

Бондарев Б.А., Панков А.Е., Беляев Т.К. Влияние структурообразующих факторов на малоцикловую усталость полимерного композиционного материала на основе ФАМ // Вестник ПНИПУ. Строительство и архитектура. – 2019. – Т. 10, № 2. – С. 119–125. DOI: 10.15593/2224-9826/2019.1.10

Bondarev B.A., Pankov A.E., Belyaev T.K. The influence of structure forming factors on low-cycle fatigue of a polymer composite material based on furfural acetone monomer (FAM). *Bulletin of PNRPU. Construction and Architecture*. 2019. Vol. 10. No. 2. Pp. 119-125. DOI: 10.15593/2224-9826/2019.1.10



**ВЕСТНИК ПНИПУ.
СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА**
Т. 10, № 2, 2019
**PNRPU BULLETIN.
CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE**
<http://vestnik.pstu.ru/arhit/about/inf/>



DOI: 10.15593/2224-9826/2019.2.10

УДК 691.5

ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРООБРАЗУЮЩИХ ФАКТОРОВ НА МАЛОЦИКЛОВУЮ УСТАЛОСТЬ ПОЛИМЕРНОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ ФАМ

Б.А. Бондарев, А.Е. Панков, Т.К. Беляев

Липецкий государственный технический университет, Липецк, Россия

О СТАТЬЕ

Получена: 20 декабря 2018
Принята: 26 февраля 2019
Опубликована: 28 июня 2019

Ключевые слова:

структурообразующие факторы, малоцикловая усталость, полимерный композиционный материал (ФАМ), прочность, жесткость.

АННОТАЦИЯ

Зачастую исследования работы полимерных бетонов проводятся при действии статических нагрузок, при этом фактически на материал в результате его работы в конструкции воздействуют циклические нагрузки, чаще всего малоцикловые. В случае, когда уровень напряжений, вызванных этими нагрузками, превышает определенный предел, в материале начинают происходить необратимые процессы накопления повреждений, которые приводят к образованию трещины. В дальнейшем концентрация напряжений на краю трещины способствует ее развитию. Чаще всего трещины возникают у поверхности детали, но иногда и в толще материала. Этот процесс ослабляет сечение, и по истечении некоторого времени, когда трещина достигает критической длины, происходит разрушение детали или конструкции. Как правило, они разрушаются без видимых остаточных деформаций даже в тех случаях, когда изготовлены из пластических материалов. Высказывалось предположение, что под влиянием переменных напряжений материал со временем постепенно перерождается, как бы «устает». Усталость материала – это процесс постепенного накопления повреждений под действием переменных напряжений, приводящих к образованию трещины и разрушению материала.

В статье рассмотрены особенности влияния малоцикловых напряжений на прочностные характеристики полимерных бетонов на основе фурфуролацетонового мономера. В результате эксперимента по испытанию полимерного композиционного материала получено уравнение регрессии, которое позволило построить поверхность отклика малоцикловой усталости полимерного композиционного материала на основе смолы ФАМ. Приведен план второго порядка для трех факторов при исследованиях малоцикловой усталости исследуемого композиционного материала. Установлено, что основополагающими факторами, влияющими на циклическую долговечность полимербетона, являются отношения полимерной составляющей к наполнителю и коэффициента раздвижки зерен крупного заполнителя, при этом толщина полимерного связующего слоя является малозначительным фактором.

© ПНИПУ

© **Бондарев Борис Александрович** – доктор технических наук, профессор, e-mail: LNSP-48@mail.ru.

Панков Алексей Евгеньевич – студент, e-mail: aleksej_pankov222@mail.ru.

Беляев Тимур Кудратович – студент, e-mail: LNSP-48@mail.ru.

Boris A. Bondarev – Doctor of Technical Sciences, Professor, e-mail: LNSP-48@mail.ru.

Aleksey E. Pankov – Student, e-mail: aleksej_pankov222@mail.ru.

Timur K. Belyaev – Student, e-mail: LNSP-48@mail.ru.

THE INFLUENCE OF STRUCTURE FORMING FACTORS ON LOW-CYCLE FATIGUE OF A POLYMER COMPOSITE MATERIAL BASED ON FURFURAL ACETONE MONOMER (FAM)

B.A. Bondarev, A.E. Pankov, T.K. Belyaev

Lipetsk State Technical University, Lipetsk, Russian Federation

ARTICLE INFO

Received: 20 December 2018

Accepted: 26 February 2019

Published: 28 June 2019

Keywords:

structure forming factors, low-cycle fatigue, polymer composite material, furfural acetone monomer (FAM), strength, rigidity.

ABSTRACT

Research studies of polymer concretes are frequently carried out under the action of static loads while the material is affected by cyclic loads, most often, low-cycle as a result of its work in the structure. In the case when the level of stresses caused by these loads exceeds a certain limit, irreversible damage accumulation processes begin to occur in the material, which lead to the formation of cracks. In the future, the stress concentration at the edge of the crack contributes to its development. Most often cracks occur at the surface of the part, but sometimes in the thickness of the material. This process weakens the section and after some time, when the crack reaches a critical length, the part or structure is destroyed. As a rule, they are destroyed without visible residual deformations, even in cases when they are made of plastic materials. It was suggested that under the influence of variable stresses material gradually degenerates over time, as if "gets tired" (fatigued). Material fatigue is a process of gradual accumulation of damage under the influence of variable stresses, leading to the formation of cracks and destruction of the material. The peculiarities influencing low-cycle stresses on strength characteristics of polymer concretes based on furfural acetone monomer (FAM) are considered in the article. The regression equation has been obtained as a result of experimenting on a polymeric composite material which allowed constructing the response surface of the low-cycle fatigue of the polymeric composite material based on the resin of furfural acetone monomer. A second-order plan for three factors studying low-cycle fatigue of a tested composite material is also presented in the paper. It has been established that the ratio of the polymer component to the filler and the coarse aggregate spreading factor are the fundamental ideas influencing the cyclic durability of polymer concretes while the thickness of the polymer bonding layer is an insignificant factor.

© PNRPU

Введение

Механические свойства композиционных материалов определяются тремя основными параметрами: прочностью армирующего компонента, жесткостью полимерной матрицы и прочностью сцепления наполнителя с матрицей.

Основная часть

Экспериментальные исследования малоциклового усталости полимербетона ФАМ и влияния на циклическую долговечность структурообразующих факторов были проведены по стандартной методике [1–9]. Постановке эксперимента предшествовало его планирование. В качестве факторов, влияющих на циклическую долговечность, были приняты следующие:

- X_1 – отношение полимерной составляющей к наполнителю (П/Н);
- X_2 – коэффициент раздвижки зерен крупного заполнителя (α);
- X_3 – толщина полимерного связующего слоя.

Значения факторов и уровни их варьирования приведены в табл. 1.

Таблица 1

Значения факторов и уровни их варьирования

Table 1

Factor values and levels of their variation

Структурообразующие факторы	Нижний уровень	Основной уровень	Верхний уровень	Интервал варьирования
П/Н	0,5	0,6	0,7	0,1
α	1,1	1,3	1,5	0,2
$\delta_0 \cdot 10^{-6}$, м	20	70	120	50

В табл. 2 приведены результаты экспериментальных исследований циклической долговечности композиционного материала.

Эксперименты проводились при постоянном для всех образцов значении максимального напряжения цикла, равном пределу выносливости $0,33 R_b$, и коэффициенте асимметрии цикла $\rho = 0,1$.

Таблица 2

Результаты экспериментальных исследований циклической долговечности исследуемого композиционного материала

Table 2

The results of experimental studies of cyclic durability of the studied composite material

Номер состава	П/Н	α	$\delta_0 \cdot 10^{-6}$, м	Количество циклов до разрушения	Циклическая долговечность	$\lg \tau$
1	0,5	1,1	20	60120	1,49	0,173
2	0,7	1,1	20	103090	2,56	0,408
3	0,5	1,5	20	116130	2,89	0,461
4	0,7	1,5	20	55380	1,38	0,139
5	0,5	1,1	120	60180	1,50	0,176
6	0,7	1,1	120	120180	2,99	0,476
7	0,5	1,5	120	115140	2,86	0,456
8	0,7	1,5	120	165240	4,11	0,614
9	–	1,3	70	110520	2,75	0,439
10	–	1,3	70	66180	1,65	0,217
11	0,6	–	70	60720	1,51	0,178
12	0,6	–	70	99180	2,47	0,393
13	0,6	1,3	–	102540	2,55	0,407
14	0,6	1,1	–	58620	1,46	0,164
15	0,7	1,5	120	62760	1,56	0,193

На рис. 1 приведен план второго порядка для трех факторов при исследованиях малоциклового усталости исследуемого композиционного материала. Матрица планирования эксперимента при циклическом нагружении приведена в табл. 3.

На рис. 2 приведена поверхность отклика малоциклового усталости полимерного композиционного материала на основе мономера ФАМ.

В результате обработки результатов планирования эксперимента получено уравнение регрессии:

$$R_{b,pul} = 7,15 - 12,35\Pi/H - 4,2\alpha + 2,5(\Pi/H)\alpha + 7(\Pi/H)^2 + \alpha^2 + 0,000016\delta^2.$$

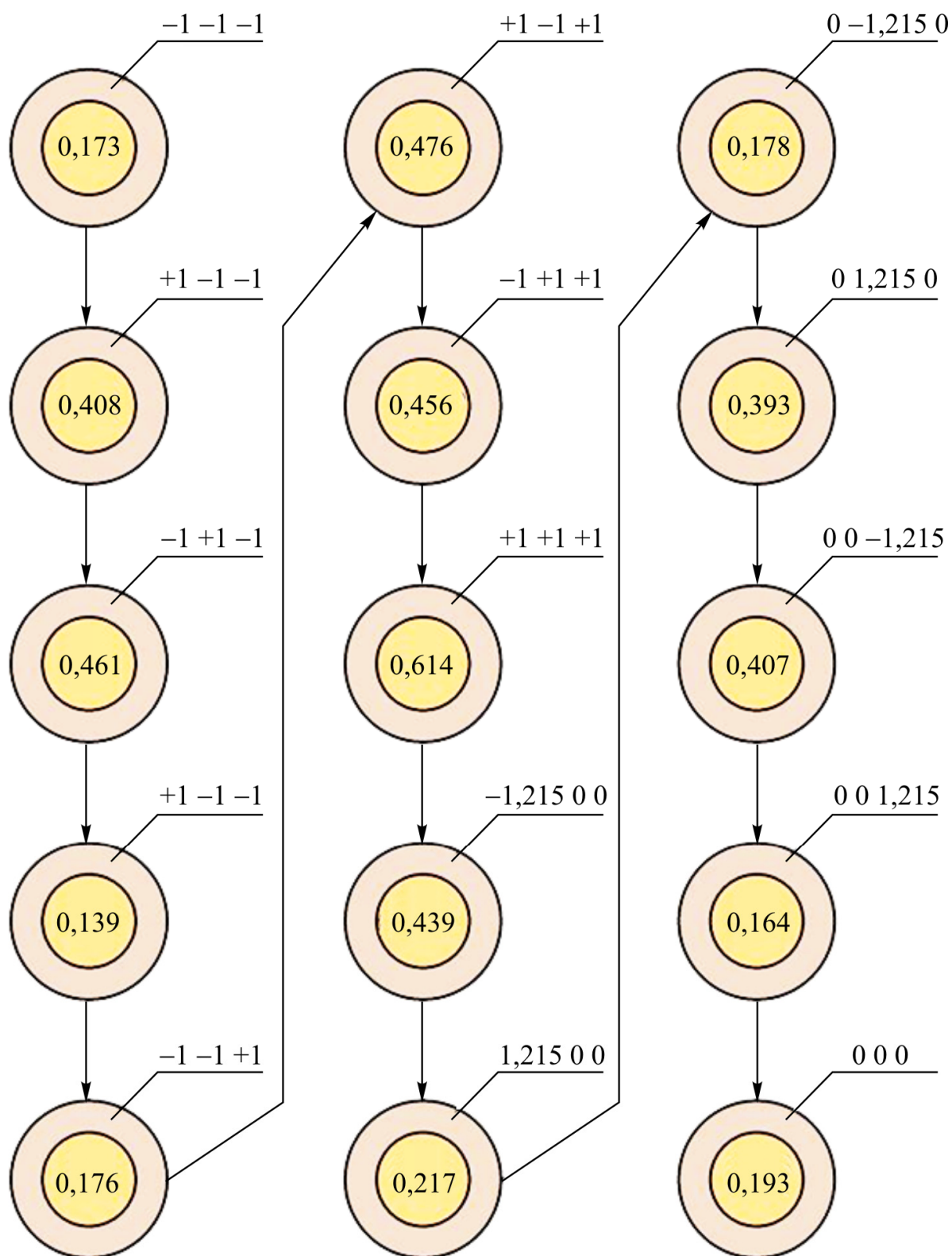


Рис. 1. План второго порядка для трех факторов при исследованиях малоцикловой долговечности композиционного материала на основе смолы ФАМ

Fig. 1. Plan of the second order for three factors in studies of low-cycle durability of a composite material based on resin FAM

Таблица 3

Матрица планирования эксперимента

Table 3

Experiment planning matrix

Номер опыта	X_0	X_1	X_2	X_3	X_1^2	X_2^2	X_3^2	Отклик
1	+1	-1	-1	-1	0,5	1,1	20	0,173
2	+1	+1	-1	-1	0,7	1,1	20	0,408
3	+1	-1	+1	-1	0,5	1,5	20	0,461
4	+1	+1	+1	-1	0,7	1,5	20	0,139
5	+1	-1	-1	+1	0,5	1,1	120	0,176
6	+1	+1	-1	+1	0,7	1,1	120	0,476
7	+1	-1	+1	+1	0,5	1,5	120	0,456
8	+1	+1	+1	+1	0,7	1,5	120	0,614
9	+1	-1,215	0	0	0,4785	1,3	70	0,439
10	+1	+1,215	0	0	0,7215	1,3	70	0,217
11	+1	0	-1,215	0	0,6	0,057	70	0,178
12	+1	0	+1,215	0	0,6	1,543	70	0,393
13	+1	0	0	-1,215	0,6	1,3	11,4	0,407
14	+1	0	0	+1,215	0,6	1,3	128,6	0,164
15	+1	0	0	0	0,6	1,3	70	0,193

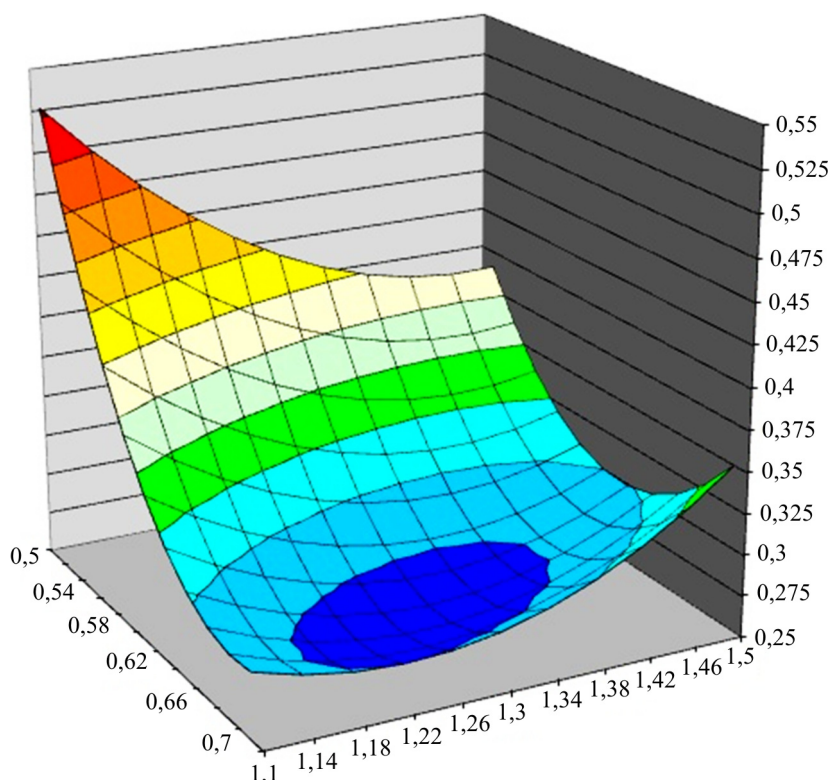


Рис. 2. Поверхность отклика малоциклового усталости полимерного композиционного материала ФАМ

Fig. 2. The response surface of low-cycle fatigue of the polymer composite material FAM

Заключение

Анализируя полученное уравнение, необходимо отметить следующее: толщина полимерного связующего слоя при малоцикловых испытаниях является малозначимым фактором; совместное воздействие отношения полимерной составляющей к наполнителю (П/Н) и коэффициента раздвижки зерен крупного заполнителя (α) на циклическую долговечность является основополагающим фактором.

Библиографический список

1. Бондарев А.Б., Борков П.В., Бондарев Б.А. Ремонт и восстановление элементов конструкций транспортных сооружений с использованием полимерных композиционных материалов // Вестник ВолгГАСУ. Серия: Строительство и архитектура. – 2015. – № 39 (58). – С. 17–25.
2. Бондарев Б.А., Черноусов Р.Н. Малоцикловая усталость полимерных композиционных материалов // Вестник ВолгГАСУ. Серия Строительство и архитектура. – 2013. – № 31. – С. 96–100.
3. Черноусов Р.Н. Малоцикловая усталость сталефиброшлакобетона // Промышленное и гражданское строительство. – 2010. – № 5. – С. 66–67.
4. Бондарев А.Б. Прогнозирование циклической долговечности полимерных композиционных материалов. – Волгоград, 2011. – 180 с.
5. Сапрыкин Р.Ю., Корвяков Ф.Н. Метод структурных диаграмм и виброползучесть полимерных композиционных материалов // Строительные материалы. – 2014. – № 7. – С. 74–77.
6. Бондарев Б.А., Комаров П.В., Борков П.В. Циклическая долговечность полимерных композиционных материалов строительного назначения. – Тамбов, – 2013. – С. 111.
7. Корнеев А.Д., Мелешкин М.Ф., Борков П.В. Долговечность композиционных материалов на основе фурфуролацетонового мономера // Строительные материалы. – 2013. – № 15. – С. 64–65.
8. Бочарников А.С., Гончарова М.А. Герметики на эпоксидной основе с ферромагнитным наполнителем // Строительные материалы. – 2010. – № 1. – С. 66–67.
9. Овчинников И.И. Долговечность железобетонных конструкций транспортных сооружений // Строительные материалы. – 2011. – № 2. – С. 60–62.

References

1. Bondarev A.B., Borkov P.V., Bondarev B.A. Repair and restoration of structural elements of transport structures using polymer composite materials. *Vestnik VolgGASU. Building and Architecture*, 2015, no. 39 (58), pp. 17-25.
2. Bondarev B.A., Chernousov R.N. Low-cycle fatigue of polymeric composite materials. *Vestnik VolgGASU. Construction and architecture*, 2013, no. 31, pp. 96-100.
3. Chernousov R.N. Low-cycle fatigue of steel-fiber concrete. *Industrial and civil engineering*, 2010, no. 5, pp. 66-67.
4. Bondarev A.B. Prediction of cyclic durability of polymer composite materials. Volgograd, 2011, pp. 180.

5. Saprykin R.Y., Korvyakov F.N. The method of structural diagrams and vibrocreep of polymer composite materials. *Construction Materials*, 2014, no. 7, pp. 74-77.
6. Bondarev B.A., Komarov P.V., Borkov P.V. Cyclic durability of polymer composite materials for construction purposes. Tambov, 2013, 111 p.
7. Korneev A.D., Meleshkin M.F., Borkov P.V. The durability of composite materials based on furfurolacetone monomer. *Construction Materials*, 2013, no. 15, pp. 64-65.
8. Bocharnikov A.S., Goncharova M.A. Epoxy base sealants with ferromagnetic filler. *Construction Materials*, 2010, no. 1, pp. 66-67.
9. Ovchinnikov I.I. Durability of reinforced concrete structures of transport constructs. *Construction Materials*, 2011, no. 2, pp. 60-62.