

ПОЛИМЕРБЕТОН С ДИСПЕРСНЫМ АРМИРОВАНИЕМ

Фиговский Олег,

Академик, профессор, доктор технических наук,

Israel Association of Inventors, Haifa. Israel,

figovsky@gmail.com

Штейнбок Аркадий,

PhD,

Israel Association of Inventors, Haifa. Israel; Shenkar College, Ramat Gan, Israel,

shteinbok.arkady@gmail.com

Аннотация.

Полимербетон — это бетон, использующий в качестве связующего материала полибутадиен - полимер из семейства жидких каучуков, так что он обладает эластичными свойствами и чрезвычайно устойчив к агрессивным химическим веществам, высокое отталкивание воды и обладает высокой прочностью на сжатие. Он не обнаруживает характерных для обычного бетона разрушений, таких как растрескивание и отслаивание, обладает высоким электрическим сопротивлением, повышенной механической прочностью на сжатие и растяжение. Кроме того, полимербетон — это долговечный материал, обладающий водоотталкивающими свойствами и устойчивостью к воздействию агрессивных химических сред.

Предлагаемый полимербетон использует обычный агрегат, который используется для получения обычного бетона, но в качестве вяжущего применяется полимер. Так же, предлагается применение не металлической композитной арматуры (**патент АРР No. 16983646**).

Ниже приведены результаты испытания образцов с тремя видами дисперсных армирований.

Общие свойства полимербетона

Предлагаемый полимербетон это резинобетон защищенный патентом США⁽¹⁾. Резинобетон – это первый в мире полимербетон, где в качестве вяжущего материала используется не эпоксидная, полиэфирная или фурановая смола, а жидкий каучук (полибутадиен). Такой бетон имеет прочность на сжатие до 90 МПа и на растяжение до 30 МПа. (Что особенно важно, так как этот показатель прочности на растяжение значительно превосходит прочность на растяжение обычного бетона на портландцементе). Водопоглощение полимербетона не превышает 0,06%. Полимербетон обладает высокой химической стойкостью, как в щелочах, так и в кислотах. Собственно, само вяжущее полимербетона может применяться как самостоятельное, химически высоко-стойкое, защитное покрытие, обладающее высокой адгезией к стали (до 11.5 МПа при отрыве) и работоспособное до температуры 95° С (таблицы в приложении).

Программа экспериментальных исследований

Известно, что большинство конструкции редко подвергнуты одному виду нагружения. Чаще все они подвергнуты комбинированной нагрузке в состав которой входит и динамическое воздействие.

В ранее рассмотренных исследования дисперсноармированных композитов так же упоминались исследование прочностных характеристик фиброкаптонов. Однако, эти исследования, не затрагивали действия циклических нагрузок в том, числе при сжатии. В виду того, что исследования фиброкаптона в этой области еще не велись, была поставлена задача установить предел выносливости при наиболее неблагоприятном циклическом нагружении.

Основной характеристикой выносливости материала является предел выносливости определяемый, как наибольшее (предельное) максимальное напряжение цикла, при котором не происходит усталостного разрушения образца после произвольно большого числа циклических нагружений. Для бетонов и полимербетонов это число принимают равным $2 \cdot 10^6$ циклов.

Опыты проводились летом 2021 года в университетской лаборатории в г. Воронеже, под руководством проф. Панфилова Дмитрия, д.т.н. Евгения Юдина. На основе разработок проф. Олега Фиговского, была проведена серия лабораторных экспериментов на моделях материала с тремя различными видами армирования.

Лаборатория оснащена отечественным и современным оборудованием (Швейцария, Великобритания, США, Германия) для определения характеристик, диагностики строительных материалов, изделий и зданий различного функционального назначения. (в соответствии с протоколом № СДА-КА-215-ИЛ/ЛРИ-114). <https://labckp.ru/>

Применяемые материалы и их свойства

В работе были использованы следующие материалы:

каучук СКДН-Н; сера техническая; ускоритель вулканизации – тетраметилтиурамдисульфид (Тиурам-Д); активатор вулканизации – оксид цинка ZnO; оксид кальция CaO; тонкомолотый минеральный наполнитель; металлические или полипропиленовые волокна; песок; гранитный щебень.

Для проведения испытаний были подготовлены образцы-призмы размером $40 \times 40 \times 160$ мм трёх видов дисперсного армирования волокнами: металлические ($40/0.8$ мм), латунные ($15/0.3$ мм), полипропиленовые ($12/0.12$ мм) и без армирования. При испытании образцов при сжатии и растяжении (на машине, аттестованной в установленном порядке), на образцы-призмы наклеивались на противоположных гранях тензорезисторы для снятия продольных и поперечных деформаций, возникающих в образце при приложении кратковременной сжимающей нагрузки.

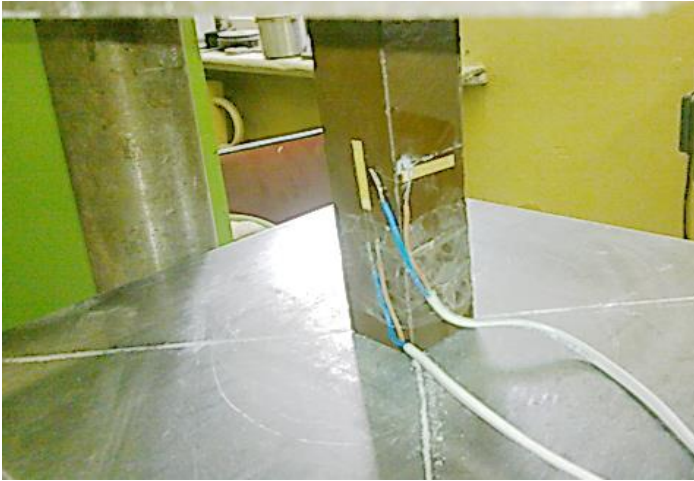


Рисунок 1 Схема установки тензорезисторов для испытания образцов на сжатие

Перед испытаниями образцы подготавливались. Проверялось, чтобы поверхность образцов была ровной, гладкой, без раковин, трещин и других дефектов, а торцы образцов были перпендикулярны их продольной оси.

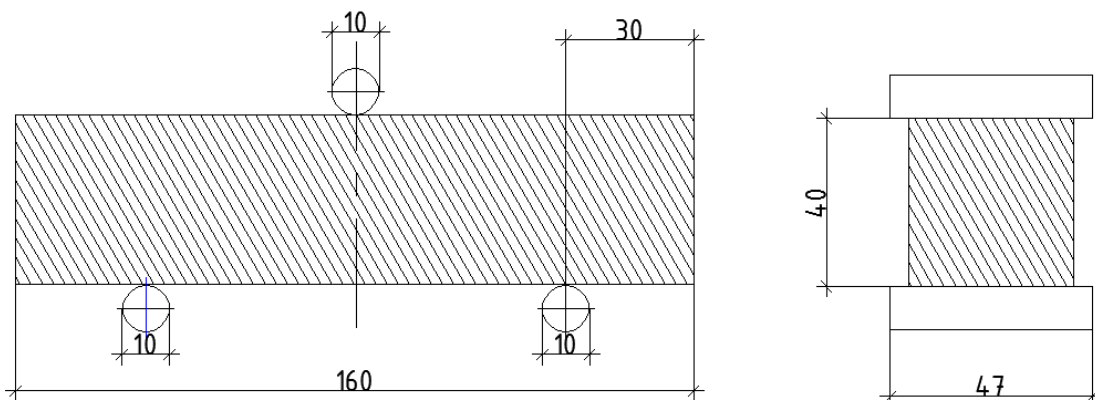
Нагрузку прикладывали ступенями по 10 % от ожидаемой разрушающей нагрузки, с постоянной скоростью, не более 1 Мпа/с.

Испытания на изгиб

Осуществляется с использованием специальной комбинированной машины для испытаний образцов из раствора или с использованием специального приспособления, вставляемого в пресс. Машина для испытаний на изгиб должна обладать диапазоном нагружения до 10 кН с точностью до $\pm 1,0$ % приложенного усилия и скоростью нагружения образцов 50 ± 10 Н/сек.

При нагружении образцов опоры и верхняя часть должны иметь круглую форму диаметром $10,0 \pm 0,5$ мм, а расстояние между нижними опорами — $100 \pm 0,5$ мм. Длина опорных элементов — от 45 до 50 мм.

Схематически нагружение образца при определении прочности на изгиб осуществляется по приведенной схеме (рисунок 2):



Рисунок

2 - Схема расположения образца на опорных элементах

Общий вид испытания



Рисунок 3 – Схема загрузки экспериментальных балок

Балки загружали одной сосредоточенной нагрузкой, приложенной в середине пролета. При таком нагружении изгибающие моменты увеличиваются от нуля на опоре до максимальной величины под точкой приложения нагрузки. Образцы-балки испытывали на комплекте оборудования для проведения испытаний механических свойств материалов INSTRON 5982, аттестованным в установленном порядке. Нагрузку на образец подавали равномерно до момента разрушения образца.

Максимальное значение усилия пресса в момент разрушения образца, т.е. усилие, при котором достигается предел текучести арматуры, принимали за величину разрушающей нагрузки на образец. Загружение производили равномерными ступенями. Каждая ступень составляла 10% от предполагаемой разрушающей нагрузки. Для измерения продольных деформаций в нормальном сечении на балку и арматуру наклеивались тензорезисторы с базой 20 мм.

Для определения момента образования трещины применяли тензодатчики. Показания тензодатчиков снимались прибором НВМ MG Plus. Данный прибор подсоединялся к персональному компьютеру, где при помощи специального программного обеспечения производилась обработка полученных данных от тензорезисторов.

Для каждой серии экспериментов эксперименты проводились на 3-х образ. Динамическая нагрузка составляла от 0,6 до 0,9 разрушающей нагрузки.

Результаты испытаний образцов каутона (RubCon) и фиброкаутона на сжатие.

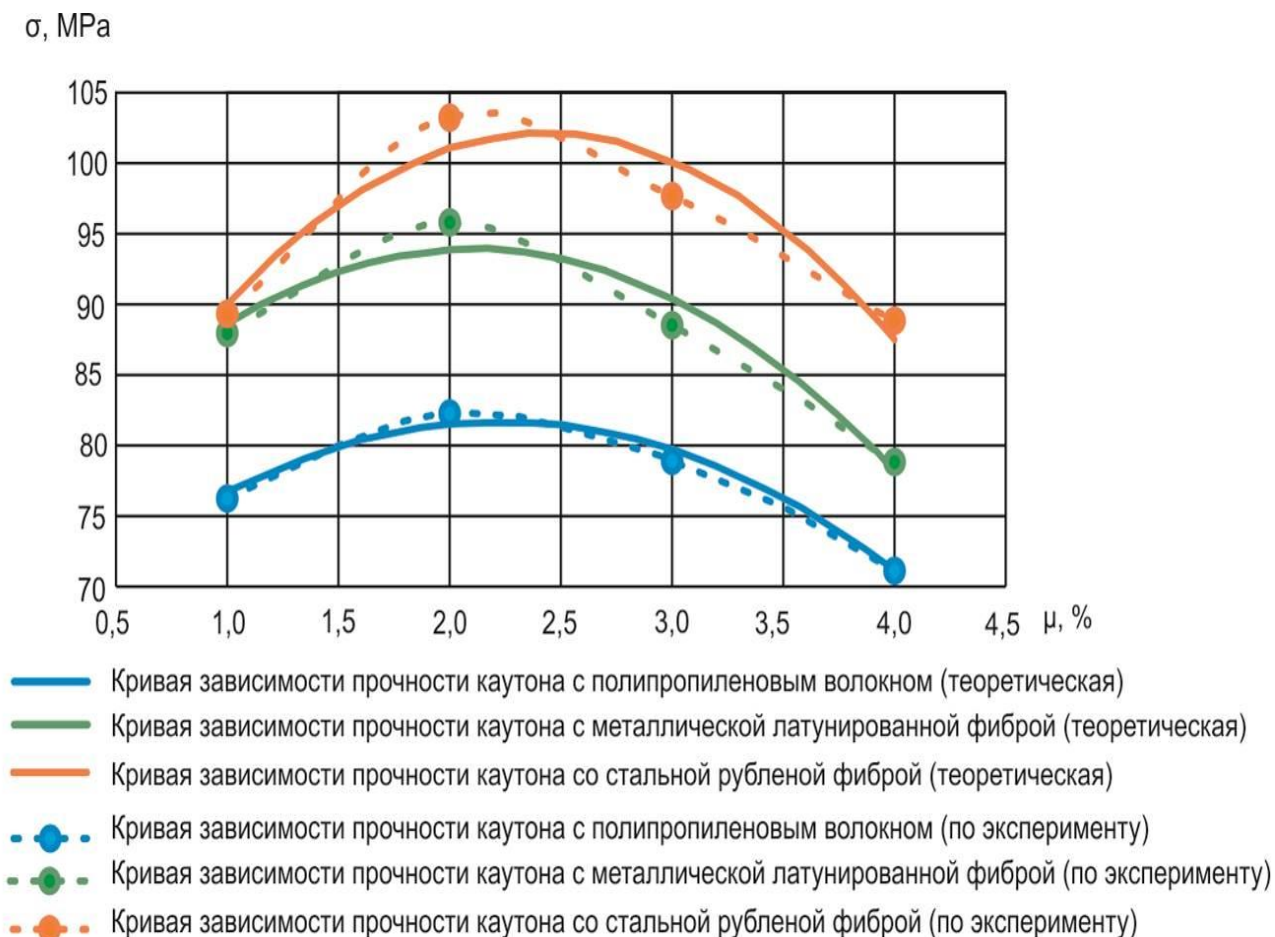


Рисунок 4 Прочность фиброкаутонa на сжатие в зависимости от процента дисперсного армирования

Выводы

1. Проведены опыты и определены относительные пределы выносливости при сжатии на базе $2 \cdot 10^6$ циклов.
2. Выявлены различия в характере разрушения фиброкаутонa под действием циклической сжимающей нагрузки в зависимости от применяемых фиброболокон.
3. Для установленного состава фиброкаутонa под действием циклической сжимающей нагрузки с коэффициентом асимметрии цикла $\rho = 0,1$, определены следующие характеристики:
 - Предел выносливости для фиброкаутонa с дисперсным армирование стальной латунированной фиброй 15/0.3мм $R_{сж, pul} = 75,83$ МПа;
 - Предел выносливости для фиброкаутонa с дисперсным армирование стальной рубленой фиброй 40/0.8 мм $R_{сж, pul} = 77,97$ МПа;
 - Предел выносливости для фиброкаутонa с дисперсным армирование полипропиленовой фиброй 12/0.12 мм $R_{сж, pul} = 62,91$ МПа;

Приложение: Основные характеристики каутона (RubCon[®])

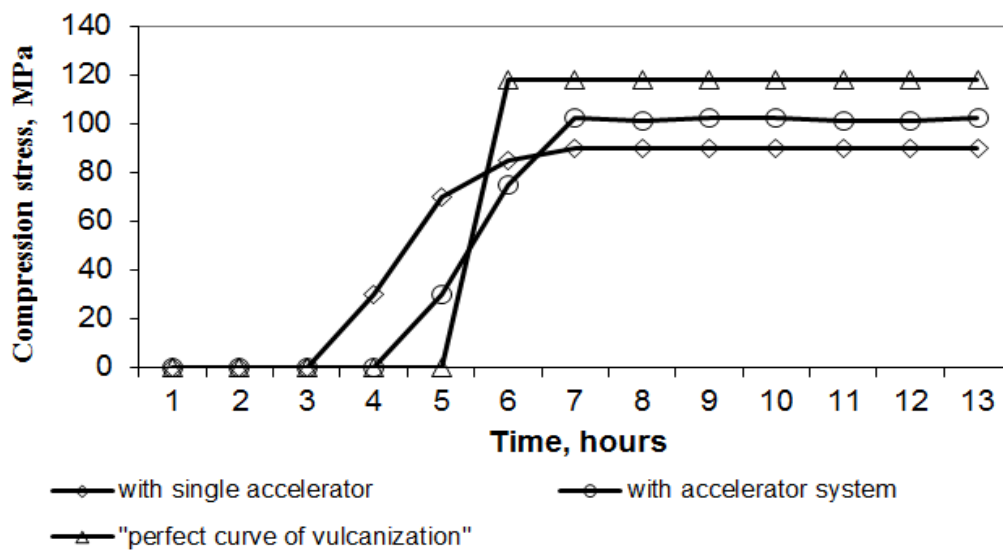


Рисунок 5: Consolidation time and accelerator system

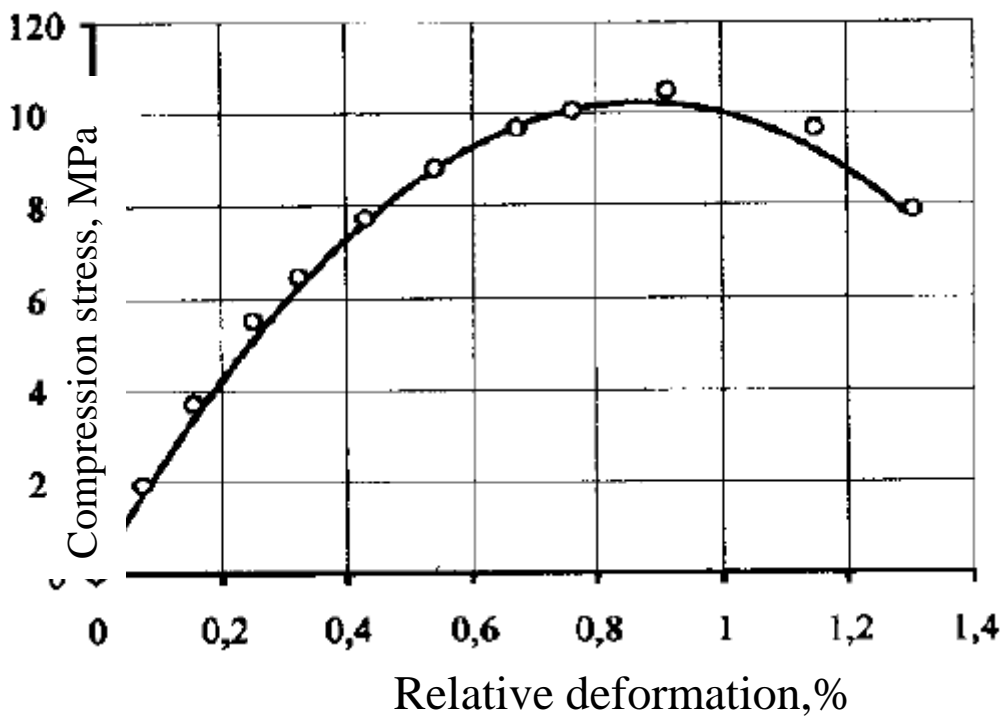
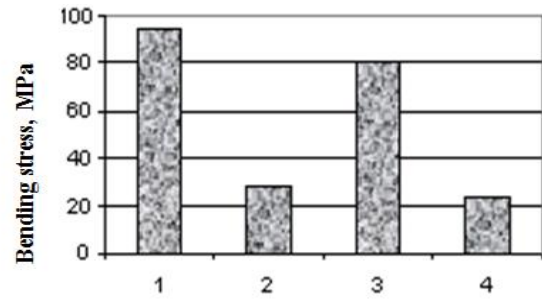
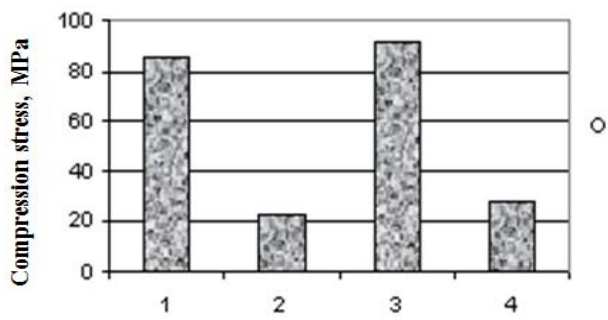


Рисунок 6: Characteristic pressure - deformation relationship



1 - Potyoil®, 2 - PBN®, 3 - Ricon 130®, 4 - SKDN-N®

Рисунок 7: Влияние вторичных добавок, ускоряющих затвердение RubCon после заливки (Values of σ_{com} and σ_b of RubCon for various rubbers)

Table 1 Basic physical-chemical and mechanical properties of *RubCon*

Indices	Units	<i>RubCon</i>
Density	kg/m ³	2100-2300
Strength at - compression - bending - tension	MPa	80-95 25-30 12-15
Modules of elasticity	MPa10 ⁴	2.0-2.7
Poison's ratio		0.26-0.28
Thermal conductivity coefficient	W/m/°C	0.3-0.5
Wear resistance	(kg/m ²)10 ⁻³	2-3
Specific toughness	(J/m ²)10 ³	3.5-4.5
Heat stability	°C	80-100
Water absorption	%	0.05-0.06
Coefficient of chemical resistance at 20 °C (based on 360 days of exposure) - 20% H2SO4 - 10% Lactic acid - 20% Caustic potash - 35% H3PO4 - Water - Salt water		0.97-0.98 0.95-0.96 0.97-0.98 0.96-0.98 0.99-0.995 1.00-1.05
Resistance to abrasion	(kg/m ²)10 ⁻³	2-3.5

Table 2: Experimental values of load-carrying capacity averaged by test results for various stresses and temperatures levels

Normal stress, σ (MPa)	Temperature, T (°C)	Time to failure, τ_f (min)
$\sigma_1 = 5.65$	72	527
	77	340
	78	132
	86	83
	105	3
$\sigma_2 = 6.07$	65	552
	66	340
	71	215
	72	74
	76	56
	84	42
$\sigma_3 = 6.47$	60	300
	64	265
	67	151
	78	21

Table 3. The main physical-mechanical characteristics of the new RubCon structure

Properties	Value
Average density, kg/m ³	4.86
Compression strength, MPa	2.05
Bending strength, MPa	0.28
Water absorption	0.23
Maximal operation temperature, °C	0.80
Linear attenuation coefficient. cm ⁻¹	0.15
Coefficient of radiation resistance at γ -radiation dose MGy	4.32

Рисунки

Рисунок 1 Схема установки тензорезисторов для испытания образцов на сжатие

Рисунок 2 Схема расположения образца на опорных элементах

Рисунок 3 Схема загрузки экспериментальных балок

Рисунок 4 Прочность фиброкаутонa на сжатие в зависимости от процента дисперсного армирования

Рисунок 5: Consolidation time and accelerator system

Рисунок 6: Characteristic pressure - deformation relationship

Рисунок 7: Влияние вторичных добавок, ускоряющих затверждение RubCon после заливки (Values of σ_{com} and σ_b of RubCon for various rubbers)

Таблицы

Table 1 Basic physical-chemical and mechanical properties of *RubCon*

Table 2: Experimental values of load-carrying capacity averaged by test results for various stresses and temperatures levels

Table 3. The main physical-mechanical characteristics of the new RubCon structure