

УДК 620.179.1

Личман Е. А., Потапов А. М., Романюк М. Ф., Хомченко М. В.

Государственное предприятие «Конструкторское бюро «Южное» им. М. К. Янгеля».
Украина, г. Днепр

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДА РЕНТГЕНОВСКОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТОМОГРАФИИ (РВТ) ДЛЯ КОНТРОЛЯ СПЛОШНОСТИ ДЕТАЛЕЙ ИЗ УГЛЕРОД-УГЛЕРОДНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ (УУКМ) ПРИ ПОМОЩИ ТОМОГРАФА ФИРМЫ TOSHIBA

Изложены результаты отработки метода РВТ для контроля сплошности деталей из УУКМ при помощи настроечного образца с заложенными имитаторами дефектов. Приведены томограммы контроля. Приведены результаты контроля сплошности пяти штатных деталей методом РВТ. Приведены основные технические характеристики, используемого томографа.

Ключевые слова: сплошность материала; размеры дефектов; метод рентгеновской вычислительной томографии; толщина среза; углерод-углеродный композиционный материал; артефакты.

Введение

Детали из УУКМ при эксплуатации работают в жестких температурных (рабочая температура более 3000°C), прочностных условиях, при сильном эрозионном воздействии. На способность узлов выдерживать нагрузки влияет наличие либо отсутствие дефектов (нарушений сплошности материала), а именно наличие трещин, металлических включений, газовых включений.

Постановка задачи

Объектом контроля являются детали из углерод-углеродного композиционного материала (УУКМ) ортогональной 3D структуры на основе углеродного волокна (18–25%) и пироуглеродной матрицы (75–82%).

Укрупненная технология изготовления деталей из УУКМ:

- изготовление вручную на специальном приспособлении углеродной преформы путем плетения

двумерного каркаса из углеродной нити по осям X, Y с последующей прошивкой его той же нитью в третьем направлении армирования (по оси Z);

- насыщение преформы пироуглеродом из газовой фазы;
- механической обработки углерод-углеродной заготовки по чертежу детали.

Для получения качественных деталей из УУКМ важно проводить контроль как на начальном этапе изготовления (изготовление преформ), так и на завершающем – после механической обработки заготовки.

При изготовлении преформ могут возникнуть следующие дефекты:

- металлические включения (фрагменты спиц);
- газовые включения диаметром более 7 мм (пропуск 2-х нитей в одном из направлений).

Наличие металлических включений и газовых включений диаметром 9 мм и более, негативно влияют на качество получения пироуглеродной матрицы, ее структуру, а соответственно на прочность и эрозионную стойкость композита.

При контроле сплошности преформ и деталей из УУКМ можно в принципе применить два метода неразрушающего контроля:

- ультразвуковой (УЗ) ручной контактный теневой метод НК на низких частотах (50–200 кГц);
- радиационные методы НК (радиографический и метод РВТ).

При контроле конечной детали дополнительно к возможным дефектам преформ не допускаются трещины (всех видов и направлений) и отсутствие пироуглеродной матрицы.

УЗ контроль невозможно применить из-за необходимости применения контактной жидкости (техническое масло) для ввода УЗ колебаний.



Рис. 1. Общий вид томографа

Радиографический метод НК (с регистрацией прошедшего через деталь рентгеновского излучения на пленку) не подходит из-за невозможности обнаруживать трещины всех направлений.

Для контроля сплошности преформ и конечных деталей из УУКМ наиболее целесообразно применить метод РВТ.

Для контроля сплошности деталей из УУКМ использовался рентгеновский вычислительный томограф (общий вид представлен на рисунке 1) модели TST-101. Изготовленный в 2001 году (в 2016 году была заменена рентгеновская трубка) фирмой Toshiba Medical Systems.

Прибор имеет одну рентгеновскую трубку и 4 детектора (приемника рентгеновского излучения).

В томографе реализован метод спиральной реконструкции изображения. Метод заключается в одновременном выполнении двух действий: непрерывного вращения источника – рентгеновской трубки, генерирующей излучение, вокруг детали из

Таблица 1

Основные технические характеристики томографа TSX-101A

№ п/п	Наименование параметра	Величина
1	Номинальная мощность рентгеновского излучения на выходе, кВт	60
2	Толщины среза, мм	0,5;1;2;3;4;6;8
3	Напряжение непрерывного рентгеновского излучения (с погрешностью +_3%), кВ	80,100,120,135
4	Ток рентгеновской трубки (с погрешностью +_5%), мА	От 10 до 500
5	Время сканирования, с	0,5;0,75;1,0;1,5;2;3
6	Погрешность измерения геометрических размеров, не хуже, мкм	+_350
7	Диаметр рабочей части апертуры, мм	500

УУКМ, и непрерывного поступательного движения стола с деталью вдоль продольной оси сканирования Z через апертуру томографа. В этом случае траектория движения рентгеновской трубки относительно оси Z – направления движения стола с деталью, примет форму спирали.

Основные технические характеристики приведены в таблице 1.

Результаты

Для отработки методики контроля и выбора режимов просвечивания был изготовлен настроечный образец из УУКМ с заложенными имитаторами дефектов (цилиндрическое газовое включение диаметром 7 мм и металлическое включение диаметром 1,7 мм). Обзорные панорамные снимки настроечного образца показаны на рисунках 2, 3.



Рис. 2. Панорамный снимок настроечного образца

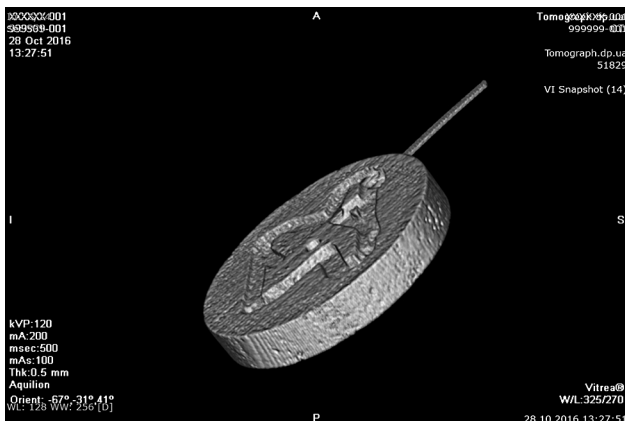


Рис. 3. Панорамный снимок настроечного образца

Выбраны оптимальные режимы просвечивания, обеспечивающие выявление заложенных имитаторов дефектов.

Оптимальные режимы просвечивания составляют:

- ток рентгеновской трубки – 200 мА;

- время сканирования – 0,5 с;
- напряжение на трубке – 120 кВ;
- толщина среза – 0,5 мм.

На рисунках 4, 5 показаны томограммы металлического включения. Измерены диаметры металлического включения. Они составляют величину 2,8 и 2,9 мм, при номинальном диаметре 1,7 мм.

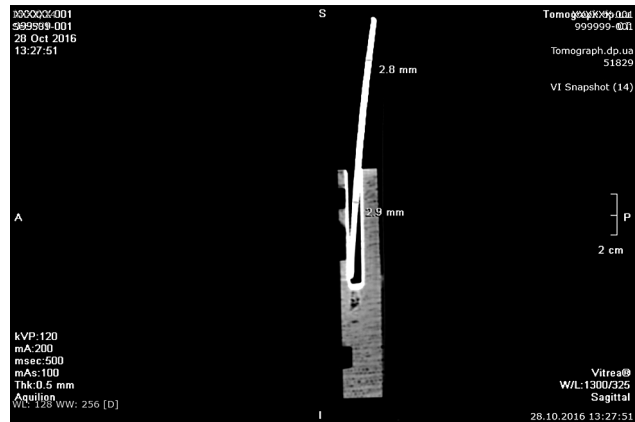


Рис. 4. Томограмма металлического включения

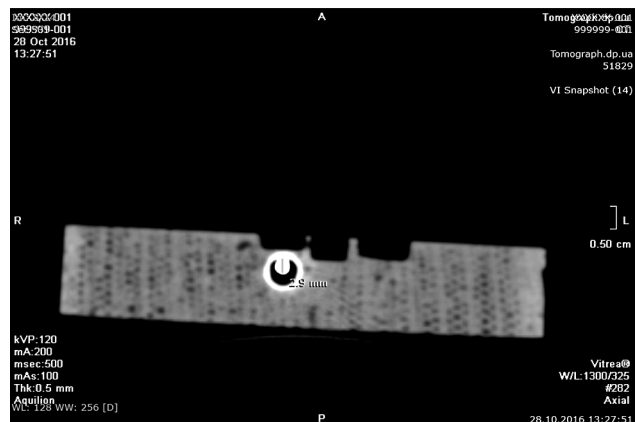


Рис. 5. Томограмма металлического включения

Такое несовпадение объясняется наличием артефактов (ложных изображений).

Такое явление появляется при томографировании узлов, имеющих в своем составе материалы с большой разницей плотностей.

На рисунке 6 показано томографическое изображение детали с газовым включением. На томограмме измерены диаметры газового включения (6,3 и 6,6 мм), при номинальном диаметре 7 мм.

Проведет томографический контроль сплошности пяти деталей из УУКМ. Обзорный вид деталей и их томографические изображения указаны на рисунках 7, 8, 9, 10, 11.

В результате томографического контроля пяти деталей дефектов (металлических включений, газовых включений диаметром более 7 мм, трещин) не выявлено.

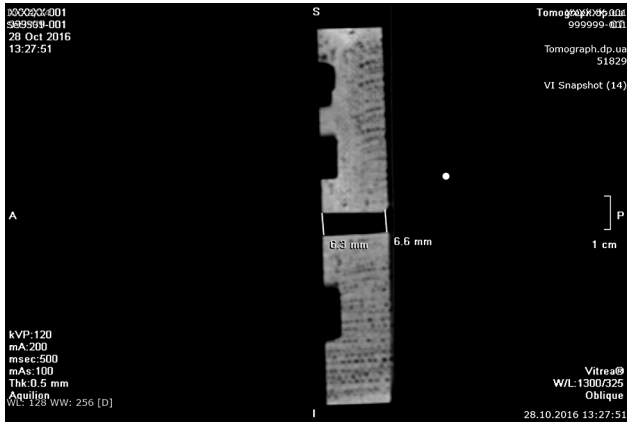


Рис. 6. Томограмма газового включения

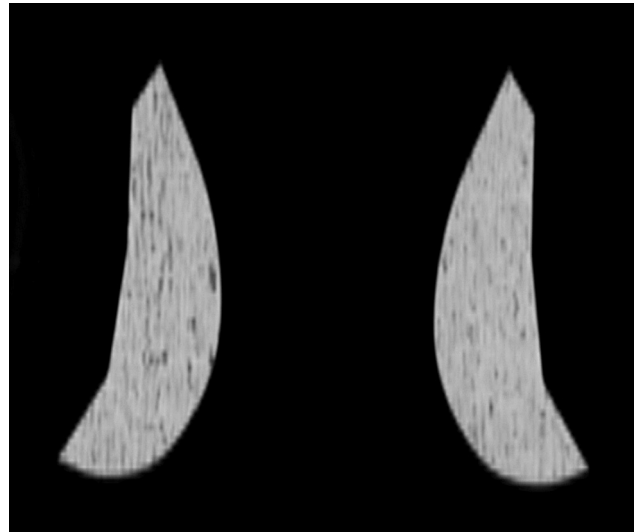


Рис. 9. Томограмма детали

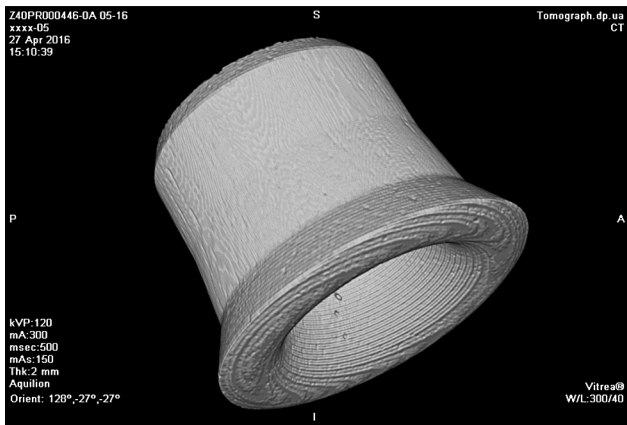


Рис. 7. Обзорный вид детали

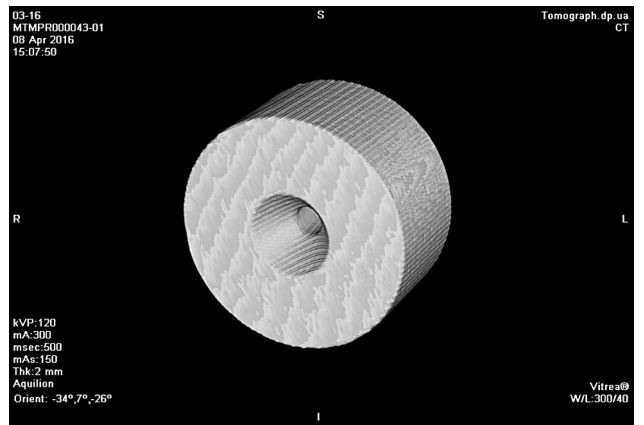


Рис. 10. Обзорный вид детали



Рис. 8. Томограмма детали

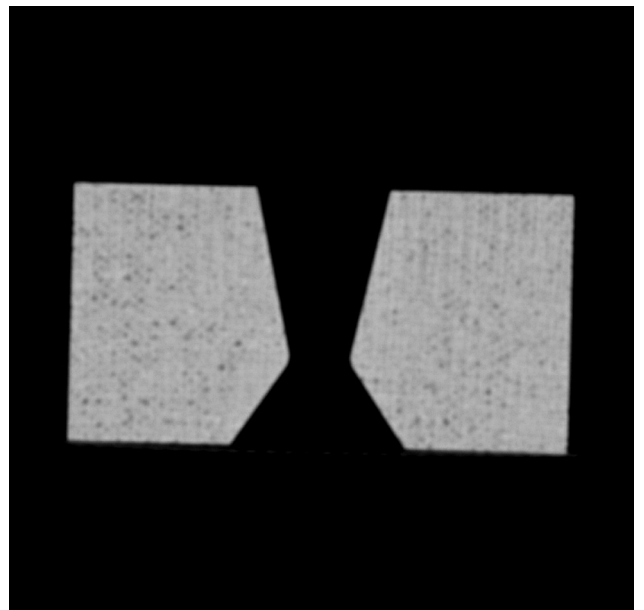


Рис. 11. Томограмма детали

Выводы

Отработана методика томографического контроля сплошности (выбраны режимы просвечивания) деталей из УУКМ.

Литература

- [1] Клюев В. В. Неразрушающий контроль и диагностика / В. В. Клюев, Ф. Р. Соснин, В. Н. Филинов и др.; Под ред. В. В. Клюева // Машиностроение. – 1995. – С. 448.

Lichman E. A., Potapov A. M., Romanyuk M. F., Khomchenko M. V.

Yuzhnoye State-owned Design Office named after M. K. Yangel. Ukraine, Dnepr

EXPERIENCE OF APPLICATION X-RAY COMPUTED TOMOGRAPHY (XCT) METHOD FOR CONTINUITY CONTROL OF CARBON-CARBON COMPOSITE MATERIAL (CCCM) DETAILS WITH THE HELP OF TOSHIBA'S TOMOGRAPHIC SCANNER

The results of processing XCT method for continuity control of CCCM details with the help of tuning sample with built-in simulator of defects were developed. The tomograms of control were reported. The results of continuity control of five optional details with the help of XCT method were reported. Basic technical specifications of used tomographic scanner were reported.

Keywords: continuity of material; dimensions of defects; X-ray computed tomography method; thickness of cut; carbon-carbon composite material; artefacts.

References

- [1] V. V. Klyuyev. Nondestructive testing and diagnostics / V. V. Klyuyev, F. R. Sosnin, V. N. Ows, etc. ; Ed. V. V. Klyuyev // Engineering. – 1995. – P. 448.