки для образцов групп №№1-4.

В приложениях 1-4 приведены графики зависимостей СМОД от нагрузки для каждого образца и фотографии образцов после их разрушения.

Таблица 4 – Результаты определения прочности образцов бетона при одноосном сжатии

№	Наименование группы образцов	Номер образца	Дата испытания	Масса образца, г	Размеры образца, см	Средняя плотность образца в момент испытания, г/см ³	Показания силоизмерителя испытательной машины, кН	Прочность бетона, приведенная к базовому размеру образца, МПа	Средняя прочность в группе, МПа
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Группа №1	1	01.06.23	2033	10.01x10.02x10.1	2.03	338.89	32.10	30.30
2		2		2012	10x10.06x10.05	2.01	313.08	29.57	
3		3		2015	9.93x10.07x10.08	2.02	307.67	29.23	
4	Группа №2	1	01.06.23	2175	10.03x10.08x10.07	2.18	428.4	40.25	41.02
5		2		2207	10.08x10.01x10.1	2.21	428.61	40.35	
6		3		2200	9.96x10.03x10.1	2.20	446.36	42.45	
7	Группа №3	1	01.06.23	2201	9.92x10x10.09	2.20	369.11	35.35	38.99
8		2		2219	10.07x10.07x9.9	2.22	428.91	40.18	
9		3		2237	10.06x10.02x10.07	2.24	439.73	41.44	
10	Группа №4	1	15.10.23	2220	10.05x10x10.07	2.19	376.12	37.8	36.9
11		2		2230	9.95x10.02x10.1	2.21	370.11	36.9	
12		3		2225	9.98x10.01x10.03	2.22	376.38	37.6	
13		4		2235	10.04x10x9.98	2.23	359.56	36.1	
14		5		2195	10x10.02x10.03	2.18	361.28	36.2	
15		6		2235	10.01x9.99x10.04	2,23	368.00	36.8	

Таблица 5 – Результаты определения прочности на растяжение при изгибе дисперсно-армированного бетона и остаточной прочности при различном раскрытии трещин.

№ п/п	Наименование пробы	Номер образца	Прочность на растяжение при изгибе (LOP), МПа	R _{Fel} , МПа	Остаточное сопротивление на растяжение при изгибе, МПа, при величине раскрытия трещины (CMOD), мм								R _{ft2,n}	R _{ft3,n}	R _{ft,n}	
					0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
1	1	1	1,53	0,92	0,20	0,20	0,20	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,15	0,11	0,75	
2		2	1,71	1,03	0,19	0,18	0,19	0,18	0,19	0,18	0,18	0,17				
3		3	1,46	0,88	0,26	0,23	0,23	0,24	0,23	0,23	0,23	0,22				
4		4	1,75	1,05	0,18	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,11	0,12				0,11
5		5	1,41	0,85	0,19	0,13	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12				0,12
6		6	1,33	0,80	0,25	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,21	0,21				0,21
7	Среднее		1,53	0,92	0,21	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,17				
8	2	1	2,89	1,73	0,72	0,78	0,84	0,85	0,86	0,86	0,85	0,84	0,37	0,40	1,31	
9		2	2,69	1,61	0,73	0,77	0,82	0,85	0,87	0,87	0,85	0,83				
10		3	2,31	1,39	0,54	0,50	0,50	0,51	0,51	0,51	0,50	0,49				
11		4	2,38	1,43	0,45	0,42	0,45	0,47	0,48	0,49	0,48	0,48				
12		5	2,58	1,55	0,45	0,48	0,51	0,53	0,54	0,56	0,55	0,55				
13		6	2,41	1,45	0,61	0,60	0,63	0,63	0,64	0,64	0,62	0,60				
14	Среднее		2,54	1,52	0,58	0,59	0,63	0,64	0,65	0,65	0,64	0,63				
15	3	1	2,70	1,62	0,92	0,97	1,04	1,08	1,08	1,07	1,07	1,05	0,78	0,91	1,36	
16		2	2,46	1,48	0,86	0,92	0,99	1,03	1,04	1,04	1,03	1,01				
17		3	2,55	1,53	0,88	0,96	1,02	1,06	1,08	1,06	1,04	1,02				
18		4	2,42	1,45	0,82	0,84	0,89	0,91	0,91	0,90	0,90	0,89				
19		5	2,31	1,39	0,81	0,84	0,87	0,88	0,89	0,90	0,90	0,89				
20		6	2,46	1,48	0,97	0,98	1,03	1,05	1,06	1,06	1,04	1,02				
21	Среднее		2,48	1,49	0,88	0,92	0,97	1,00	1,01	1,01	1,00	0,98				
22	4	1	3,15	1,89	0,86	0,48	0,37	0,30	0,26	0,24	0,24	0,24	0,66	0,21	1,68	
23		2	3,11	1,87	0,73	0,47	0,42	0,44	0,42	0,43	0,43	0,41				
24		3	2,78	1,67	0,77	0,44	0,37	0,34	0,33	0,33	0,32	0,31				
25		4	3,33	2,00	0,99	0,54	0,41	0,39	0,37	0,35	0,34	0,28				
26		5	3,21	1,93	0,74	0,34	0,26	0,24	0,23	0,23	0,22	0,20				
27		6	3,07	1,84	0,84	0,55	0,49	0,47	0,45	0,45	0,44	0,42				
28	Среднее		3,11	1,87	0,82	0,47	0,39	0,36	0,34	0,34	0,33	0,31				

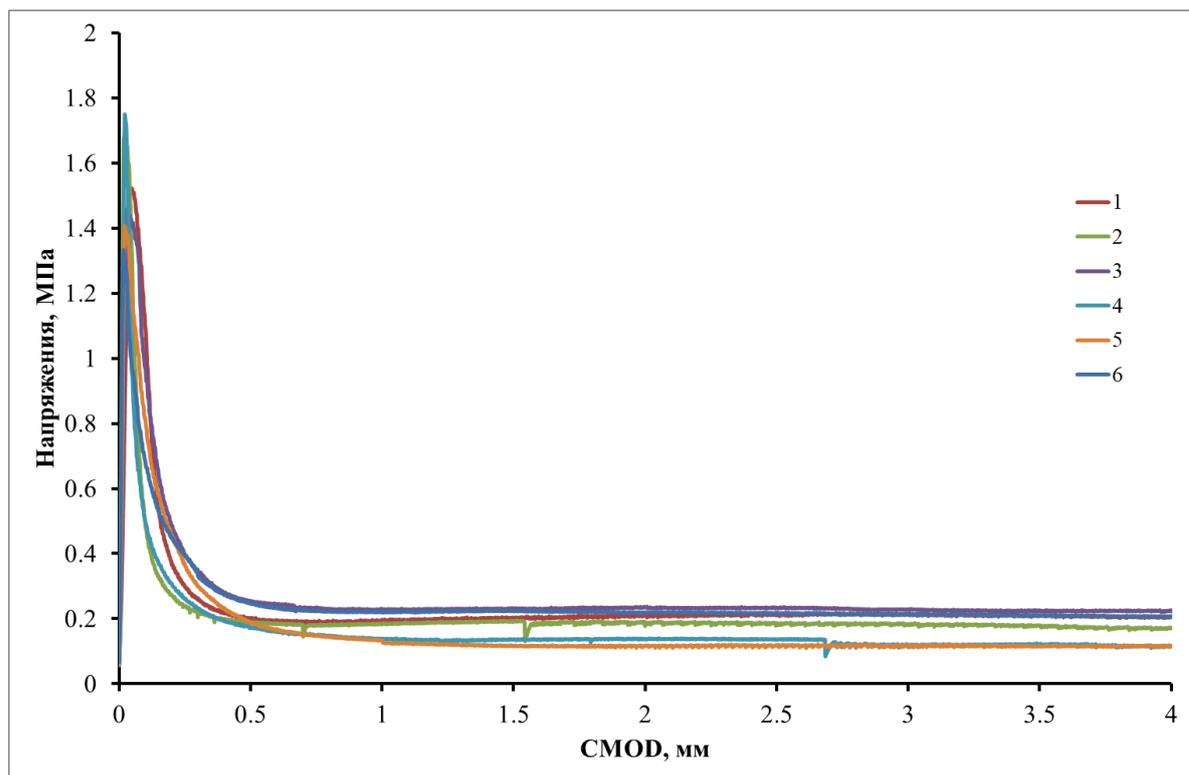


Рисунок 5 – Графики зависимости напряжений на растяжение при изгибе от величины раскрытия трещины для образцов с содержанием фибры 1 кг/м³.

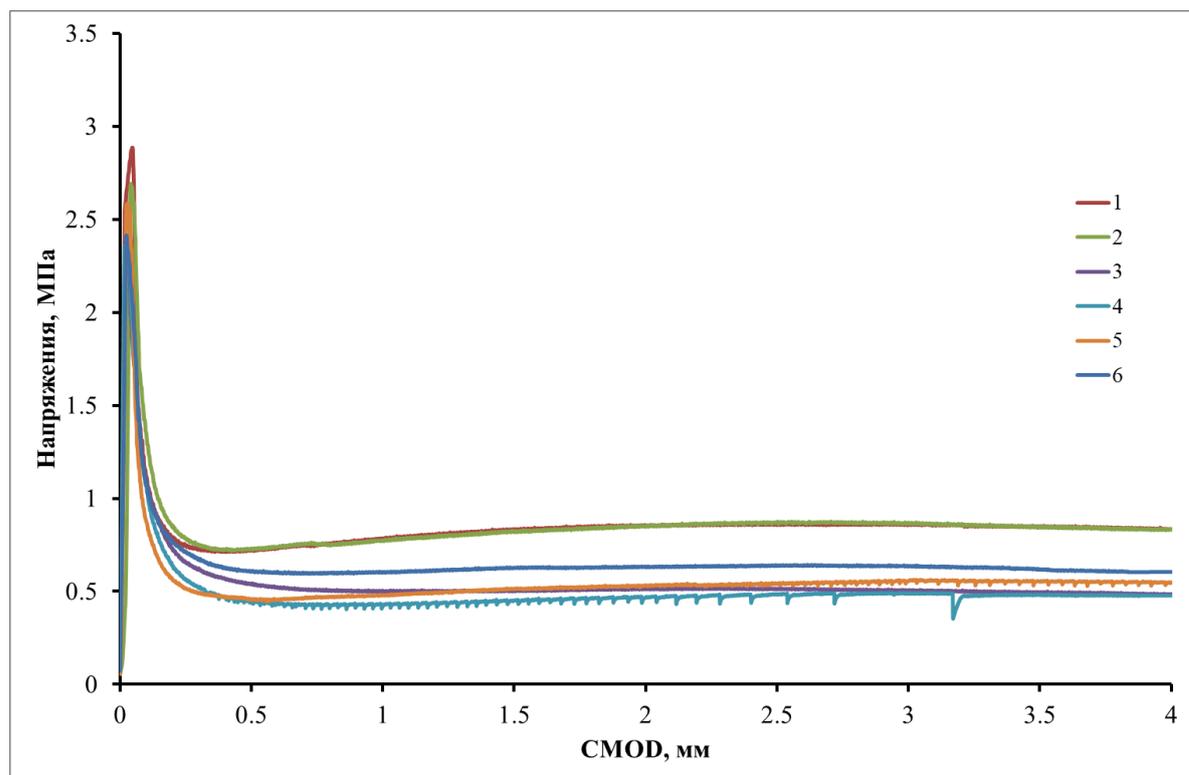


Рисунок 6 – Графики зависимости напряжений на растяжение при изгибе от величины раскрытия трещины для образцов с содержанием фибры 2 кг/м³.

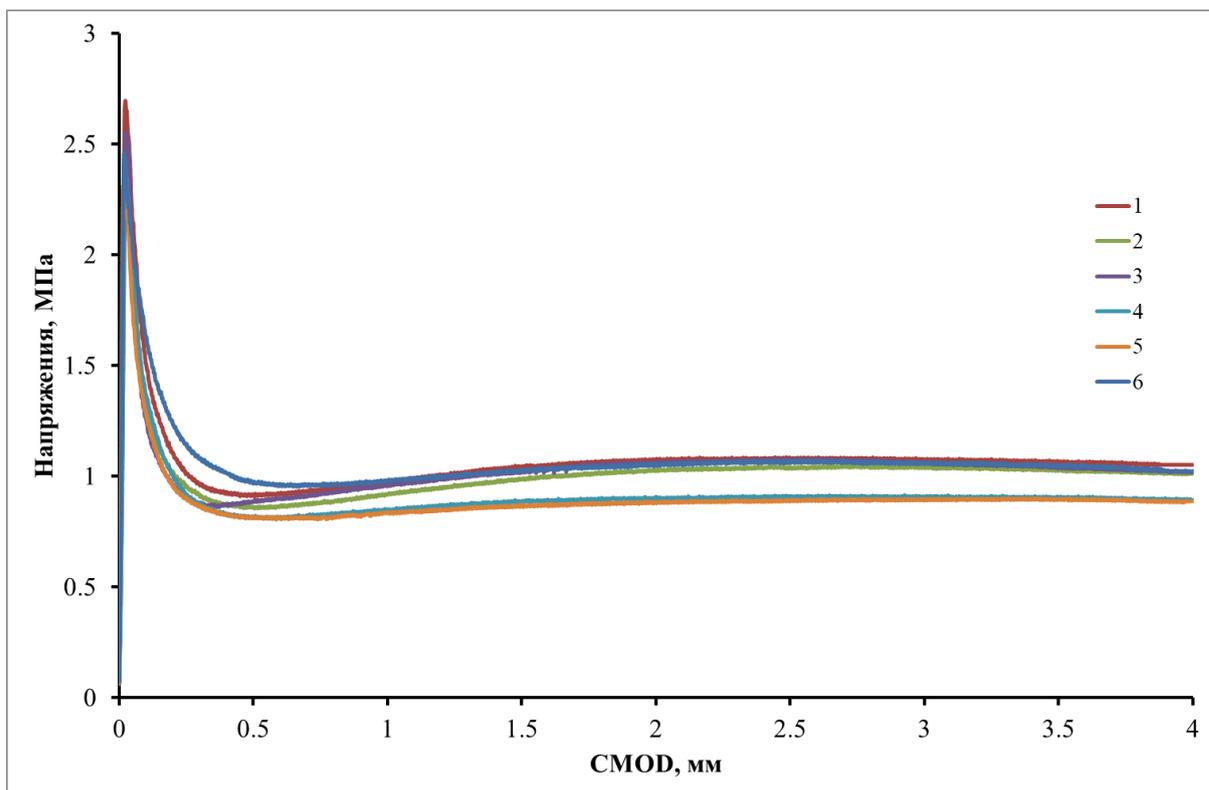


Рисунок 7– Графики зависимости напряжений на растяжение при изгибе от величины раскрытия трещины для образцов с содержанием фибры 3 кг/м³.

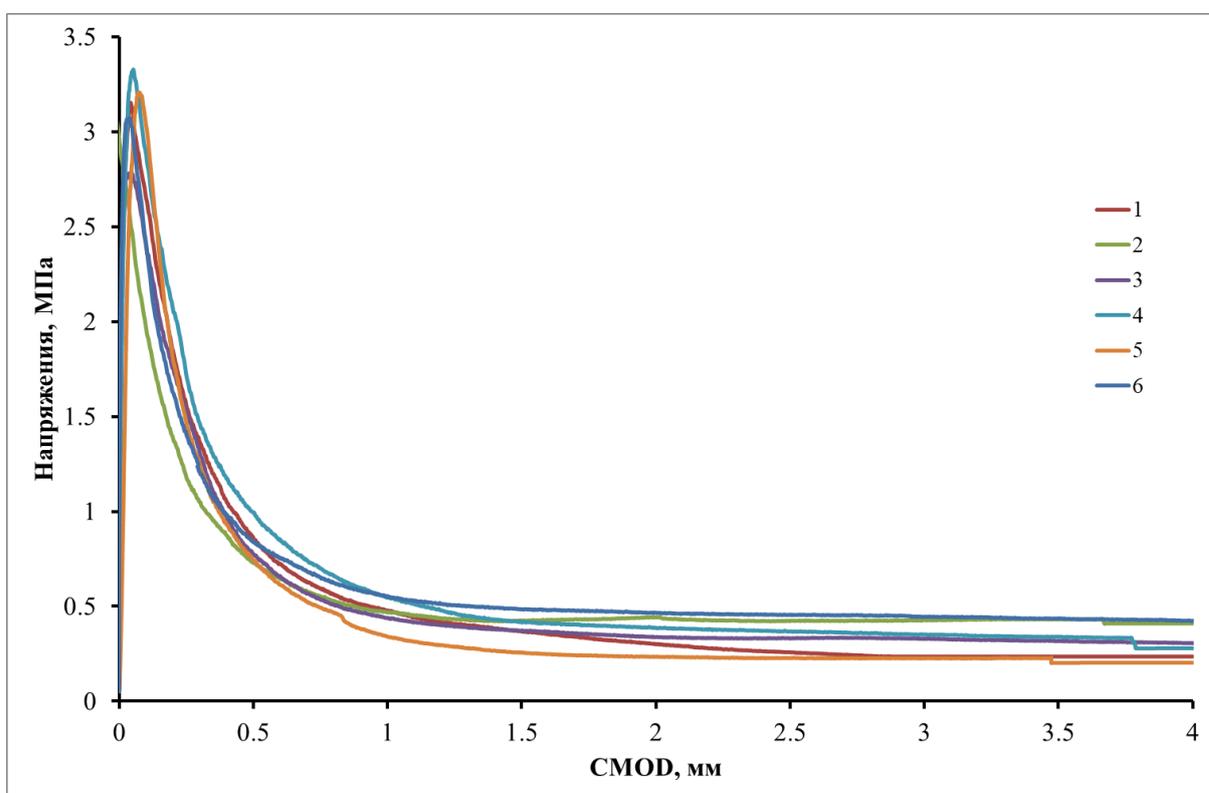


Рисунок 8– Графики зависимости напряжений на растяжение при изгибе от величины раскрытия трещины для образцов с содержанием фибры 1 кг/м³(группа 4).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В соответствии с договором № 2ГБ-03/23 проведено лабораторное определение прочностных характеристик бетона и фибробетона с различным содержанием фибры.

В ходе проведения лабораторных исследований было испытано 9 образцов кубической формы с размером ребра 100 мм на одноосное сжатие и 18 образцов призматической формы размерами 150×150×550 мм на растяжение при изгибе (с различной концентрацией полимерной фибры). Средняя прочность на одноосное сжатие образцов бетона варьируется в пределах 29,2-41,4 МПа, среднее значение прочности на растяжение при изгибе находится в диапазоне от 1,53 до 3,11 МПа, а с учетом коэффициента неупругих деформаций от 0,92 до 2,00 МПа.

Средняя величина остаточного сопротивления при изгибе изменяется с увлечением концентрации полимерной фибры «STROFIBER». Так, при концентрации в 1 кг/м³ (группа 1) среднее значение остаточной прочности составляет 0,18 МПа и 0,39 МПа (группа 4), при концентрации в 2 кг/м³ – 0,63 МПа, а при концентрации в 3 кг/м³ – 0,97 МПа.

Анализ результатов испытаний образцов бетона на растяжение при изгибе, показал, что предельное значение прочности бетона составило от 1,53 до 2,54 МПа. После достижения предела прочности на растяжение при изгибе армированный бетон обладает остаточной прочностью при значительном раскрытии трещины, вплоть до 4 мм и более. При дозировке фибры 1 кг/м³ его остаточная прочность при раскрытии трещины на 4 мм снижается до 0,17 МПа (группа 1) и до 0,31 МПа (группа 4), при дозировке 2 кг/м³ и 3 кг/м³ остаточная прочность не снижается, а наоборот происходит упрочнение материала вплоть до величины 0,63 МПа и 0,98 МПа соответственно. Такой характер поведения материала говорит о возможности его применения в тех случаях, когда нагрузка не является заданной, а формируется в процессе совместного деформирования двух рассматриваемых элементов. Такая схема передачи нагрузки соответствует совместной работе набрызгбетонной или бетонной крепи и породного массива, дорожного покрытия и грунтового массива, покрытия полов и основания

Полимерная фибра «STROFIBER» равномерно распределяется по объему бетонной смеси при перемешивании, а также обладает достаточной адгезией с бетонной матрицей для ее корректной работы. Увеличение жесткости системы на запредельной стадии происходит незначительно (группа №2 и № 3). Применение данной фибры для набрызгбетона требует выполнения дополнительных исследований для конкретных горно-геологических и горнотехнических условий

Список использованных источников

- 1 ГОСТ 28570 «Бетоны. Методы определения прочности по образцам, отобраным из конструкций».
- 2 ГОСТ 10180-2012 «Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам».
- 3 ГОСТ 20276-99 «Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик».
- 4 «Методическое пособие по инженерно-геологическому изучению горных пород», М., Недра, 1984.
- 5 EN 14651:2005 «Test method for metallic fibre concrete – Measuring the flexural tensile strength (limit of proportionality (LOP), residual) ».
6. СП 297.1325800.2017 «Конструкции фибробетонные с неметаллической фиброй. Правила проектирования».

Результаты испытаний образцов группы №1

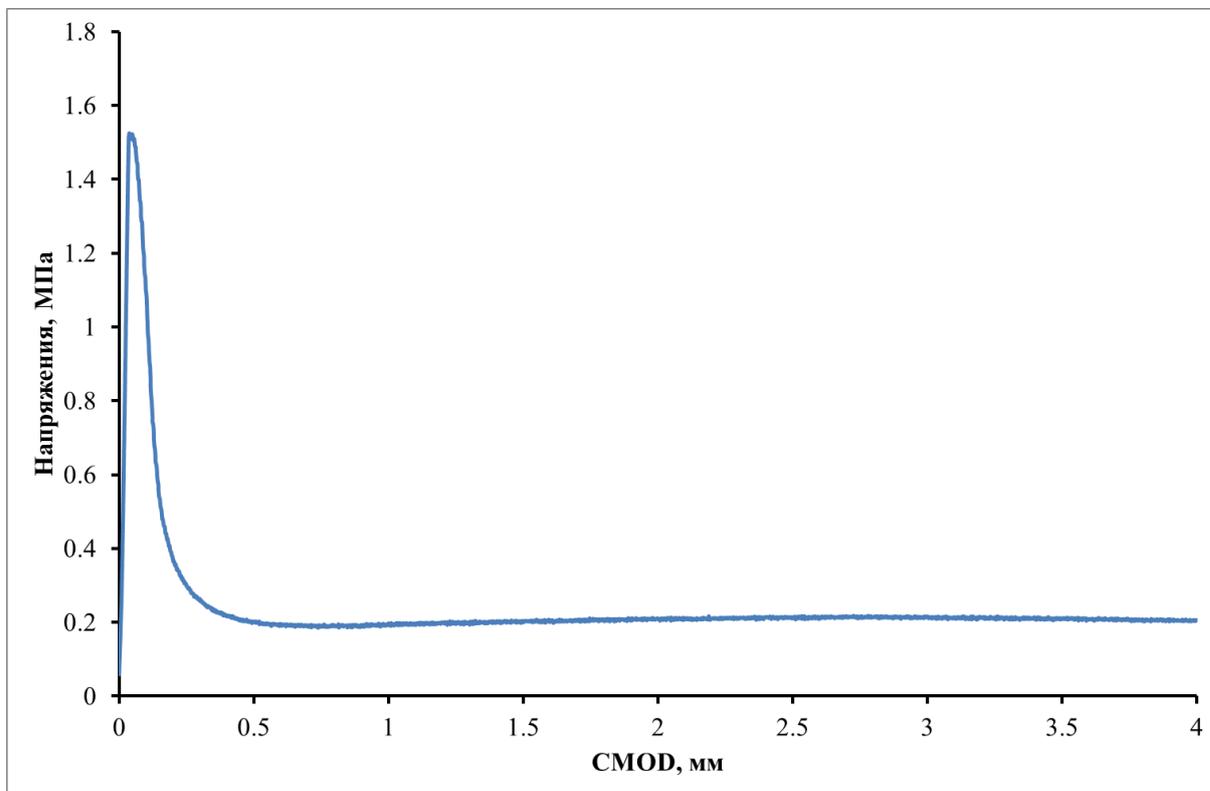


Рисунок П1.1 - График зависимости напряжений на растяжение при изгибе от величины раскрытия трещины для образца №1

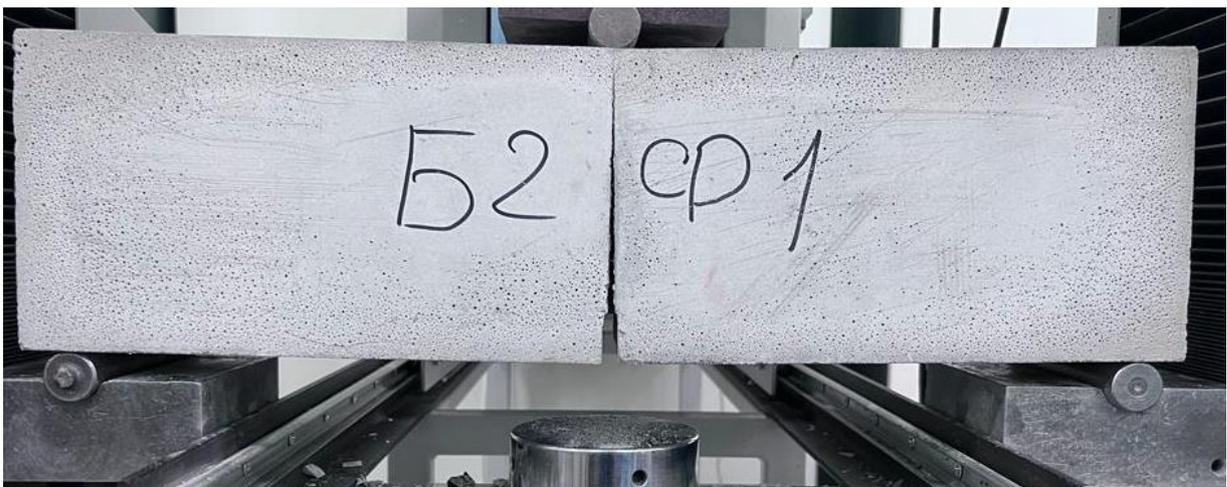
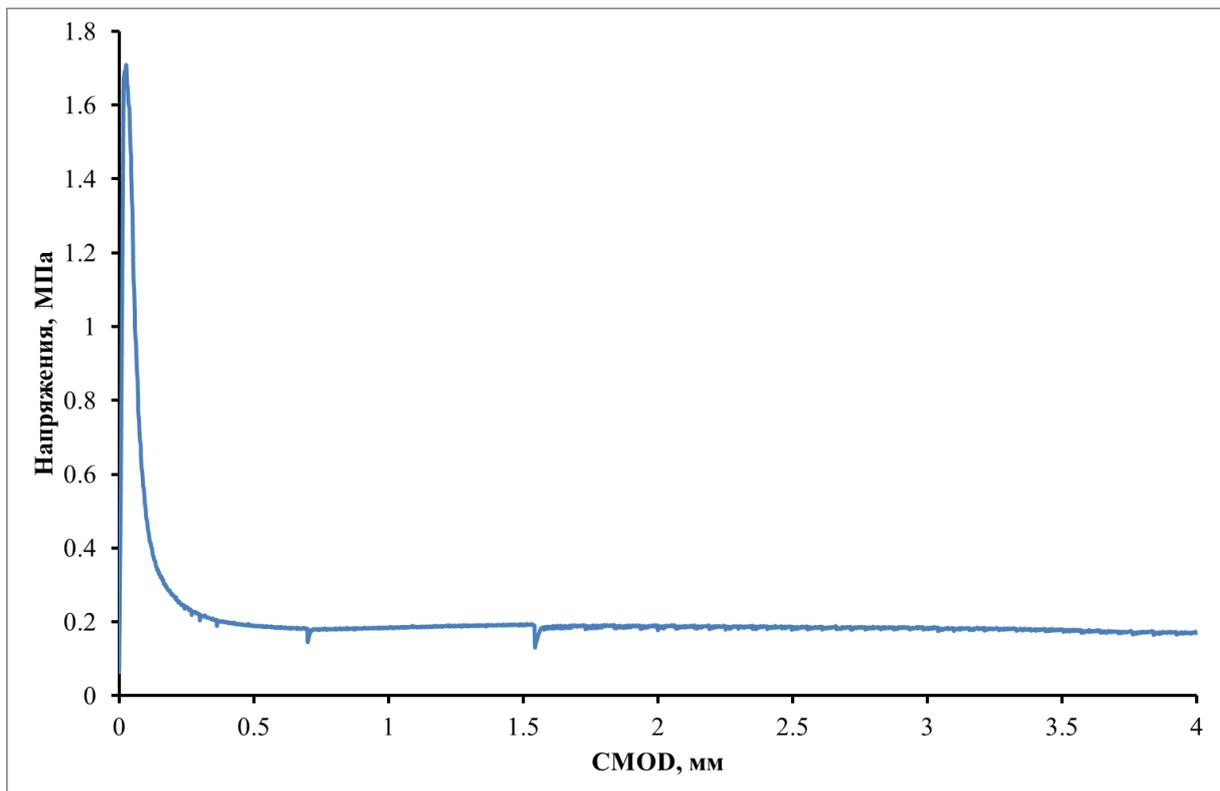


Рисунок П1.2 - График зависимости напряжений на растяжение при изгибе от величины раскрытия трещины для образца №2

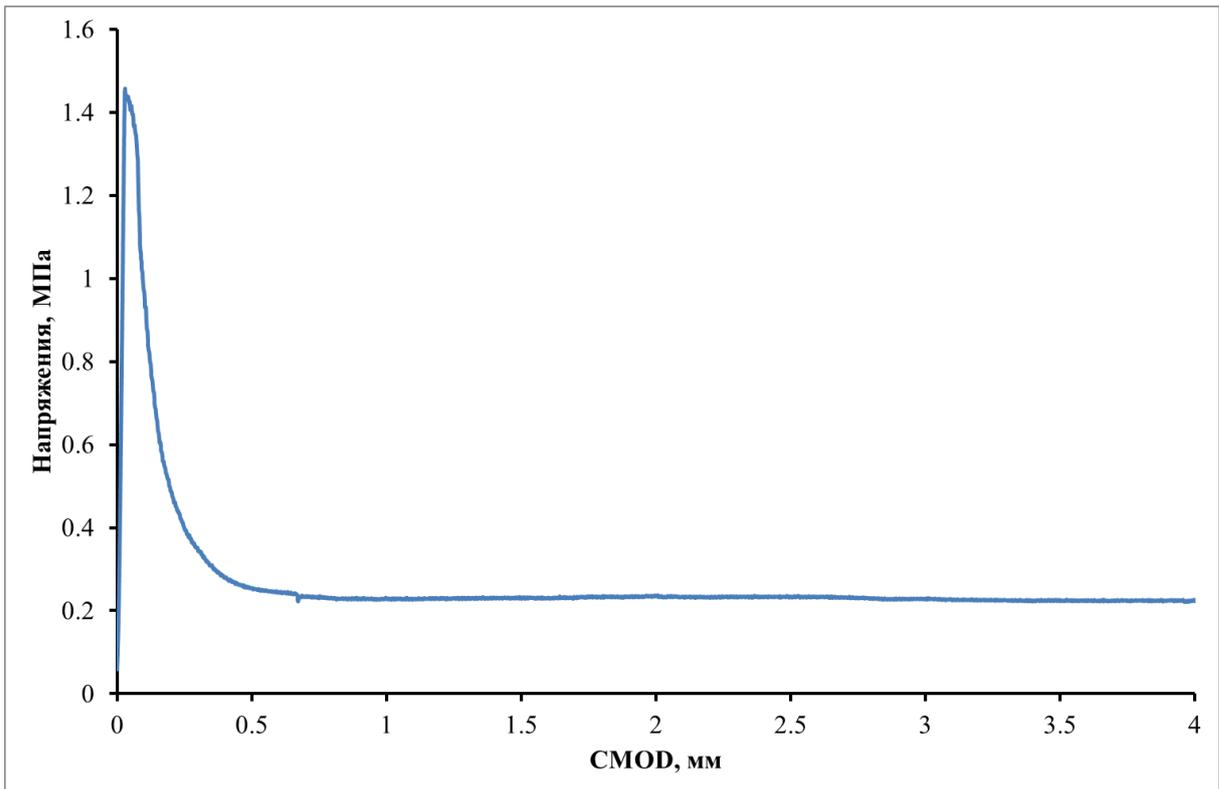


Рисунок П1.3 - График зависимости напряжений на растяжение при изгибе от величины раскрытия трещины для образца №3

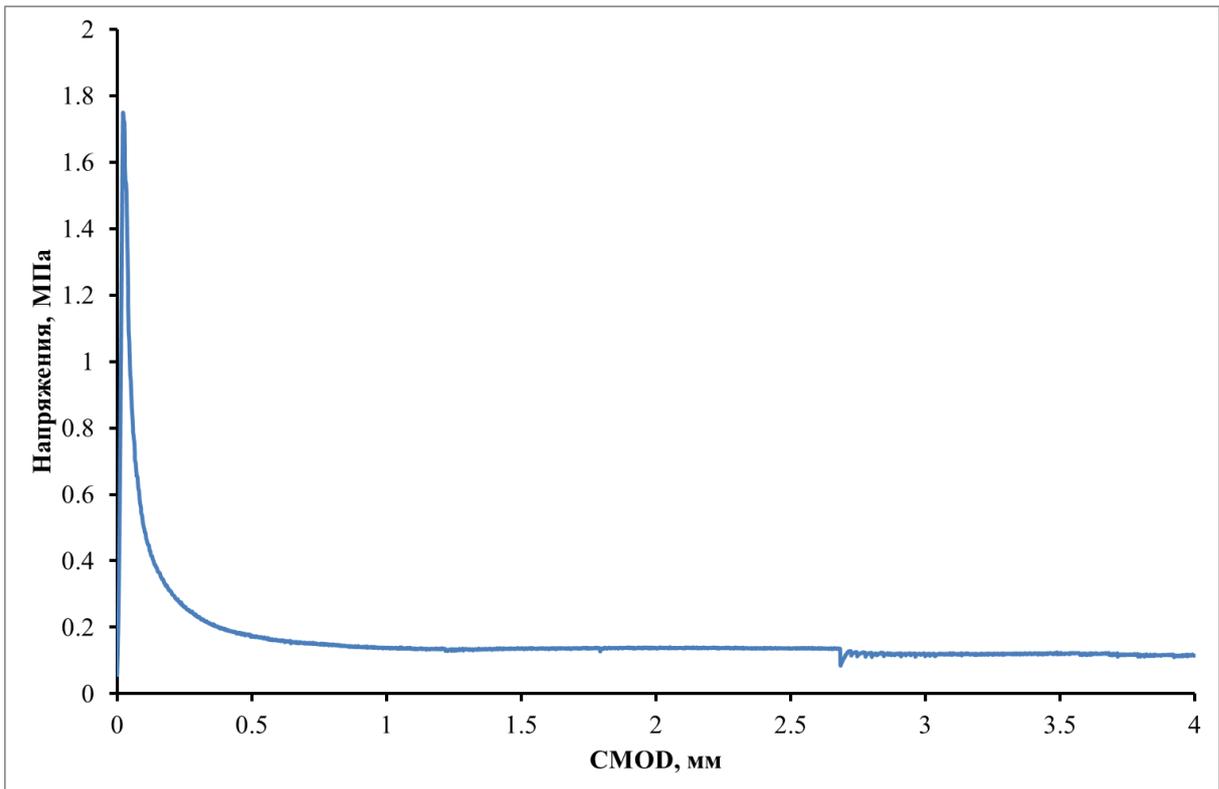


Рисунок П1.4 - График зависимости напряжений на растяжение при изгибе от величины раскрытия трещины для образца №4

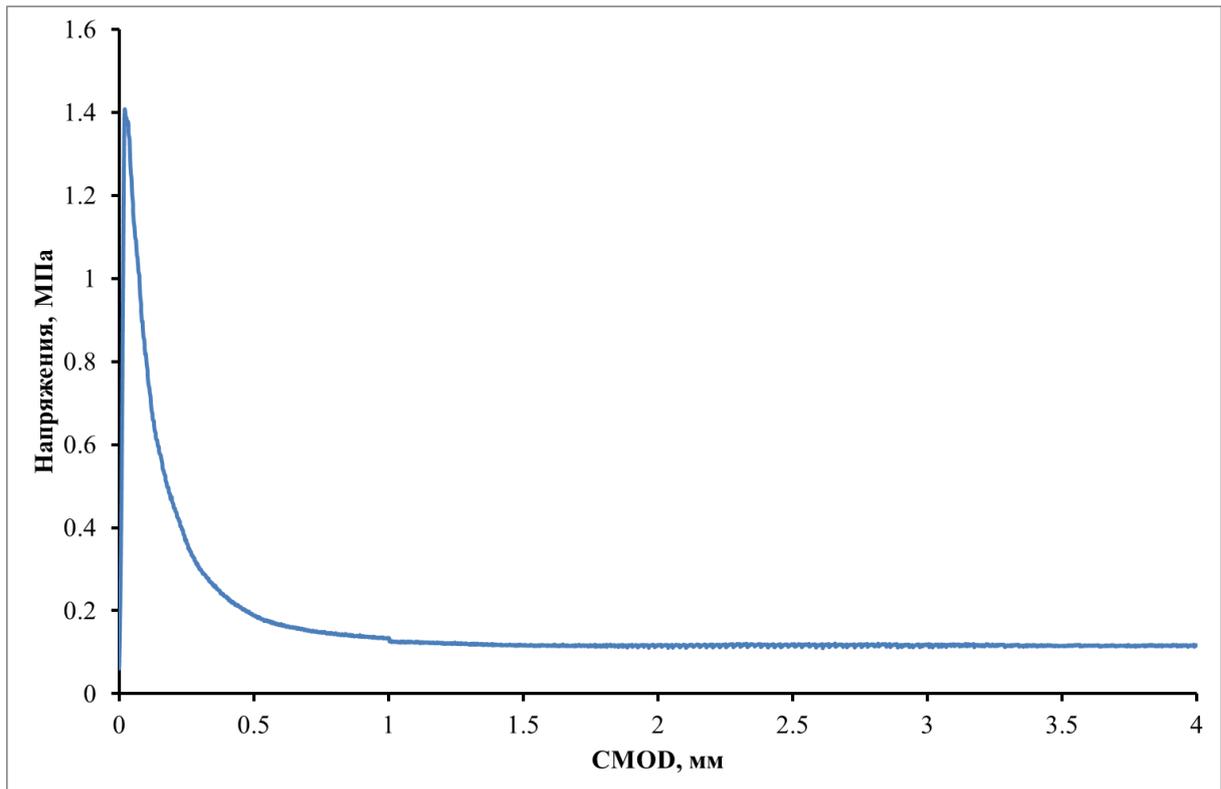


Рисунок П1.5 - График зависимости напряжений на растяжение при изгибе от величины раскрытия трещины для образца №5

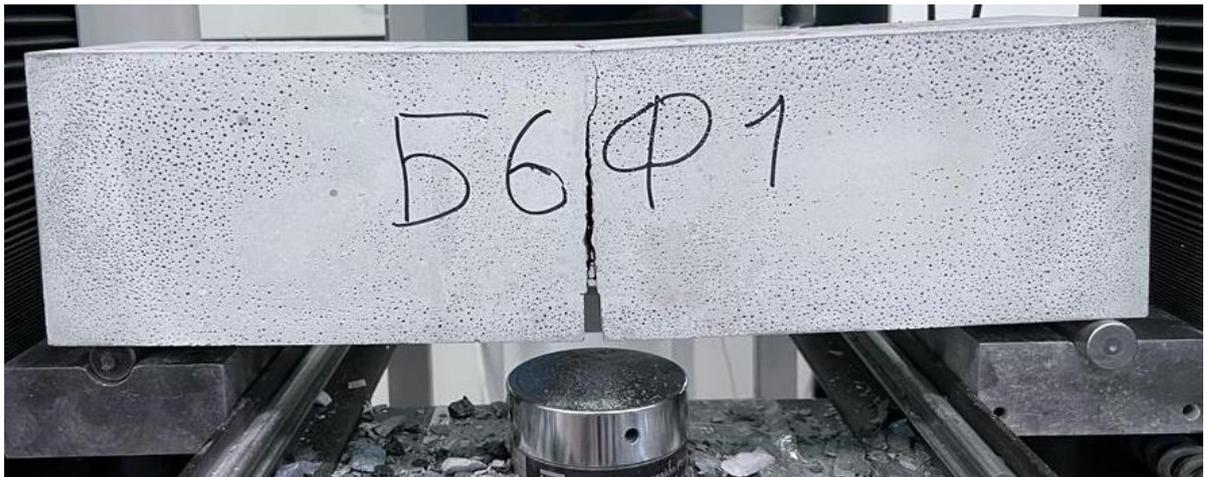
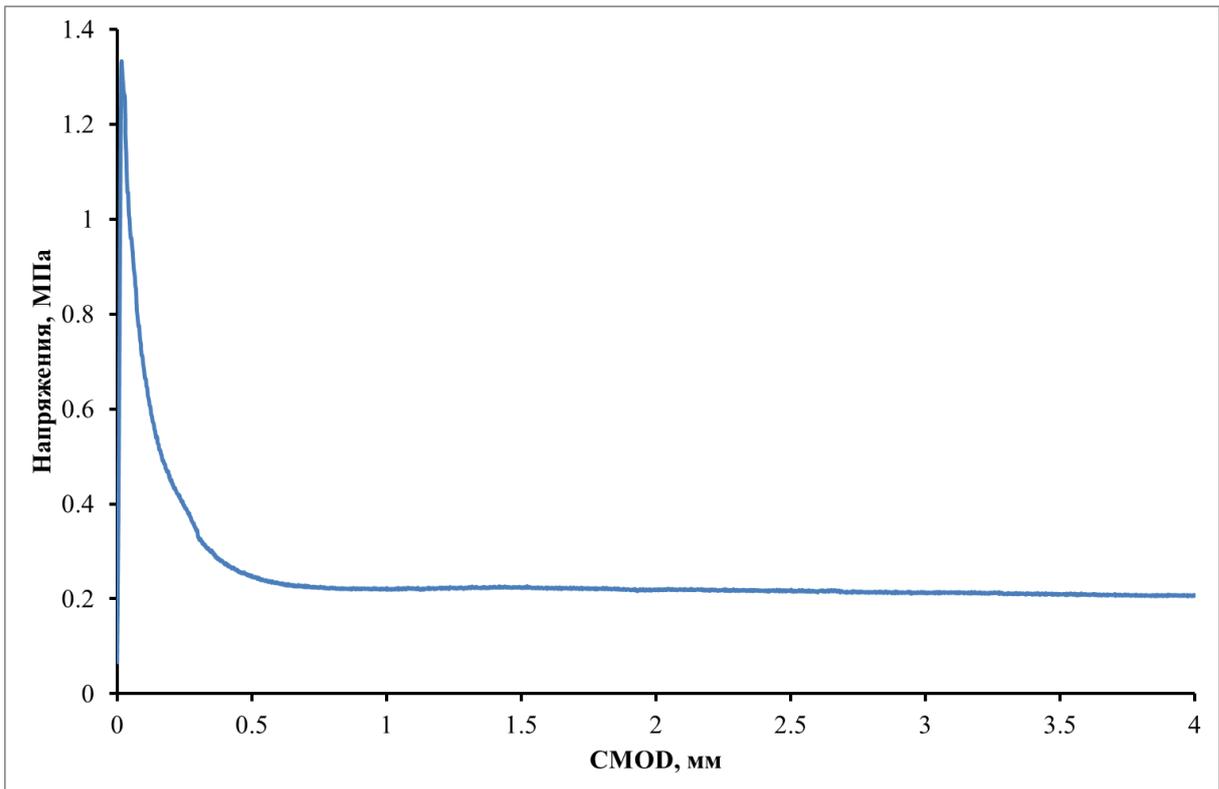
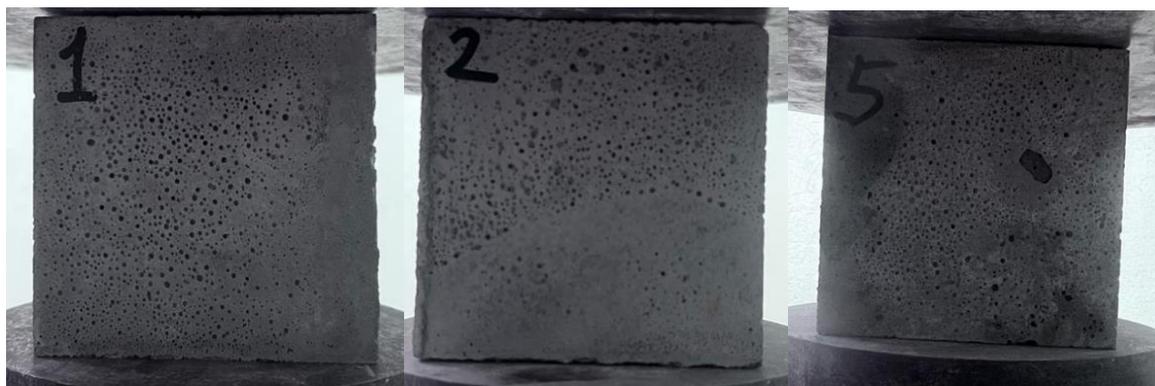


Рисунок П1.6 - График зависимости напряжений на растяжение при изгибе от величины раскрытия трещины для образца №6

а)



б)



Рисунок П1.7 -Фото образцов группа 1 до (а) и после испытания на одноосное сжатие

Результаты испытаний образцов группы №2

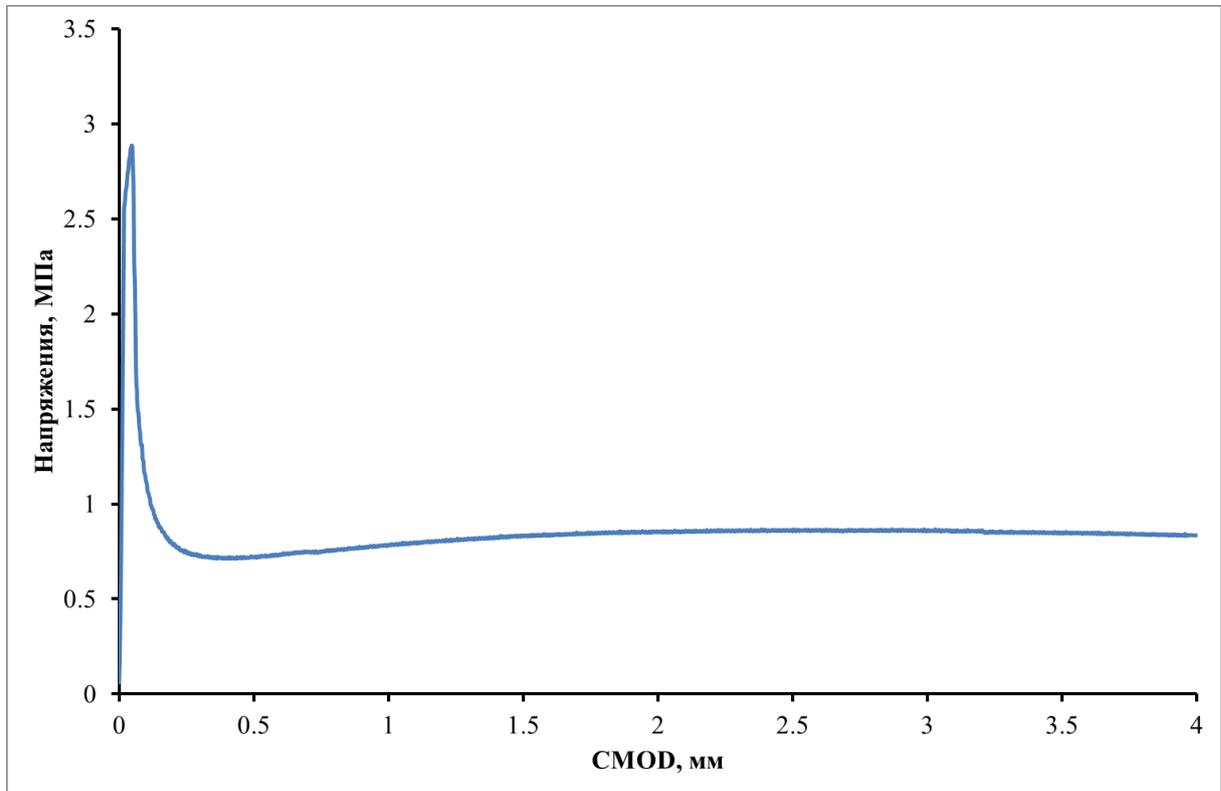


Рисунок П2.1 - График зависимости напряжений на растяжение при изгибе от величины раскрытия трещины для образца №1

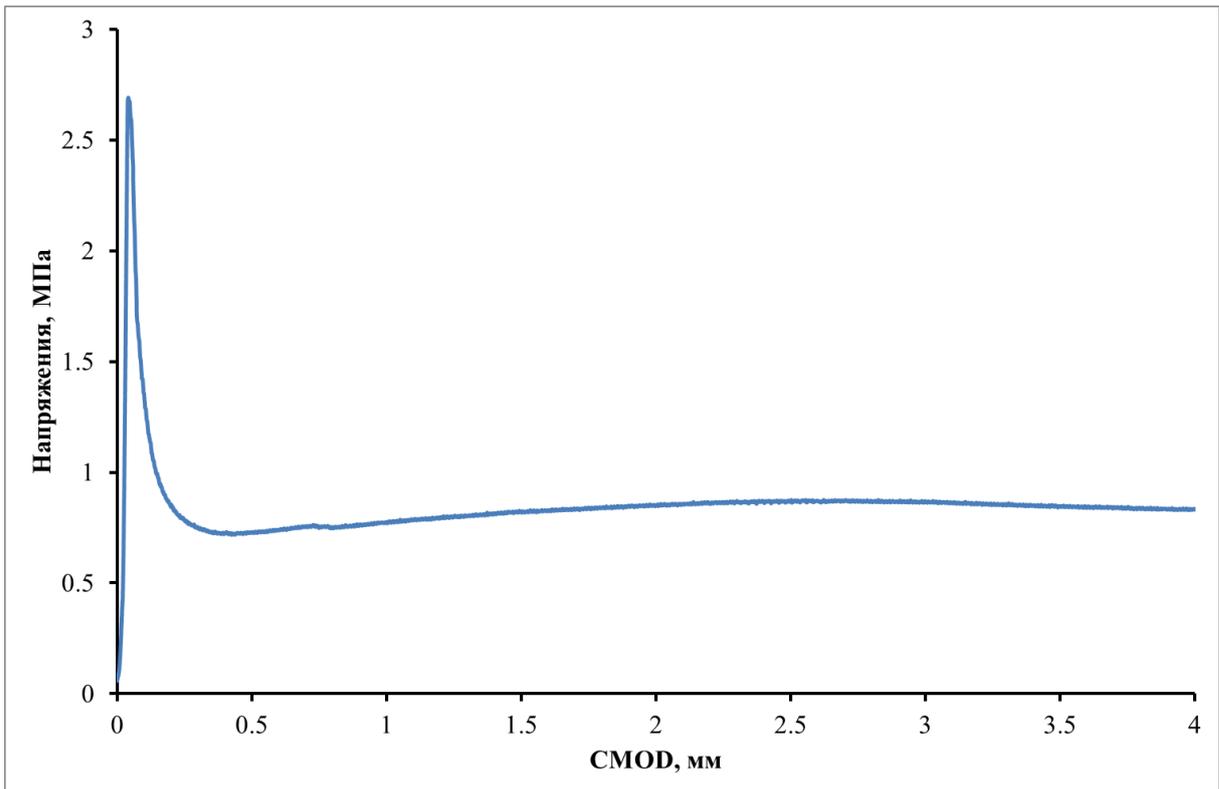


Рисунок П2.2 - График зависимости напряжений на растяжение при изгибе от величины раскрытия трещины для образца №2

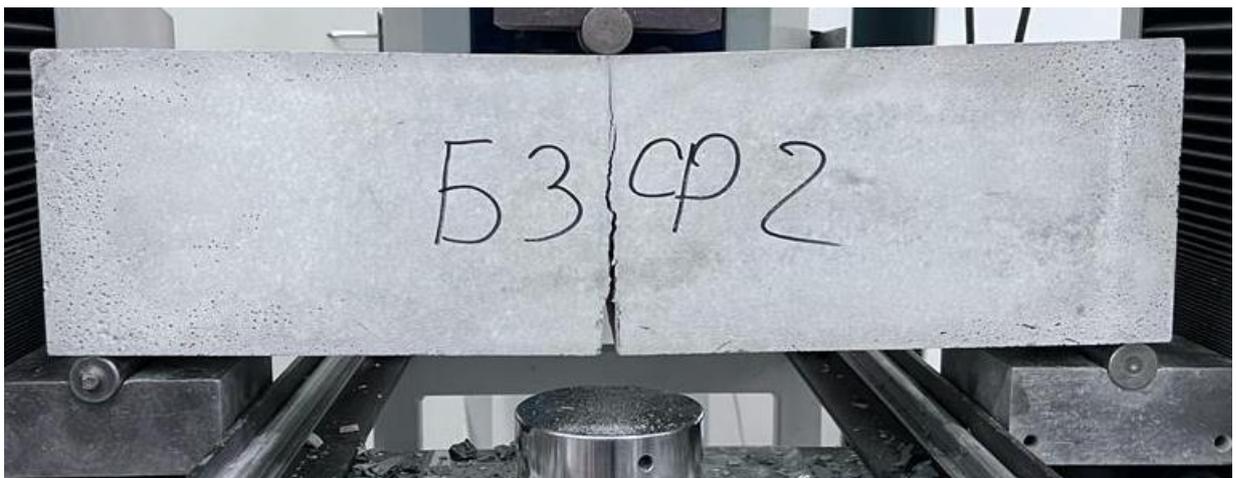
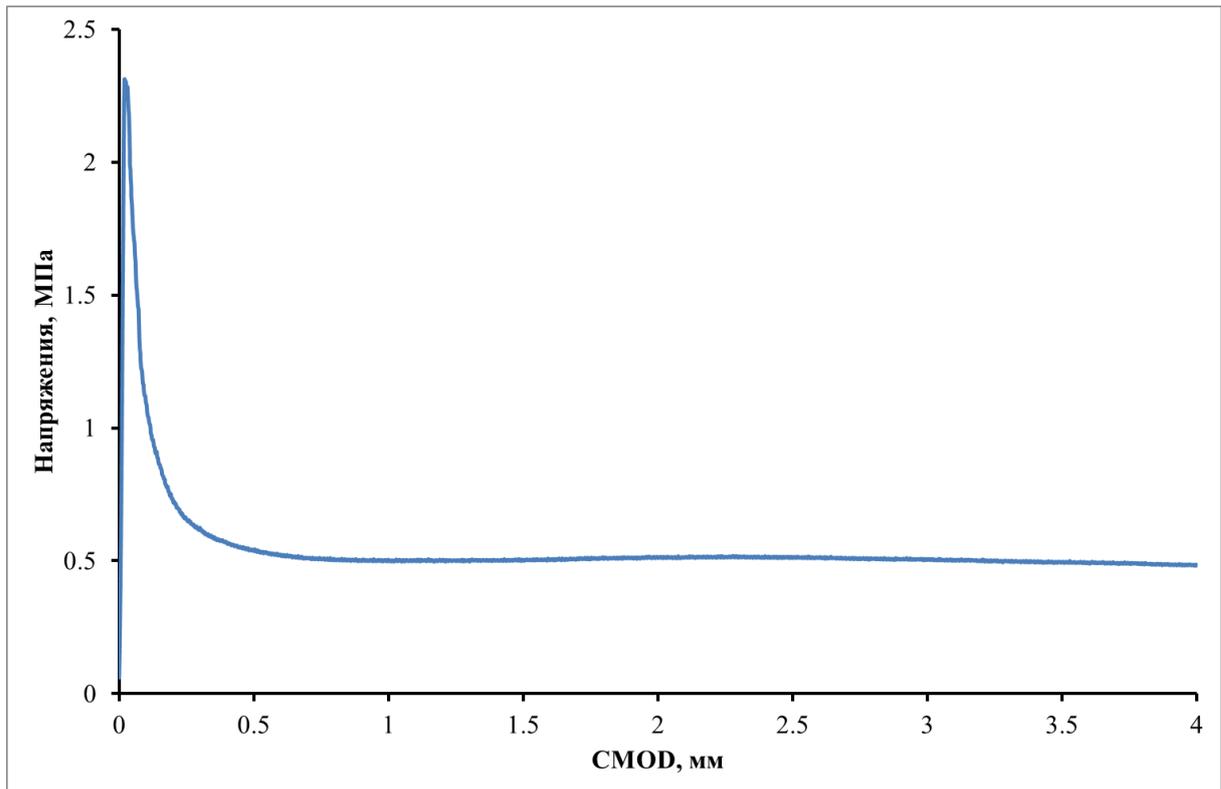


Рисунок П2.3 - График зависимости напряжений на растяжение при изгибе от величины раскрытия трещины для образца №3

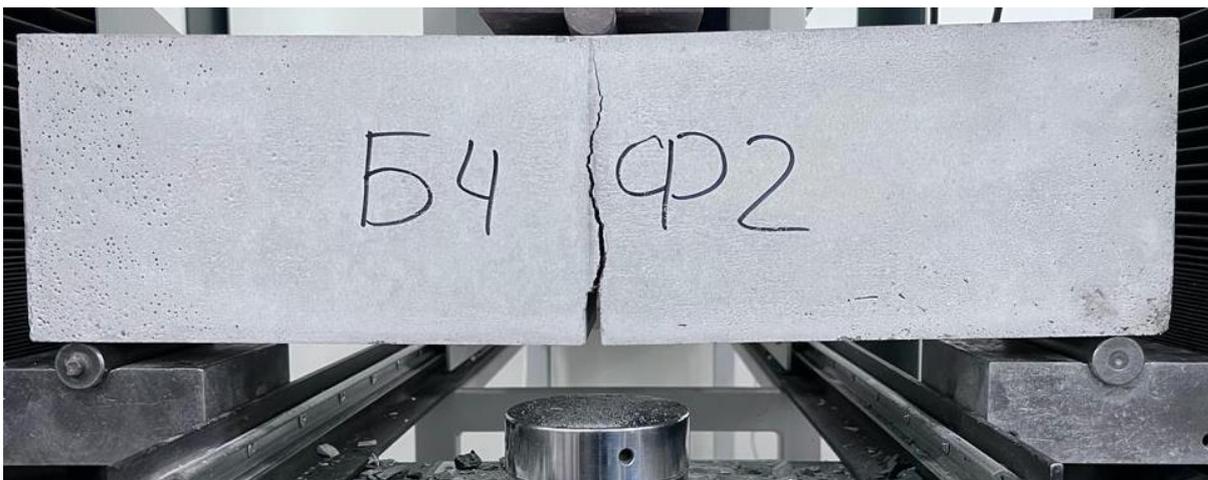
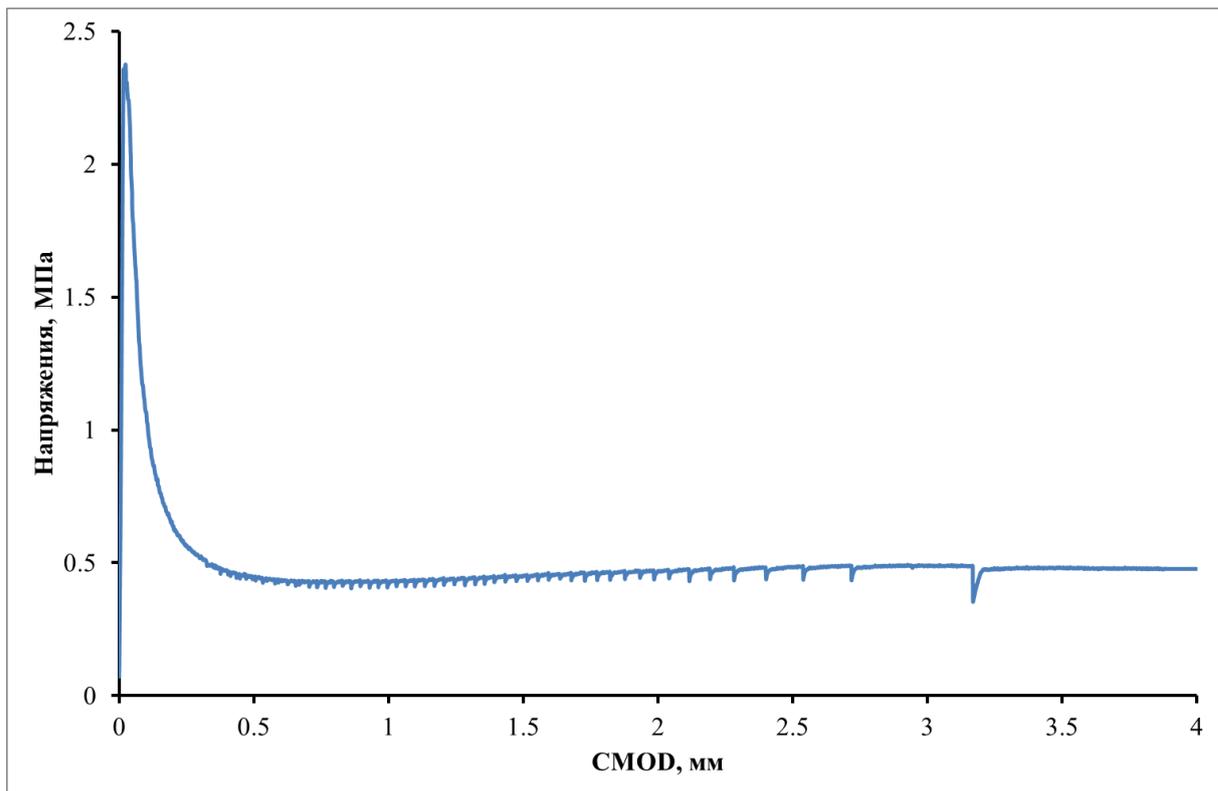


Рисунок П2.4 - График зависимости напряжений на растяжение при изгибе от величины раскрытия трещины для образца №4

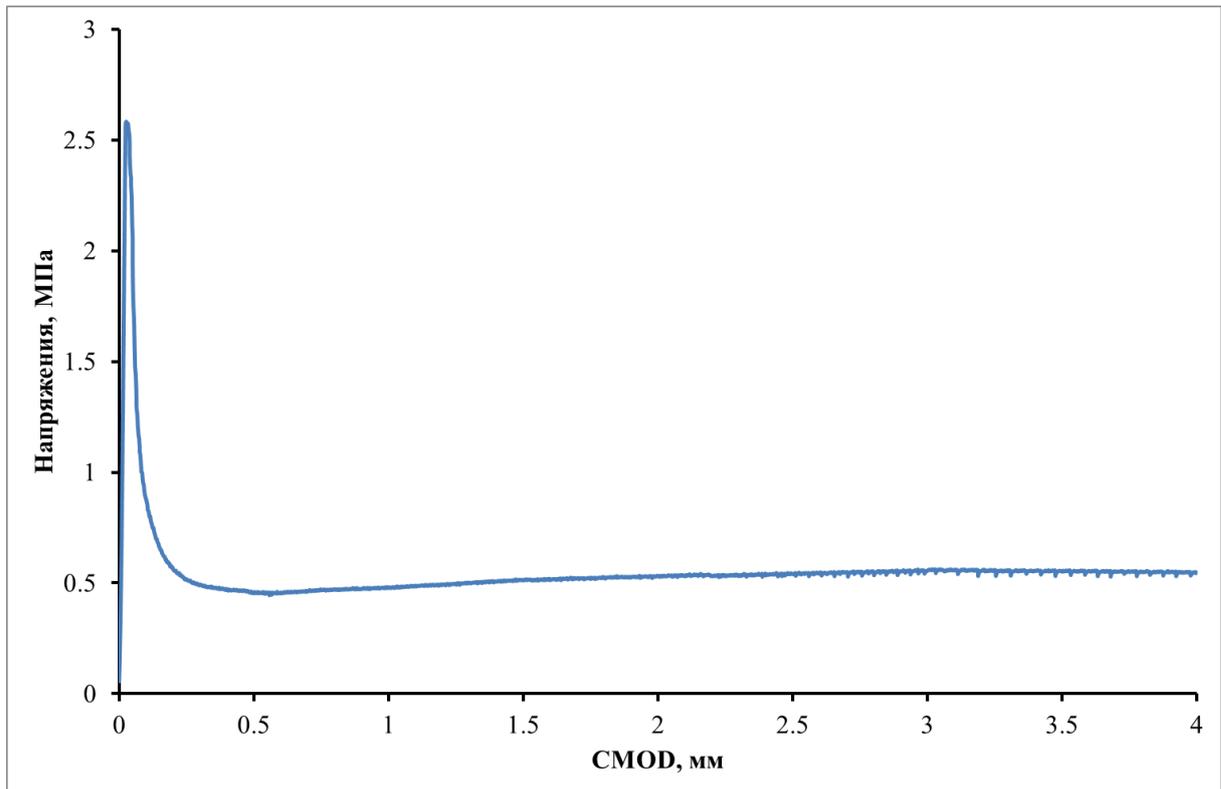


Рисунок П2.5 - График зависимости напряжений на растяжение при изгибе от величины раскрытия трещины для образца №5

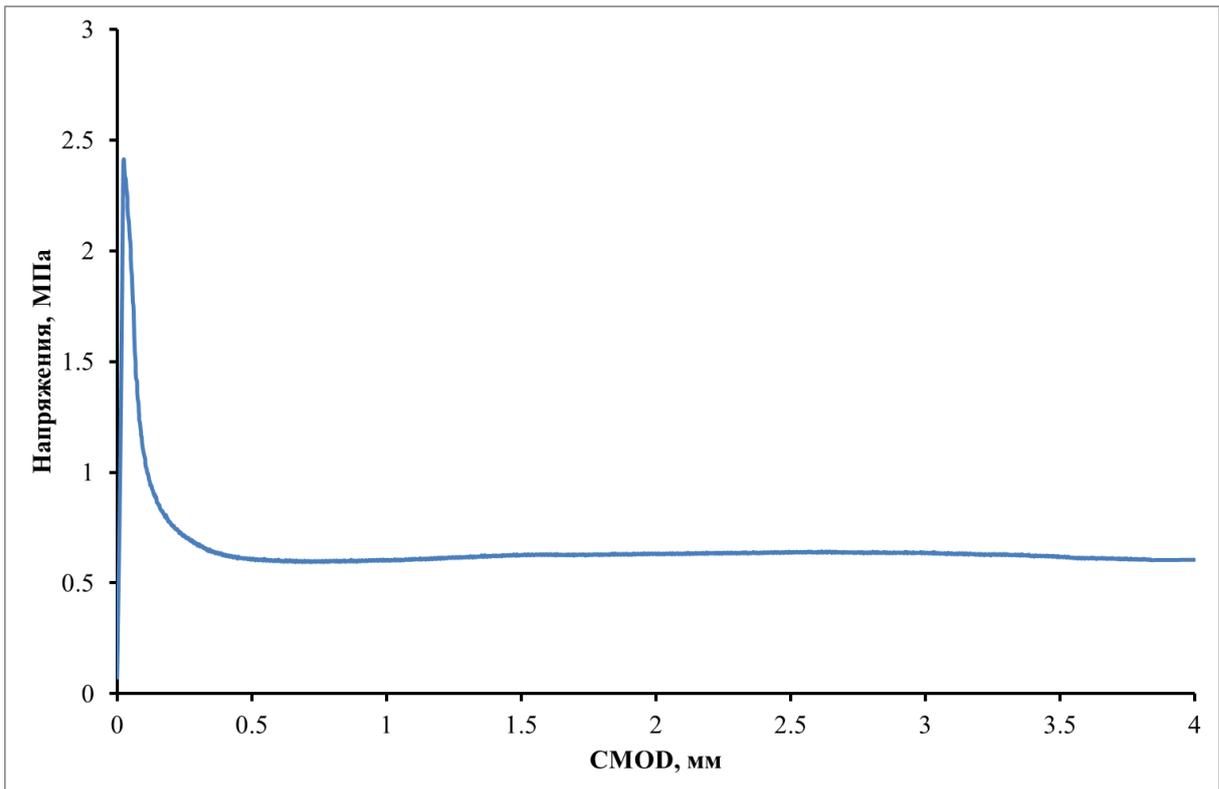
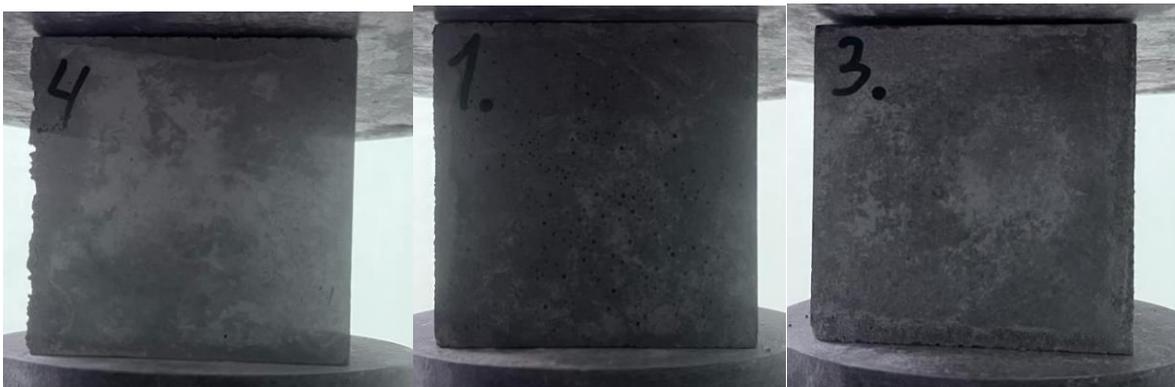


Рисунок П2.6 - График зависимости напряжений на растяжение при изгибе от величины раскрытия трещины для образца №6

а)



б)



Рисунок П2.7 -Фото образцов группа 2 до (а) и после испытания на одноосное сжатие

Результаты испытаний образцов группы №3

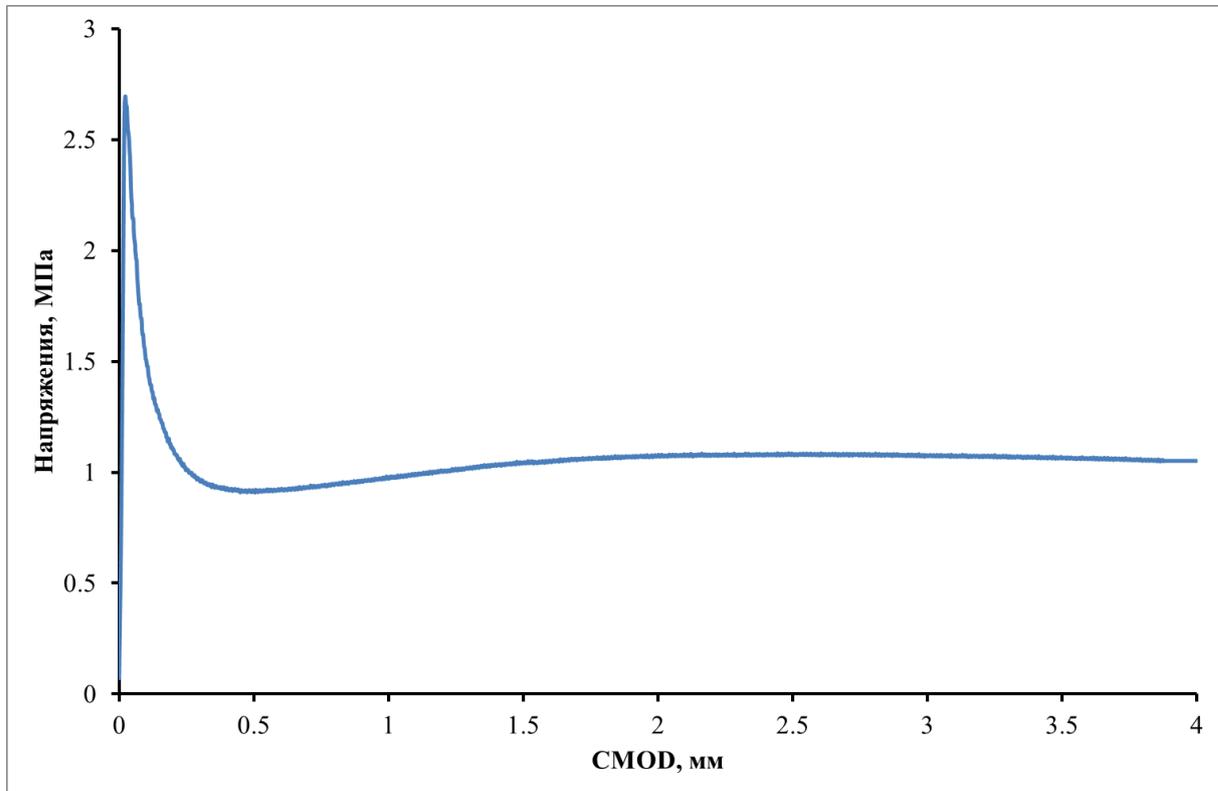


Рисунок ПЗ.1 - График зависимости напряжений на растяжение при изгибе от величины раскрытия трещины для образца №1

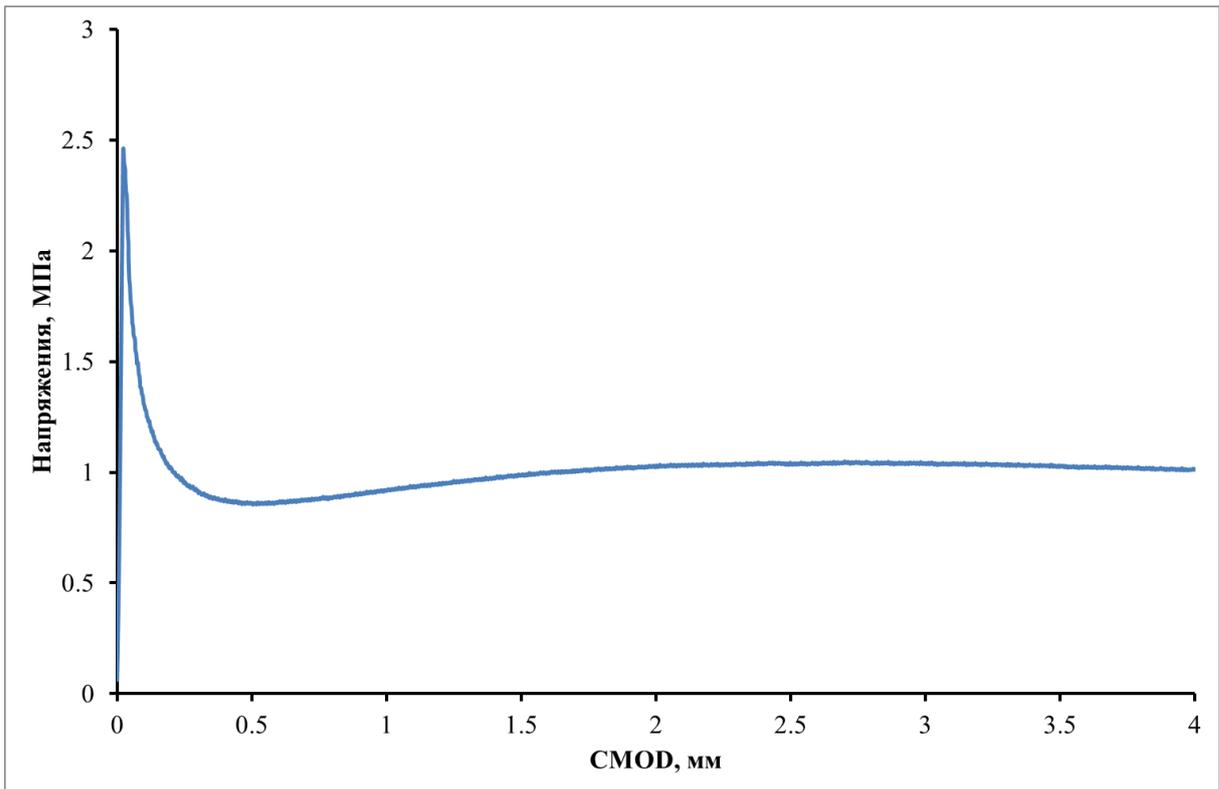


Рисунок ПЗ.2 - График зависимости напряжений на растяжение при изгибе от величины раскрытия трещины для образца №2

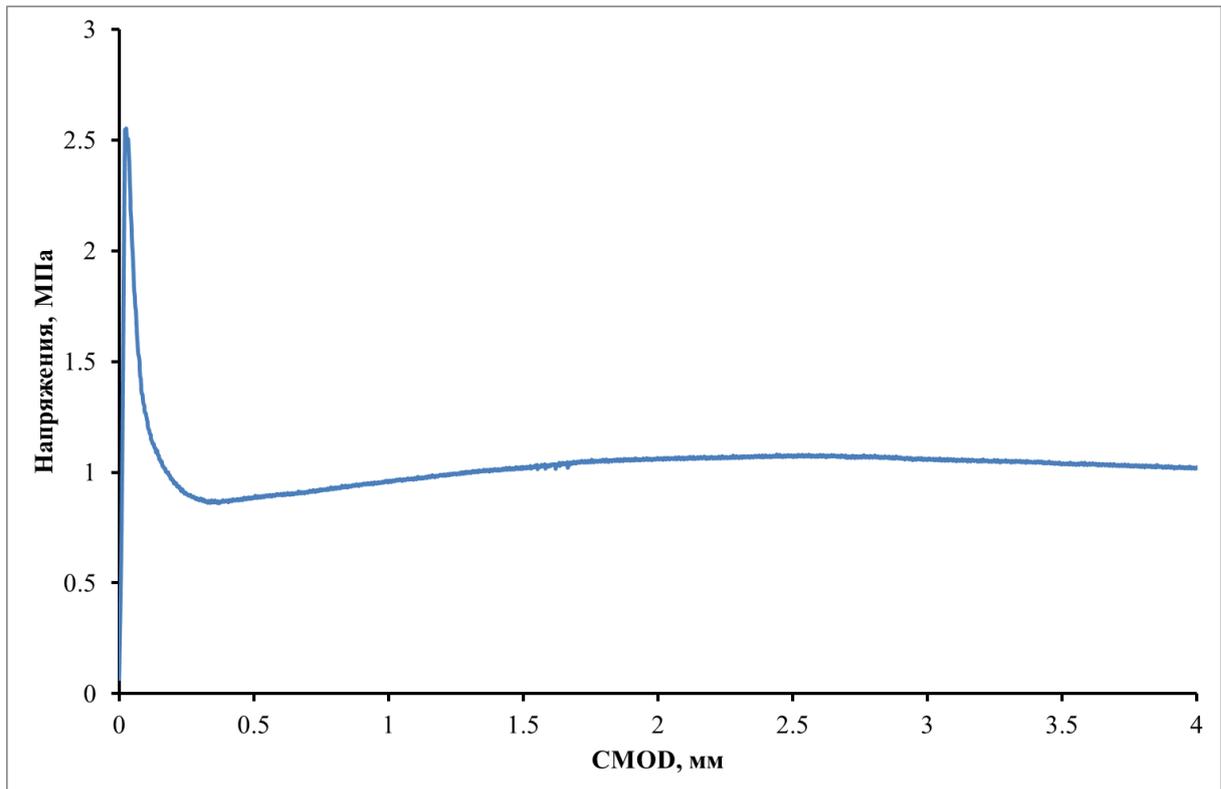


Рисунок ПЗ.3 - График зависимости напряжений на растяжение при изгибе от величины раскрытия трещины для образца №3

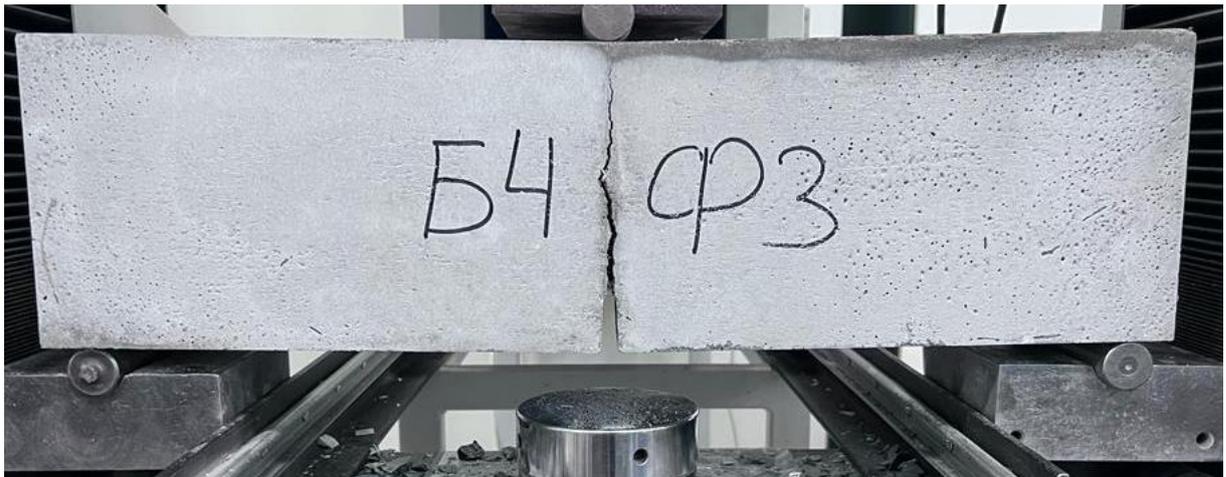
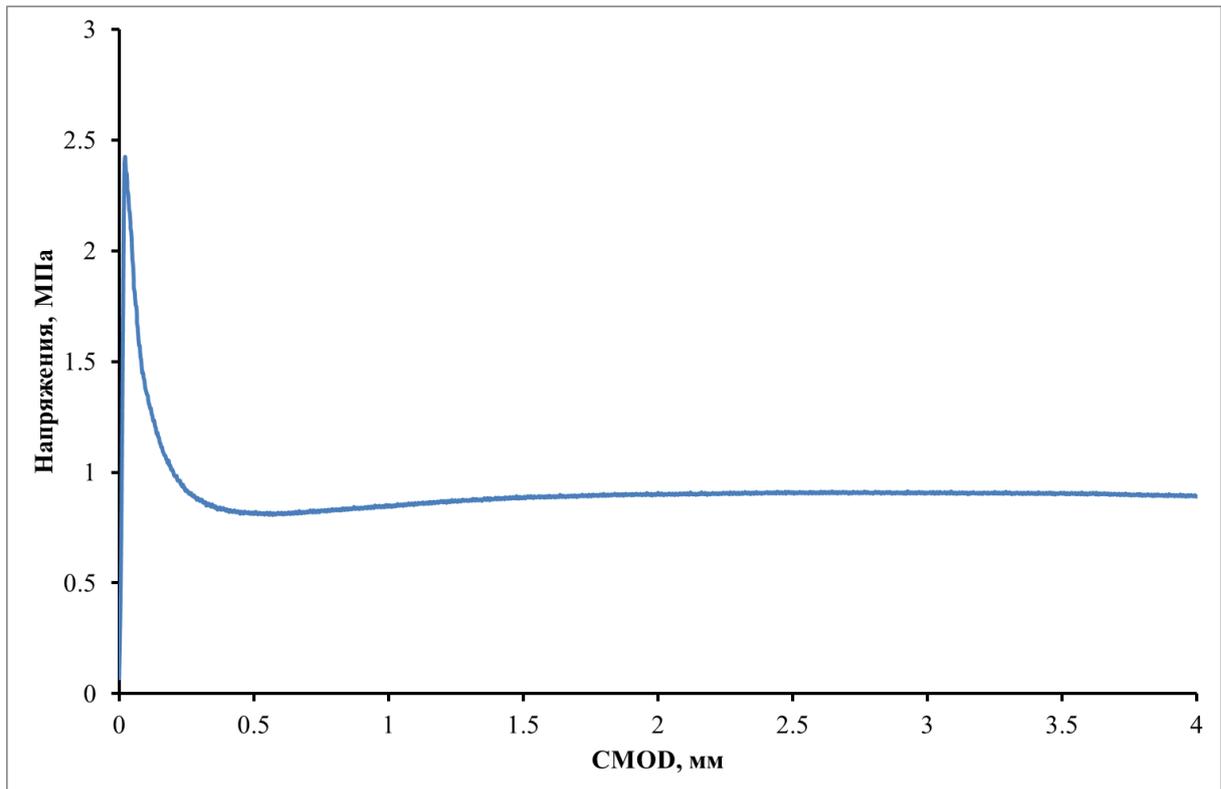


Рисунок ПЗ.4 - График зависимости напряжений на растяжение при изгибе от величины раскрытия трещины для образца №4

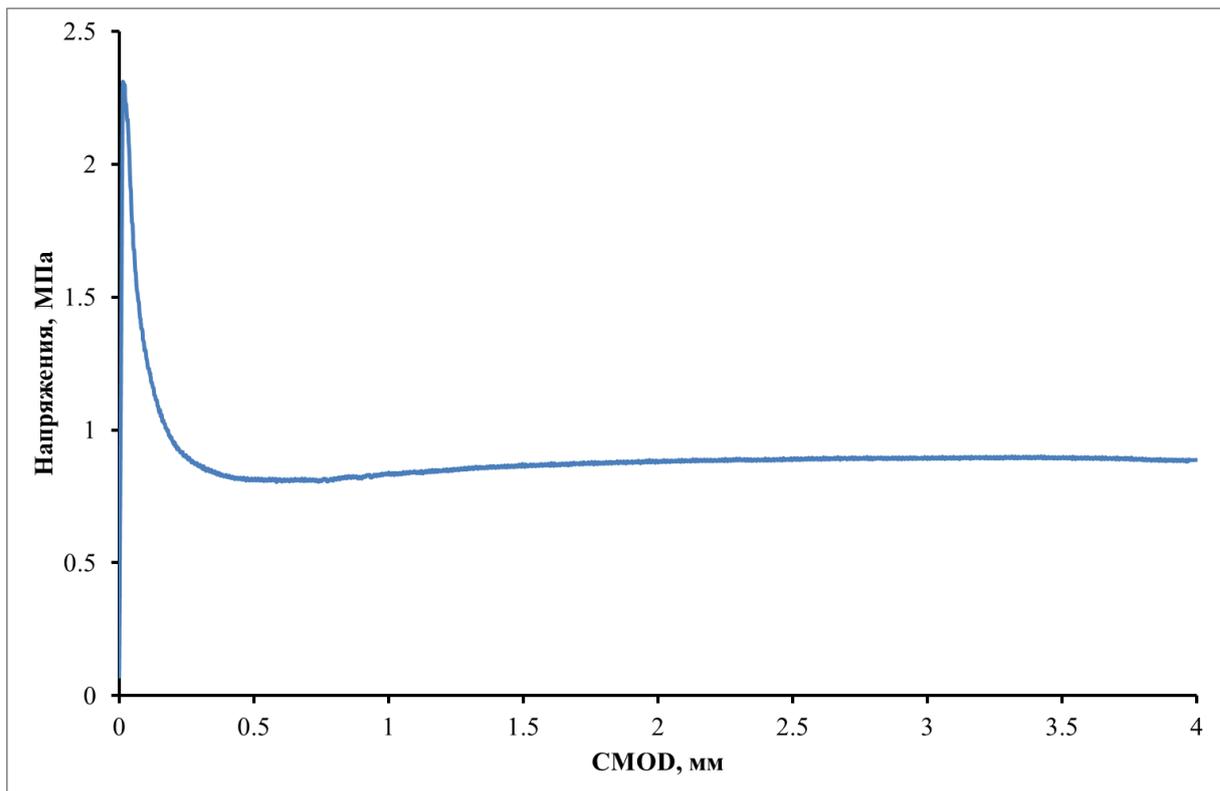


Рисунок ПЗ.5 - График зависимости напряжений на растяжение при изгибе от величины раскрытия трещины для образца №5

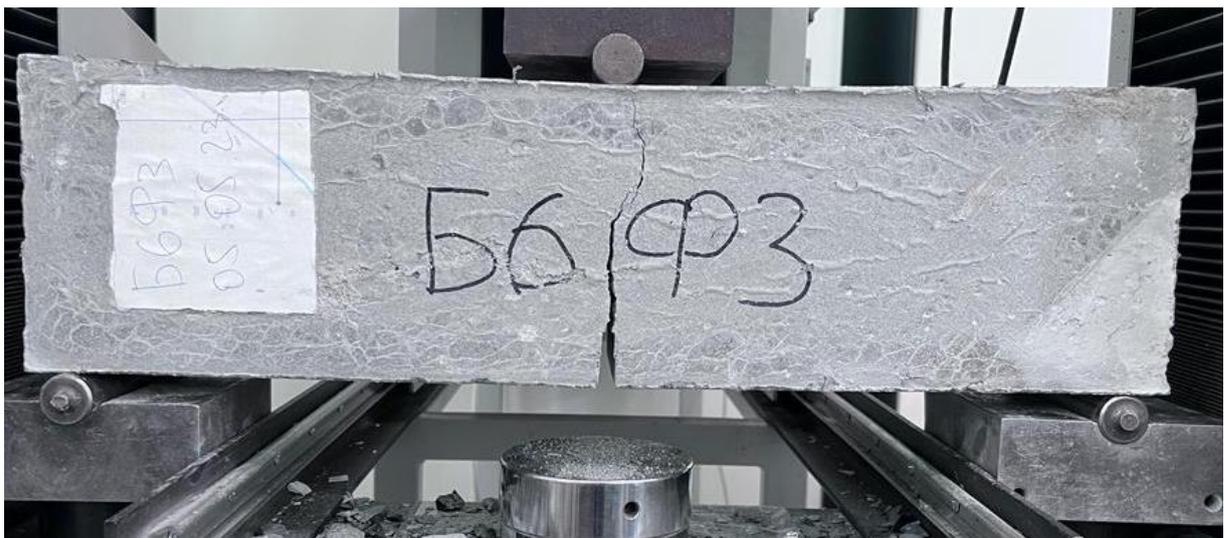
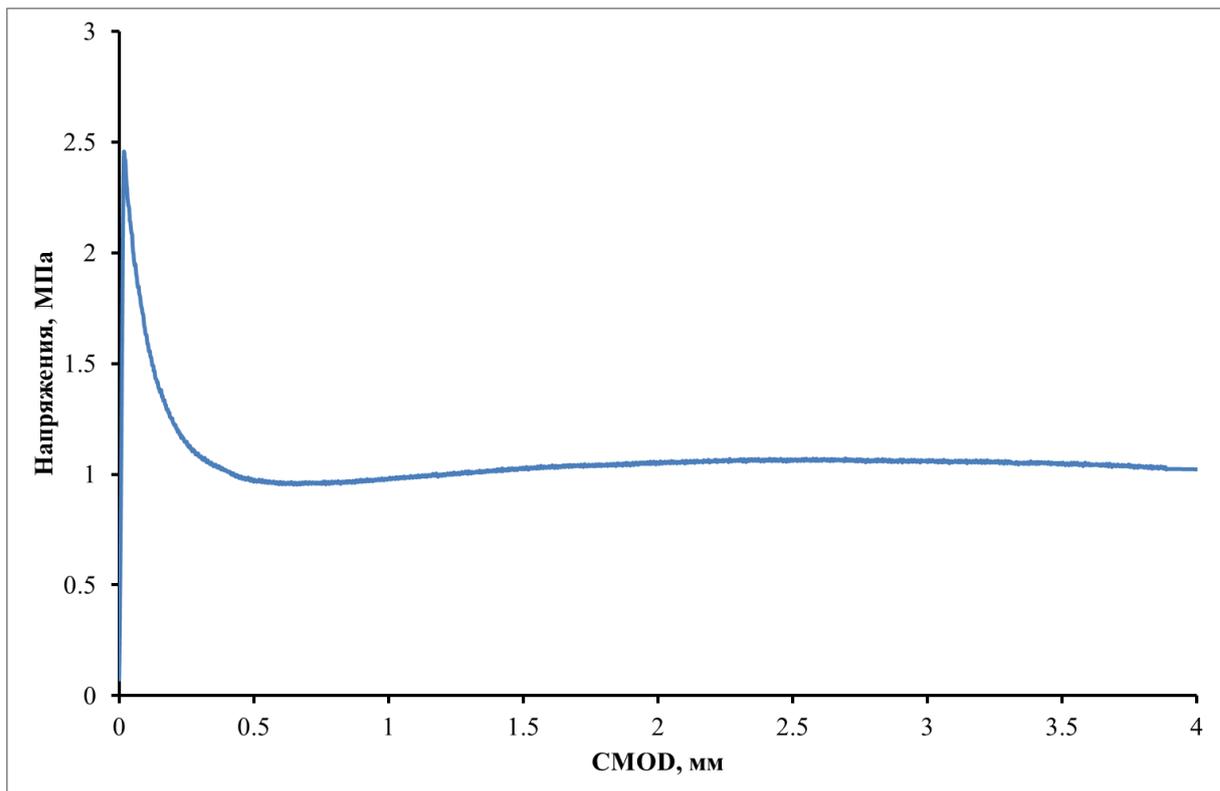
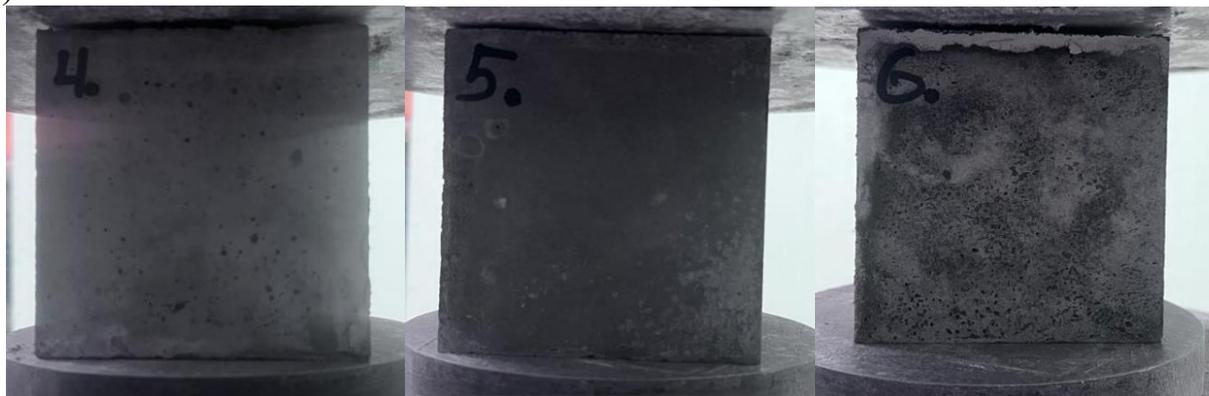


Рисунок ПЗ.6 - График зависимости напряжений на растяжение при изгибе от величины раскрытия трещины для образца №6

а)



б)



Рисунок ПЗ.7 -Фото образцов группа 3 до (а) и после испытания на одноосное сжатие

Приложение 4

Результаты испытаний образцов группы №4

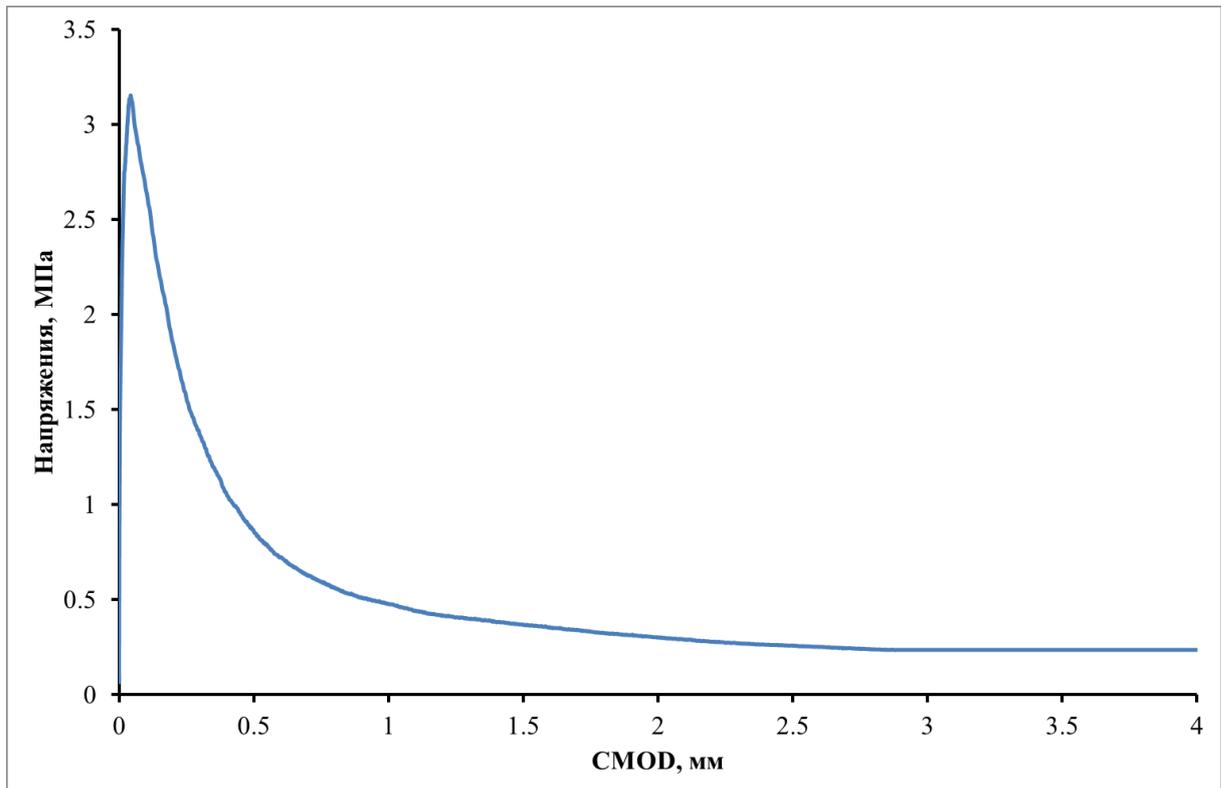


Рисунок П4.1 - График зависимости напряжений на растяжение при изгибе от величины раскрытия трещины для образца №1

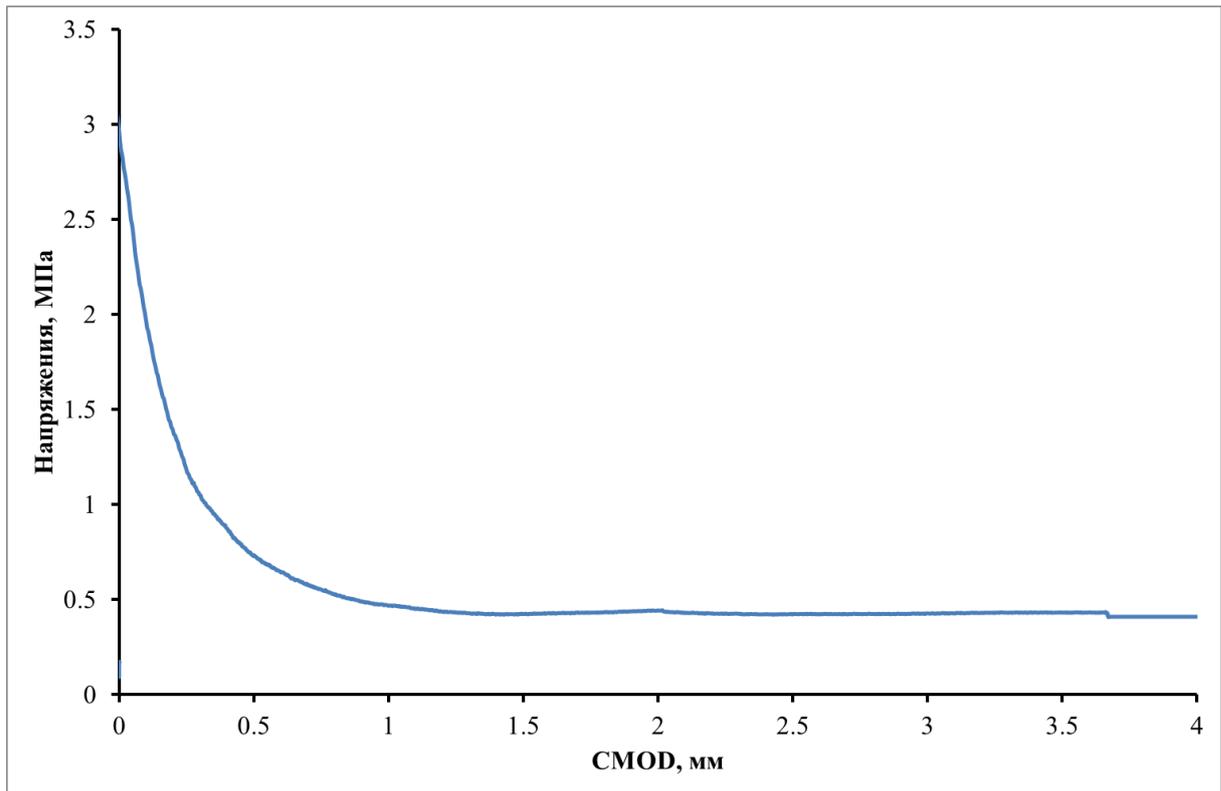


Рисунок П4.2 - График зависимости напряжений на растяжение при изгибе от величины раскрытия трещины для образца №2

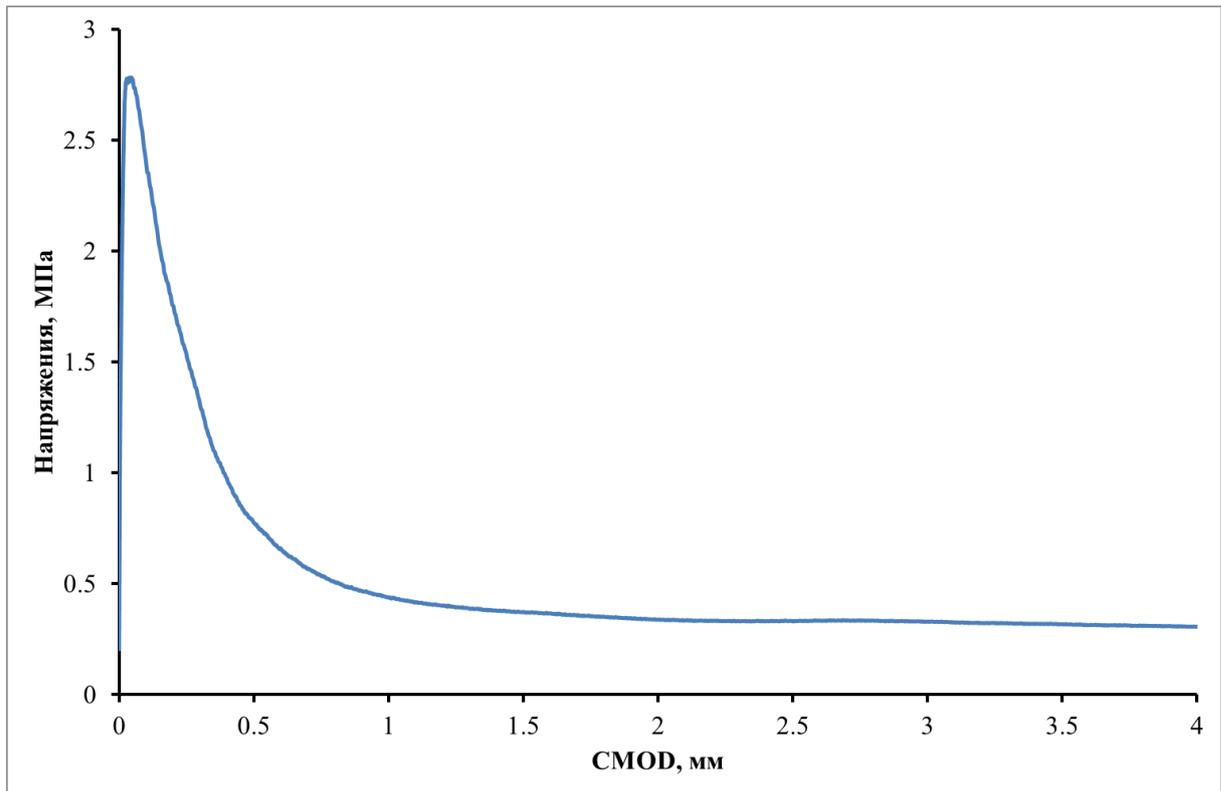


Рисунок П4.3 - График зависимости напряжений на растяжение при изгибе от величины раскрытия трещины для образца №3

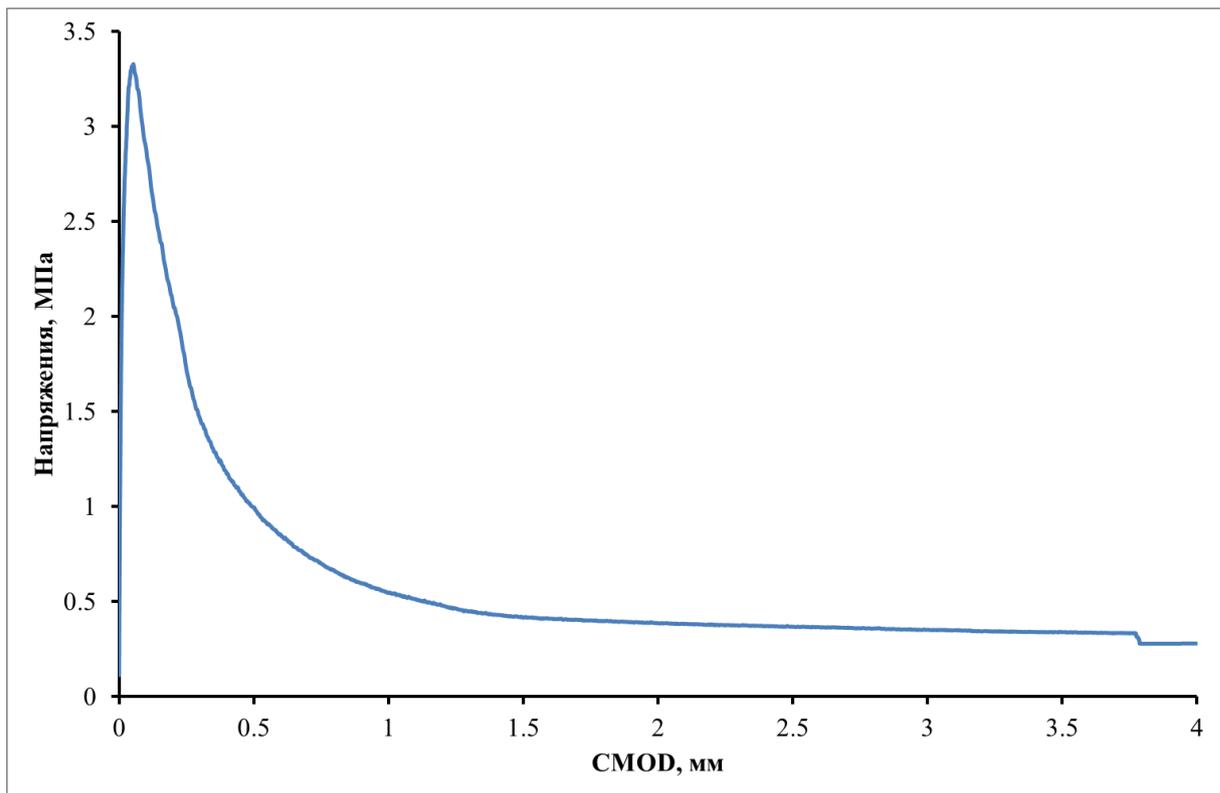


Рисунок П4.4 - График зависимости напряжений на растяжение при изгибе от величины раскрытия трещины для образца №4

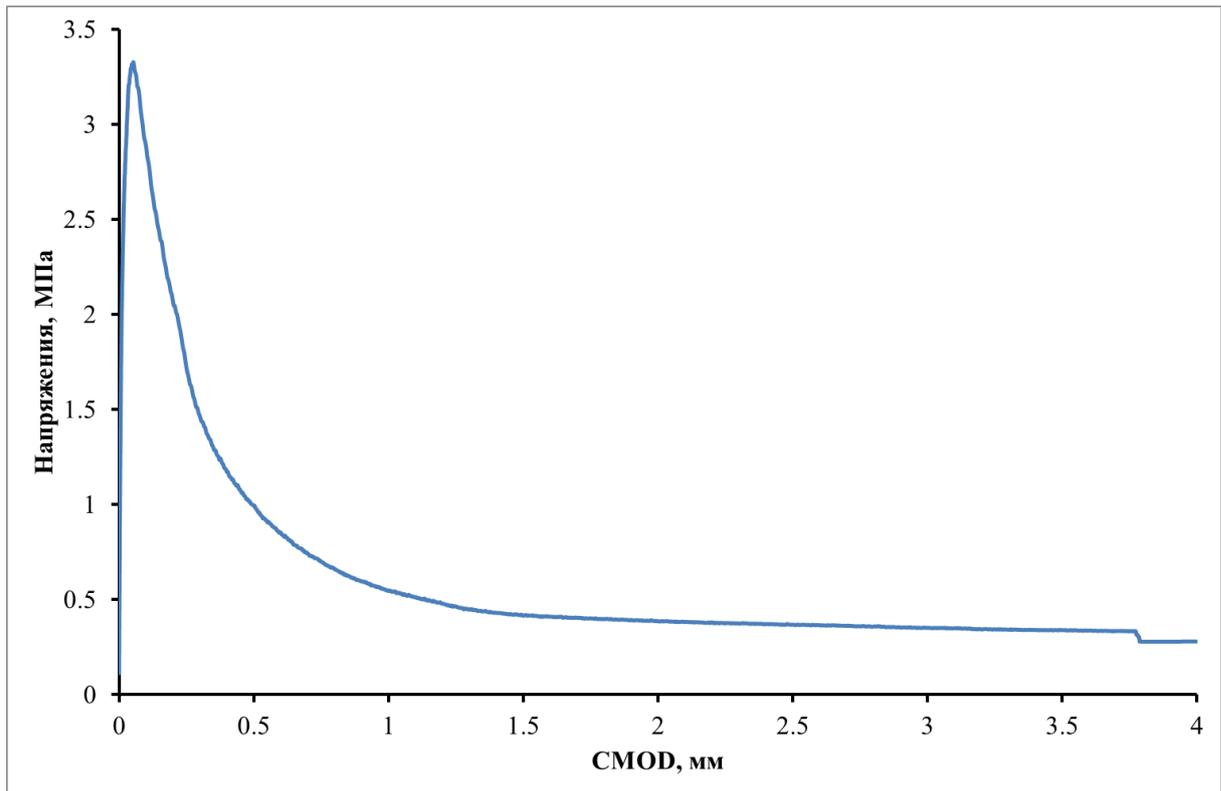


Рисунок П4.5 - График зависимости напряжений на растяжение при изгибе от величины раскрытия трещины для образца №5

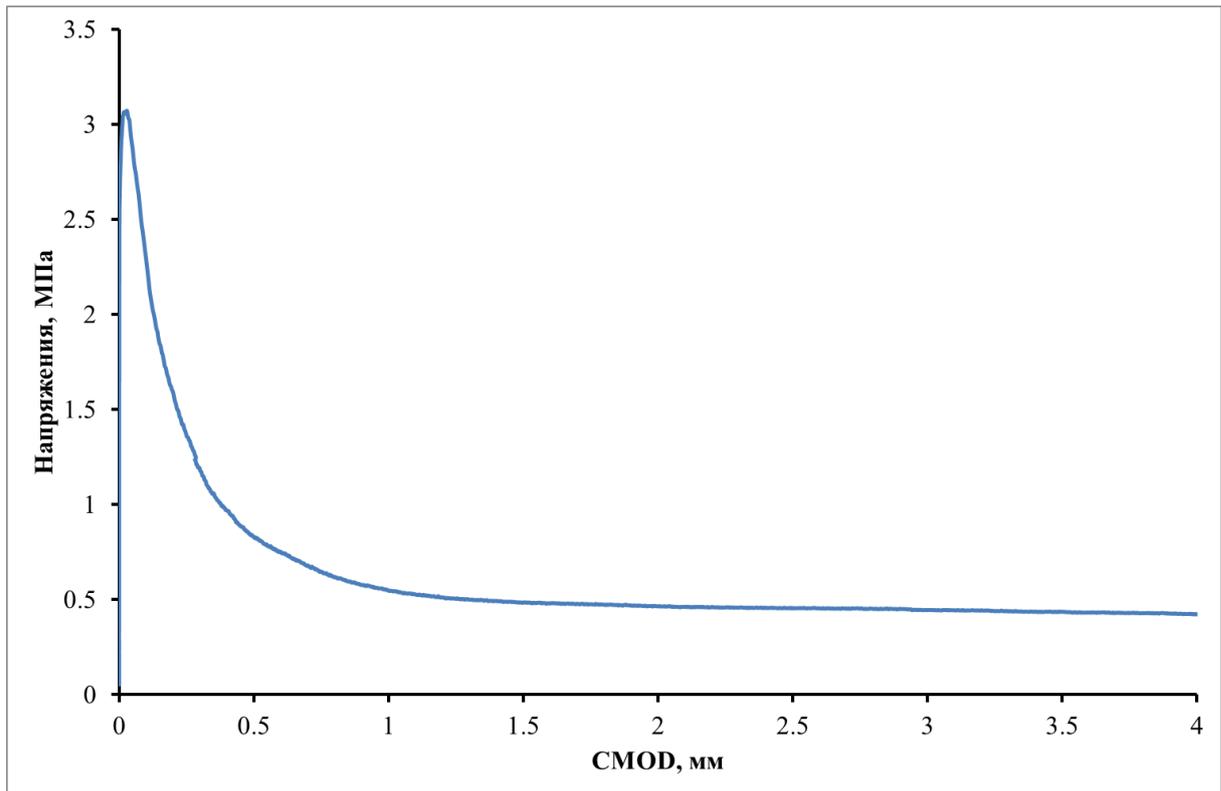


Рисунок П4.6 - График зависимости напряжений на растяжение при изгибе от величины раскрытия трещины для образца №6



Рисунок П4.7 -Фото образцов группа 4 после испытания на одноосное сжатие