

УДК 629.33

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ЗАМЕНЫ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ ДВИГАТЕЛЯ АВТОМОБИЛЯ НА ДЕТАЛИ ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Павлов Алексей Петрович, канд. техн. наук, доц.,
МАДИ, Россия, 125319, Москва, Ленинградский пр., 64, 89037628407@mail.ru

Фролов Виктор Витальевич, магистрант,
МАДИ, Россия, 125319, Москва, Ленинградский пр., 64, frolov156@gmail.com

Тимофеева Анастасия Георгиевна, магистрант,
МАДИ, Россия, 125319, Москва, Ленинградский пр., 64, timofeevan@rambler.ru

Аннотация. В представленной статье описан опыт обучения российских студентов в университете города Парма, Италия по программе Эрасмус+, которая является международной программой по обмену студентами между европейскими высшими учебными заведениями.

В течение периода обучения российским студентам была начитана материал дисциплины «Mechanics of materials and structural integrity [1]» (русс. Механика материалов и целостность конструкций). Освоено программное обеспечение ABAQUS, позволяющего осуществлять анализ проектируемых конструкций, делать оценку новой функциональности, моделирование технологических процессов. На основании полученных знаний и под руководством технического и преподавательского состава Пармского университета были проведены лабораторные испытания образцов ПКМ на растяжение и сопротивление усталости в условиях лаборатории университета города Парма, Италия. После обработки и анализа полученных результатов были сделаны выводы о возможности применения испытываемых материалов для производства и ремонта деталей и узлов автомобиля, например, для вкладышей коленчатого вала двигателя внутреннего сгорания.

Ключевые слова: анализ конструкций; деформация; лабораторные испытания; механика материалов; напряжение; оценка функциональности; моделирование; ПКМ; программное обеспечение; разрыв; растяжение; сопротивление усталости; технологический процесс; целостность конструкций; abaqus; gom correlate.

ASSESSMENT OF POSSIBILITY OF REPLACING THE METAL PARTS OF THE ENGINE OF THE CAR TO THE PARTS FROM POLYMER COMPOSITION MATERIALS

Pavlov Aleksey P., Ph. D., associate professor,
MADI, 64, Leningradsky Prosp., Moscow, 125319, Russia, 89037628407@mail.ru

Frolov Victor V., undergraduate,
MADI, 64, Leningradsky Prosp., Moscow, 125319, Russia, frolov156@gmail.com,

Timofeeva Anastasia G., undergraduate,
MADI, 64, Leningradsky Prosp., Moscow, 125319, Russia, timofeevan@rambler.ru

Abstract. As part of the study and student exchange program between European institutions of higher education in Parma, Italy, under the Erasmus + program.

During the period of study, the Russian student was the initial material of the discipline “Material Mechanics and Structural Integrity [1]”. The ABAQUS software was mastered, which allows analyzing design structures, evaluating new functionality, and modeling technological processes. Were obtained laboratory tests of samples obtained in the laboratory of the University of Parma, Italy. After processing and analyzing the results, conclusions were drawn about the possibilities of using the tested materials for the production and repair of car parts and components, for example, for inserts of a crankshaft of an internal combustion engine.

Key words: structural analysis; deformation, laboratory tests; materials mechanics; stress; functional evaluation; modeling; PCM; software; rupture; stretching; fatigue resistance; technological process; structural integrity; abaqus; gom correlate.

Введение

Во втором семестре 2017/2018 учебного года Виктор Фролов и Анастасия Тимофеева, студенты магистратуры первого курса университета МАДИ из г. Москва, Россия, проходили обучение по программе обмена «Erasmus +» в Пармском университете.

Так как в МАДИ одним из основополагающих направлений нашей магистерской работы является изучение возможности применения изделий из ПКМ или их использование при ремонте, вышедших из строя деталей, то нам с большим интересом захотелось принять участие в лабораторных испытаниях на базе UNIPR, под руководством профессора Дж. Николетте и с участием двух итальянских студентов Michele Delvo и Michele Zambruni.

Современное автомобилестроение немыслимо без широкого применения полимерных материалов, которые позволяют снизить массу автомобилей, уменьшить трудоемкость их изготовления, материалоемкость, повысить надежность и безопасность, улучшить комфортабельность, повысить их конкурентоспособность. Применение полимерных материалов в автомобилях постоянно возрастает, особенно в развитых промышленных странах у наиболее успешных фирм, выпускающих обычные и специальные автомобили.

В итальянском городе Модена на предприятии Mitsubishi Chemical происходит разработка, создание и внедрение новых полимерных композиционных материалов в машиностроении.

В лабораторном исследовании были проведены испытания [2, 3] на образцах С – SMC (Sheet Molding Compound) – полиэфирный листовой пресс-материал (препрег) в виде листа, который покрывается с двух сторон специальной барьерной пленкой, в состав которой входят: ненасыщенные полиэфирные смолы, наполнители, добавки и стекловолокно. Используется при изготовлении изделий, для которых основными характеристиками являются механическая прочность и высокое качество поверхности.

Целью проводимого исследования являлась оценка физико-механических свойств материала, состоящего из эпоксидной смолы (40%) и карбона (60%).

1. Методическая часть

1.1. Описание испытываемых образцов

На производстве совмещают два материала, очень разных по составу:

1. Эпоксидная смола (*epoxy resin*) – не обладающая, сильными физико-механическими свойствами. Эпоксидные смолы – группа термореактивных полимеров, обладающих чрезвычайно полезными механическими и электрическими свойствами: устойчивостью, клейкостью, теплостойкостью, химической стойкостью, диэлектрической прочностью. Наиболее ценным свойством эпоксидных смол является их способность быстро превращаться из жидкого (термопластичного) состояния в твердое. Это происходит под воздействием катализатора, благодаря которому смолы быстро твердеют.

2. Карбон (*carbon*) – его функцией является упрочнение свойств композита. Карбон (*carbon*) – это прочный и легкий композитный материал, получаемый путем переплетения тонких нитей графита и резины. Ориентированные под индивидуальным углом нити затем скрепляются эпоксидными смолами формируются в листы. Продукт относится к разряду так называемых композитных материалов, к классу углепластиков, который объединяет в себе несколько тысяч разных рецептур. Все эти материалы имеют одну особенность – основой их наполнения являются углеродные (графитные) частицы, волокна и чешуйки.

По прочности карбон превосходит сталь (чёрный металлопрокат) в 12,5 раз. Когда мы говорим «карбон», то вспоминаем, конечно, капоты тюнинг-каров. Сейчас нет ни одной кузовной детали, которая не была бы сделана из карбона. Из него изготавливают не только капоты, но и крылья, бампера, двери и крыши. Факт экономии веса очевиден. Средний выигрыш в весе при замене капота на карбоновый составляет 8 кг. Впрочем, для многих главным будет тот факт, что карбоновые детали практически на любой машине выглядят очень стильно.

Процентное соотношение этих материалов составляет 40% – эпоксидная смола, и 60% карбон.

Испытуемые образцы были изготовлены методом прессования, в соответствии с требованиями ГОСТа [4].

Прессование заключается в пластической деформации материала при одновременном воздействии на него тепла и давления и в последующей фиксации формы изделия. Происходит процесс, как правило, в пресс-формах. Помещенный в пресс-форму холодный или предварительно подогретый материал разогревается до температуры прессования и, под давлением заполняет полость пресс-формы и одновременно уплотняется. Фиксация формы изделия происходит

в результате отверждения реактопластов или охлаждения термопластов, либо охлаждения под давлением до температуры ниже температуры стеклования полимера (для термопластов).

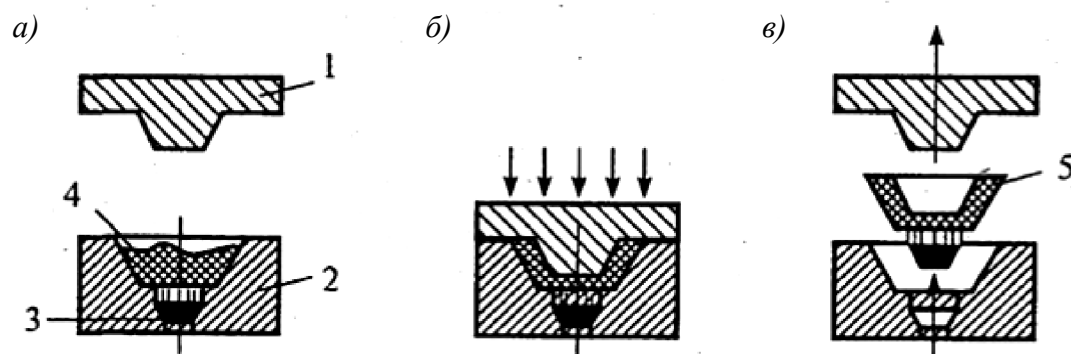


Рис. 1. Схема изготовления изделий прессованием: а – загрузка шихты в пресс-форму; б – прессование; в – извлечение изделия; 1 – пунсон; 2 – матрица; 3 – выталкиватель; 4 – пресс-материал; 5 – готовое изделие

2. Экспериментальная часть

Эксперимент проходил на базе университета города Пармы и лабораторном оборудовании, состоящем из 3 мониторов, разрывной машины фотокамеры, оснащенной специальным осветительным прибором установленной на штативе.

Образцы подвергались испытанию на растяжение, чтобы проследить динамику изменения относительного удлинения материала, из которого были изготовлены образцы. Идентичный метод испытания используется в России соответствии с государственным стандартом.

ГОСТ 14236-81 «Метод основан на одноосном растяжении испытуемого образца установленных размеров с определенной скоростью деформирования вплоть до его разрушения» [5].

Для испытания использовался образец в форме лопатки, условно (чертой) разделенный на 5 секций и с зазубренными краями для сохранения наиболее стойкого положения в зажимах разрывной машины, с параметрами, представленными на рисунке 2 в мм.

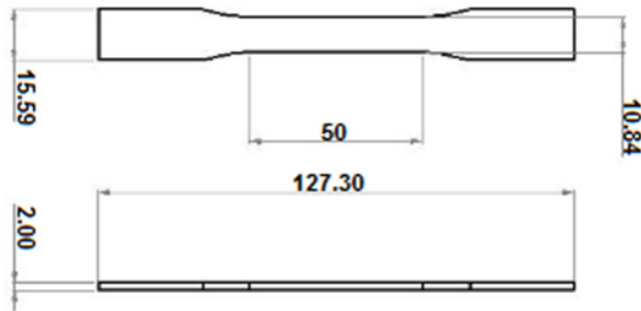


Рис. 2. Размеры испытываемых образцов в мм

Перед тем как установить образцы в зажимы оборудования, их обработали красящим спреем для того, чтобы результат испытания был лучше виден на фото в момент деформации. Испытания проводили на лабораторной машине для испытания на растяжение, представленной на рисунке 3, при температуре (22 ± 2) С и относительной влажности $(55 \pm 5)\%$, при скорости деформирования образца 0.01 мм/с до полного разрушения.



Рис. 3. Лабораторное оборудование на базе университета UNIPR

Отсюда следует что сила, прикладываемая к образцу во время испытания, не является постоянной, но непрерывно изменяется от начала до конца испытания. В частности, изменения силы становятся все более сильнее из-за того, что происходит процесс деформации с получением возрастающего напряжения, и поэтому сила увеличивается.

И второй экспериментальный метод был направлен на исследование усталости образца.

ГОСТ 25.602-80 «Расчеты и испытания на прочность. Методы механических испытаний композиционных материалов с полимерной матрицей (композитов). Метод испытания на сжатие при нормальной, повышенной и пониженной температурах» [6].

Метод определения поведения материалов при воздействии переменных нагрузок. Определенная средняя нагрузка (которая может быть равна 0) и альтернативная нагрузка прикладываются к образцу, регистрируется число циклов, необходимое для начала разрушения образца (выносливость). Обычно испытание повторяют с идентичными образцами и разными переменными нагрузками. Нагрузки можно прилагать вдоль оси, при вращении или изгибе. В зависимости от амплитуды средней или циклической нагрузки результирующее напряжение может действовать в одном направлении или может его изменить на обратное.

3. Результаты

В данном эксперименте на растяжение, можно проследить периодически и поэтапно деформацию образца до полного разрушения [7].

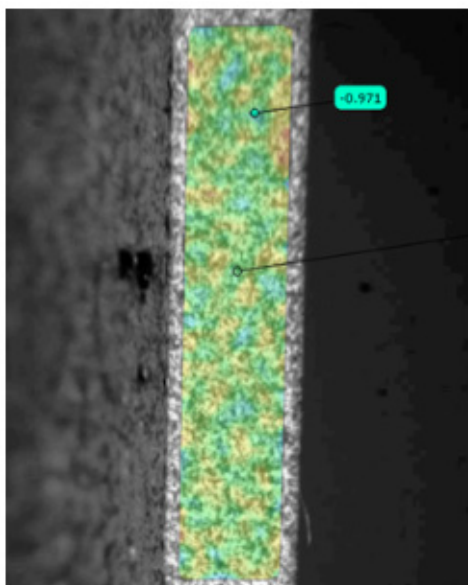


Рис. 4. Начало испытания

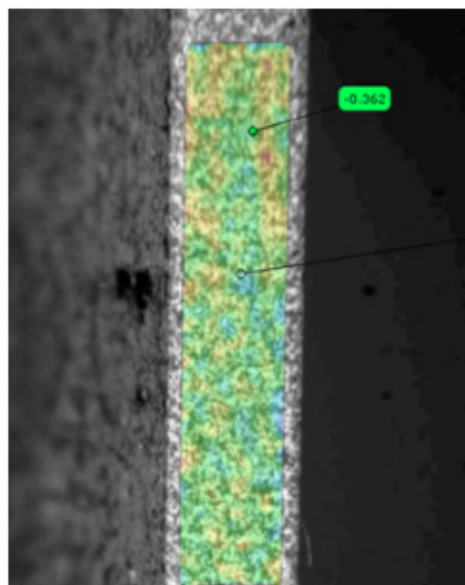


Рис. 5. Середина испытания

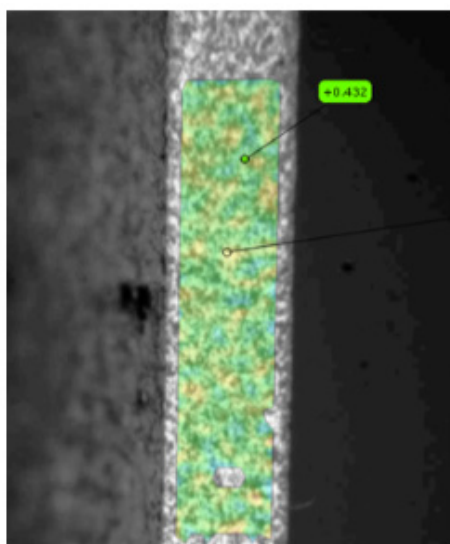
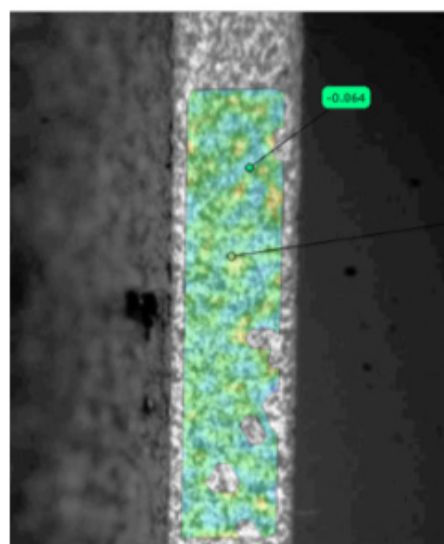


Рис. 6. Начальное разрушение образца



*Рис. 7. Полное разрушение образца.
Окончание испытания*

На рисунках 8, 9 и 10 представлены графики с показаниями амплитудного движения напряжений в динамике циклов.

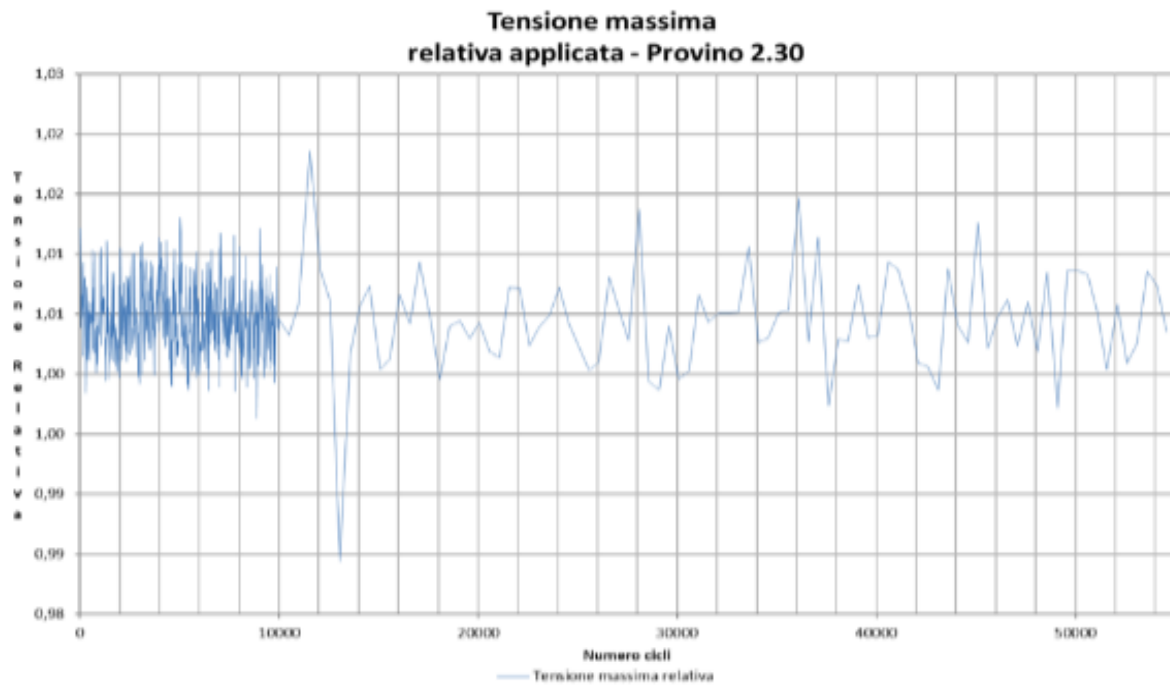


Рис. 8. Относительное максимальное напряжение

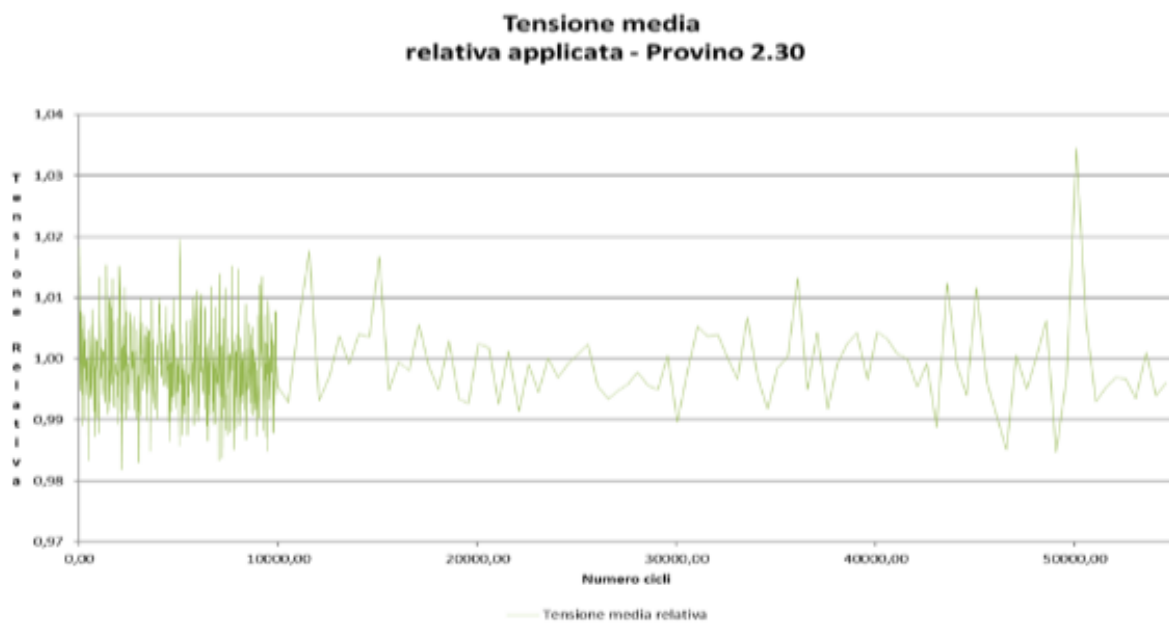


Рис. 9. Относительное среднее напряжение

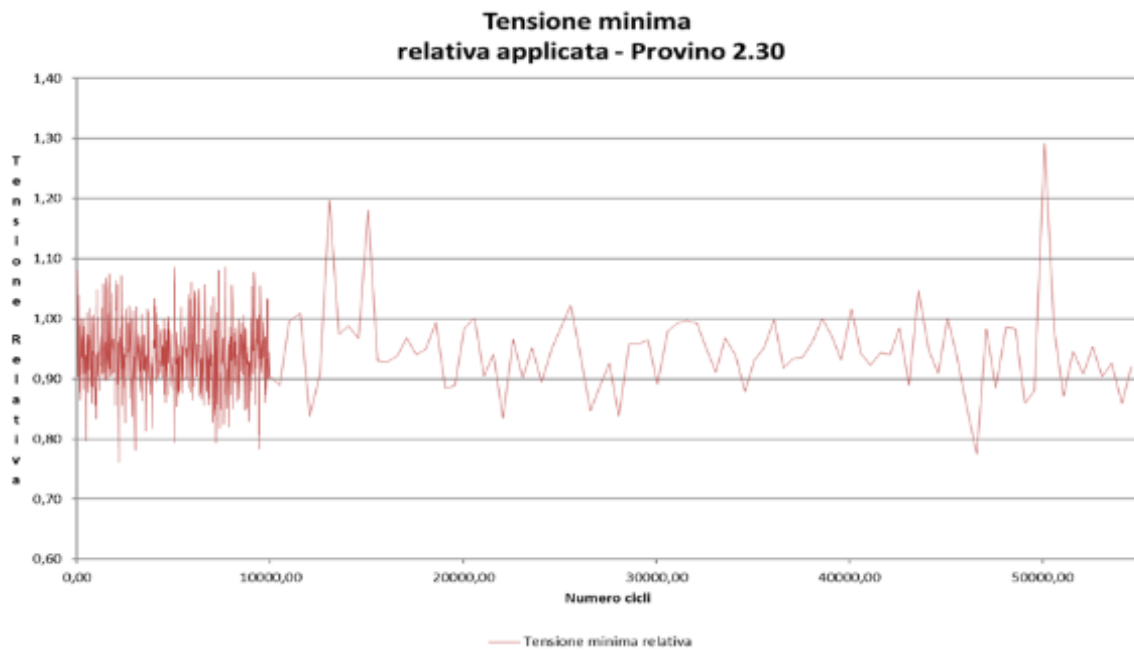


Рис. 10. Относительное максимальное напряжение

На рисунке 11 представлен график относительной ширины амплитудного цикла с заданным временным промежутком усилия и динамика частоты циклов.

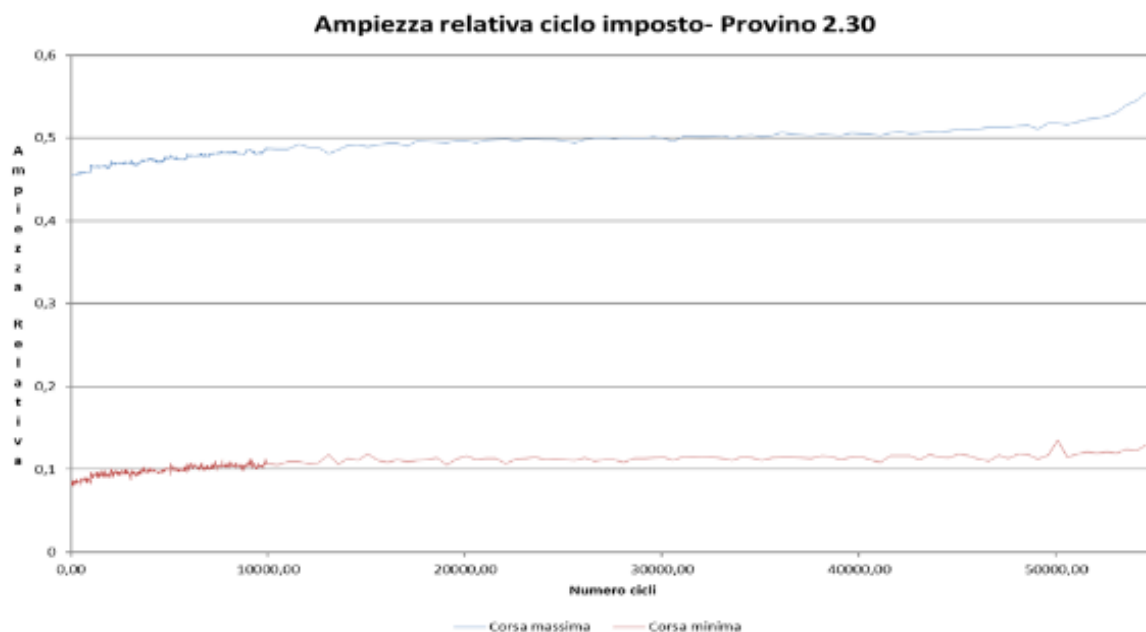


Рис. 11. Относительная ширина амплитудного цикла

На следующих изображениях представлены фотографии образцов после проведения физико-механических испытаний.



Рис. 12. Образец после испытания на растяжение

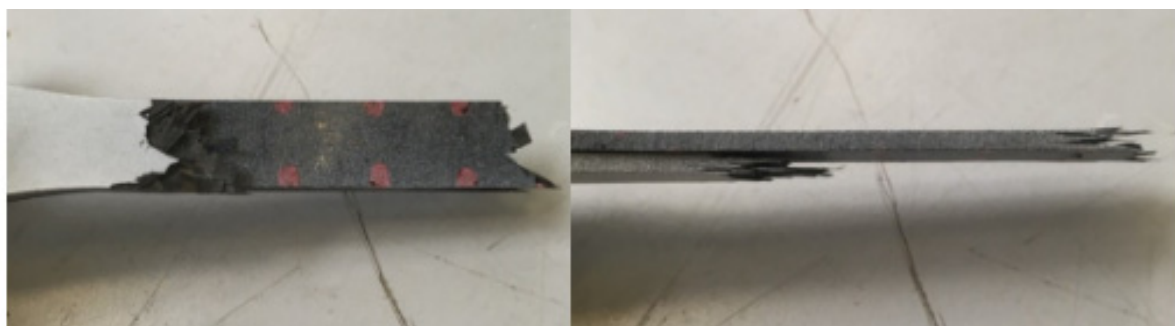


Рис. 13. Образец после испытания на усталость

Выводы

В начальном временном отрезке испытания на растяжение, как видно на рис. 4, значимых деформаций не наблюдается до середины испытания. В третьей четверти эксперимента образец начинает деформироваться с увеличением силы, это прослеживается на рис. 6, и уже в конце испытания образец разрушается полностью (рис. 7).

В испытании на усталость при разных нагрузках (низких и высоких) прослеживается относительное амплитудное движение напряжений в зависимости от времени и циклов.

Исходя из этих данных, приведенных в анализе, и данных, соотнесенных в таблице Excel (файл (рис. 14) вставлен частично из-за критически огромного размера – 560 строк данных Excel), можно говорить

о ширине амплитудного цикла испытываемого образца и определить максимальное (200 МПа), среднее (109 МПа) и минимальное (18 МПа) напряжения.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1											
2	Data	43151,00	Prova N.	SMC 2_18							
3											
4	Data	Ora	Cicli	Max Corsa 10 mm [mm]	Min Corsa 10 mm [mm]	Max Forza 25 [kN]	Min Forza 25 [kN]	Tensione massima [MPa]	Tensione minima [MPa]	Ampiezza del ciclo [Mpa]	Tensione media
5	43151,00	10.51.20	20,00	0,6015	0,1804	4,463	0,4327	199,50	19,34	90,08	109,42
6	43151,00	10.51.22	40,00	0,6018	0,1827	4,4487	0,4355	198,86	20,34	89,26	109,60
7	43151,00	10.51.24	60,00	0,6015	0,1849	4,4555	0,4452	199,17	19,90	89,63	109,53
8	43151,00	10.51.26	80,00	0,6025	0,1839	4,4584	0,441	199,30	19,71	89,79	109,51
9	43151,00	10.51.28	100,00	0,6017	0,1828	4,4478	0,4314	198,82	19,28	89,77	109,05
10	43151,00	10.51.30	120,00	0,6025	0,1825	4,4567	0,4333	199,22	19,37	89,93	109,30
11	43151,00	10.51.32	140,00	0,6031	0,1848	4,4382	0,4264	198,39	19,06	89,67	108,73
12	43151,00	10.51.34	160,00	0,6026	0,1829	4,462	0,4372	199,46	19,54	89,96	109,50
13	43151,00	10.51.36	180,00	0,6037	0,1847	4,4375	0,4101	198,36	18,33	90,02	108,35
14	43151,00	10.51.38	200,00	0,6045	0,1853	4,439	0,4231	198,43	18,91	89,76	108,67
15	43151,00	10.51.40	220,00	0,604	0,1839	4,4315	0,422	198,09	18,86	89,62	108,48
16	43151,00	10.51.42	240,00	0,6037	0,1854	4,4333	0,4295	198,18	19,20	89,49	108,69
17	43151,00	10.51.44	260,00	0,605	0,1838	4,4504	0,3941	198,94	17,62	90,66	108,28
18	43151,00	10.51.46	280,00	0,6054	0,1862	4,4283	0,4181	197,95	18,69	89,63	108,32
19	43151,00	10.51.48	300,00	0,6053	0,1842	4,4514	0,4075	198,98	18,22	90,38	108,60
20	43151,00	10.51.50	320,00	0,6044	0,1864	4,4448	0,4223	198,69	18,88	89,91	108,78
21	43151,00	10.51.52	340,00	0,6047	0,1836	4,4511	0,4098	198,97	18,32	90,33	108,64
22	43151,00	10.51.54	360,00	0,6055	0,186	4,435	0,4172	198,25	18,65	89,80	108,45
23	43151,00	10.51.56	380,00	0,6058	0,1863	4,4418	0,4465	198,56	19,96	89,30	109,26

Рис. 14. Фрагмент импортированных табличных данных

Полученные экспериментальные результаты позволили установить физико-механические характеристики испытываемого материала, тем самым подтвердив его соответствие требованиям, предъявляемым к деталям, изготавливаемым из него. Например, вкладыши коленчатых валов ДВС.

Список литературы

1. Kokcharov, I. Structural Integrity Analysis / I. Kokcharov, A. Burov. – Amazon Digital Services LLC, 2013. – 438 p.
2. Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials; Designation: D 3039/D 3039M – 00, 2012. – 51 p.
3. Defect and damage analysis of advanced discontinuous carbon/epoxy composite materials / P. Feraboli, T. Cleveland, M. Ciccu, P. Stickler, L. DeOto. – 2010. – 15 p.
4. ГОСТ 33367-2015. Композиты полимерные. Производство пластин прямым прессованием препрегов и премиксов для изготовления образцов для испытаний. – М.: Изд-во стандартов, 2017 – 14 с.
5. Stochastic laminate analogy for simulating the variability in modulus of discontinuous composite materials / P. Feraboli, T. Cleveland, P. Stickler, J. Halpin. – 2010. – 14 p.
6. ГОСТ 14236-81. Метод испытания на растяжение. – М.: Гос. ком. по стандартам, 1981. – 17 с.
7. ГОСТ 25.602-80. Расчеты и испытания на прочность. – М.: Изд-во стандартов, 1980. – 15 с.

References

1. Kokcharov I., Burov A. Structural Integrity Analysis, Amazon Digital Services LLC, 2013, 438 p.
2. Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials; Designation: D 3039/D 3039M – 00, 2012, 51 p.
3. Feraboli P., Cleveland T., Ciccu M., Stickler P., DeOto L. Defect and damage analysis of advanced discontinuous carbon/epoxy composite materials, 2010, 15 p.
4. Kompozity polimernye. Proizvodstvo plastin pryamym pressovaniem prepregov i premiksov dlya izgotovleniya obrazcov dlya ispytaniy, GOST 33367-2015 (Polymer composites. Production of plates by direct pressing of prepregs and premixes for production of samples for tests, State Standard 33367-2015), Moscow, Izdatel'stvo standartov, 2017, 14 p.
5. Feraboli P., Cleveland T., Ciccu M., Stickler P., Halpin J. Stochastic laminate analogy for simulating the variability in modulus of discontinuous composite materials, 2010, 14 p.
6. Metod ispytaniya na rastyazhenie, GOST 14236-81 (Tensile test method, State Standard 14236), Moscow, Gosudarstvennyj komitet po standartam, 1981, 17 p.
7. Raschety i ispytaniya na prochnost', GOST 25.602-80 (Calculations and strength tests, State Standard 25.602-80), Moscow, Izdatel'stvo standartov, 1981, 15 p.