

Опыт производства непрерывных текстилепригодных SiC-нитей и SiC-SiC-материалов в АО «Композит»

Тимофеев П.А., Тимофеев А.Н.
АО «Композит», Королев

В настоящей работе собран накопленный в АО «Композит» опыт разработки и производства керамических карбидокремниевых бескерновых волокон и керамоматричных материалов типа SiC-SiC на их основе. Представлены основные подходы, описан текущий уровень свойств и опыт переработки SiC-нитей. Обсуждаются вопросы интерфазных покрытий и способов формирования керамической SiC-матрицы.

Experience of manufacturing of silicon carbide fiber and SiC-SiC- materials at JSC “Kompozit”

P.A. Timofeev, A.N. Timofeev
JSC “Kompozit”, Korolev, Russia

At present article we have a discussion about experience on manufacturing of silicon carbide non-core fiber and SiC-SiC materials based on it. There are a main methods of production SiC-fibers demonstrated. Also discussion about interface layers and methods of producing SiC-matrix.

1. Введение

Общая тенденция развития двигателестроения сводится к повышению производительности, снижению объемов вредных выбросов, экономии топлива и прочим улучшениям технических характеристик. Решением представленных задач могут быть либо

улучшение конструкции (модернизация) двигательных установок (ДУ), либо замена деталей и узлов, ограничивающих текущую эффективность имеющихся ДУ. В настоящей работе предпринята попытка оценить возможность, перспективность и применимость новых материалов в части материаловедческих изысканий последних лет.

Двигательным установкам авиационной техники характерны достаточно специфические требования. Так, помимо традиционных для всех материалов высокой прочности, низкой плотности, стойкости к атмосферным факторам различных климатических зон и т.д., для авиационных двигателей характерны требования по чрезвычайно высокому ресурсу, стойкости к вибрационным и знакопеременным нагрузкам, стойкости к достаточно высоким температурам в окислительных средах [1]. В частности, лопатки турбин газотурбинных двигателей из керамоматричных композитов на треть легче и выдерживают температуру на 200°C выше, чем аналогичные детали из металлов [2].

Преимущества перехода от металлов к неметаллическим композитам достаточно весомые, чтобы заниматься чрезвычайно сложной и трудоемкой операцией разработки как рецептур и методов изготовления непосредственно композитов, так и переработкой конструкций текущих изделий на применение новых материалов. Как известно, за окислительную стойкость подобных двух- и более компонентных материалов отвечает в основном матрица. В соответствии с этим может возникнуть сомнение в необходимости разработки новых для России керамических SiC-волокон и необходимость направить усилия на улучшение матричных рецептур для использования композиций углеродное волокно – керамическая матрица. Однако такой подход к построению планов не является верным в силу требований к ресурсу и, самое главное, безопасности эксплуатации газотурбинных двигателей гражданского назначения. Причиной этому является склонность к окислению углерода (углеродного волокна) при температуре выше 600°C. При этом керамические SiC-волокна способны сохранять свои свойства в окислительных средах в течение тысяч часов при температуре, в отдельных случаях, до 1400°C.

2. Основная часть

За последние четыре года в АО «Композит» пройден достаточно внушительный путь по созданию как технологий получения самих SiC-нитей, так и композиционных материалов SiC-SiC на их основе. В частности, решены вопросы переработки исходного сырья, поликарбосилана, в полимерные нити, отработаны стадии перевода нити из плавкого в неплавкое состояние, термообработки и замасливания. Как известно, одним из критических требований к керамическим волокнам, определяющим температуру их эксплуатации, жесткость и ресурс является отсутствие (<1%) кислорода в их структуре. Такие

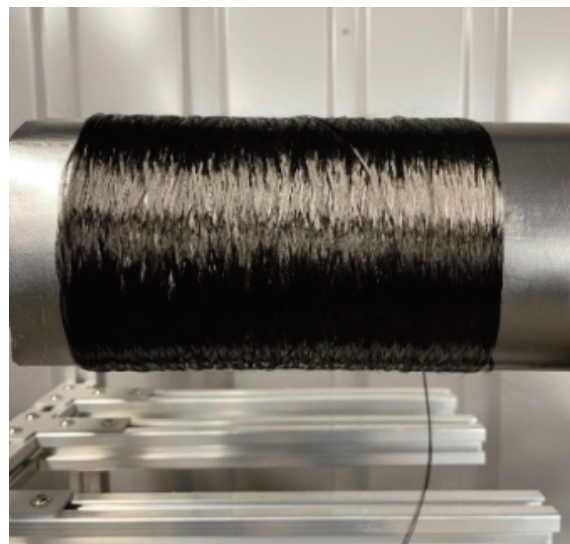


Рис. 1. Нить на катушке

показатели достигаются в мире двумя путями: применением специальных модификаторов исходного сырья (волокна производства компании Ube industries марки Tуггапо) либо облучением несшитых волокон ускоренными электронами (волокна Hi-Nicalon компании Nippon Carbon/NGS) [3]. По ряду причин в АО «Композит» выбран путь получения бескислородных волокон методом облучения несшитых волокон ионизирующим излучением.

Промежуточным результатом исследований можно считать организацию лабораторного производства керамического волокна по схеме «поликарбосилан (ПКС) – ПКС-волокно, облученное (сшитое) ПКС-волокно – керамическое SiC-волокно». На текущий момент удалось достигнуть следующих характеристик: количество филаментов в нити до 750 (получаются путем сложения нитей, состоящих из 150 или 250 филаментов), предел прочности при растяжении монофиламента до 1,8 ГПа, содержание кислорода до 5%, возможность текстильной переработки, возможность получения отрезков нитей длиной до 50 м (рис. 1).

На сегодняшний день организовано производство как самих нитей, так и 2D-тканей на их основе (рис. 2).

Специально разработанное и изготовленное ткацкое оборудование позволяет перерабатывать керамическую жесткую и, соответственно, хрупкую нить в текстильную форму. Параметры ткани на сегодняшний день: ширина 200 мм, поверхностная плотность 700...750 г/м². При этом снижение прочностных характеристик нитей в процессе переработки не превышает 10%, что является достаточно высоким показателем для керамических материалов.

Из образцов тканей на основе керамических нитей



Рис. 2. Процесс изготовления SiC-ткани

были изготовлены образцы керамоматричных SiC-SiC материалов по схеме «волокно – текстильная преформа – интерфаза нитрида бора – матрица карбида кремния». Благодаря накопленному опыту, формирование интерфазного покрытия нитрида бора происходит в объеме заготовки на каждом волокне с высокой степенью равномерности (перепад толщины покрытия для преформы толщиной 5 мм не более 10% от поверхности в глубину). После ряда исследований целевым показателем толщины интерфазного слоя в зависимости от задач выбран диапазон 100...400 нм. Формирование карбидокремниевой матрицы в рамках данной работы проводилось из газовой фазы с применением достаточно известной технологии пиролиза газового прекурсора (CVI).

После получения конечного продукта – высокоплотных образцов SiC-SiC были проведены испытания на стойкость к термоциклическим нагрузкам двух типов: $20 \leftrightarrow 1200^\circ\text{C}$ и $20 \leftrightarrow 1400^\circ\text{C}$. В испытаниях многократно повторялась следующая схема: нагрев испытываемых образцов газовой горелкой в воздушной атмосфере до заданной

температуры, отвод горелки с соответствующим остыванием образцов до комнатной температуры. При испытаниях до 1200°C образцы так и не были доведены до разрушения, а испытания остановлены при достижении 10 000 циклов. При этом испытания с предельной температурой на поверхности образцов 1400°C привели к разрушению образцов после 3000 циклов. Судя по всему, наличие 4...5% кислорода в структуре волокна приводит к преждевременному разрушению образцов при столь высоких температурах.

3. Заключение

В заключении стоит отметить чрезвычайную важность проводимых исследований не только для авиационной, но и для атомной и ракетно-космической отраслей промышленности. Разработка высококачественных образцов материалов типа SiC-SiC откроет широкие возможности для модернизации передовых изделий науки и техники в указанных отраслях. Текущий уровень развития технологий позволяет начинать проектирование новых типов конструкций особо ответственных узлов, например ГТД из предлагаемых материалов, а одновременно с разработкой улучшенных версий указанных изделий свойства волокон и конечных материалов на их основе за ближайшие 2...3 года должны достигнуть мировых аналогов.

Список использованных источников

- [1] Steibel J. Ceramic matrix composites taking flight at GE Aviation // American Ceramic Society Bulletin. 2019. Vol. 98, no. 3. P. 30–33.
- [2] Michio Takeda. Silicon carbide fiber and its application to ceramic matrix composites. 2018. (Ceramics expo, May 1st, 2018).
- [3] H. Ichikawa, T. Ishikawa. Silicon carbide fibers (Organometallic Pyrolysis) // Comprehensive Composite Materials II. 2018. Vol. 1. P. 127–166.