

масла, подаваемый в течение цикла на слив, и тем самым дозируется масло, свободно проходящее через дроссель Др2 и обеспечивающее процесс врезания инструмента в заготовку в направлении основной подачи с необходимой амплитудой. Регулирование дросселем Др2 скорости обратного движения масла позволяет изменять траекторию движения резца навстречу основной подачи. Управление обоими дросселями дает возможность приблизить траекторию колебательного движения резца к теоретической и установить необходимую амплитуду при использовании различных кулачков.

УДК 621.763

Дробыш А.А., Петюшик Е.Е., Прохоров О.А.
**КАРКАСЫ ИЗ УГЛЕРОДНОГО ВОЛОКНА
В ОБРАЗЦАХ УГЛЕРОД-УГЛЕРОДНОГО
КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА**

БНТУ, г. Минск

Технический прогресс обуславливает необходимость, как разработки новых композиционных материалов, так и модернизации уже существующих. Углеродные композиционные материалы (УКМ) получают на основе непрерывного волокна и порошка. Материалы на основе порошков углерода изготавливают традиционными методами порошковой металлургии. В основе формообразования УКМ из непрерывного (дискретного) волокна лежат операции намотки волокна на стержнях или укладки волокон на направляющие стержни.

Высокая стоимость УКМ и их широкое применение в авиации и технике специального назначения привели к тому, что существующие в настоящее время технологии изготовления УКМ практически не раскрыты в открытых публикациях.

Первый способ применяют при получении изделий в форме тел вращения. Он отличается относительно хорошей технологичностью и простотой. Второй же способ подразумевает

комплекс иных как подготовительных, так и формообразующих операций. К подготовительным операциям можно отнести операцию изготовления углеродных стержней, трафаретов и т.д. Формообразование заготовок осуществляют укладкой (плетением) нитей, стержней на сборочных столах по трафаретам. Наибольшее распространение получила укладка по трафаретам, обеспечивающим гексагональную, квадратную симметрию нитей. Такая симметрия позволяет получать образцы с относительно высокими структурными и каркасными характеристиками при приемлемом уровне сложности операции плетения (укладки).

В связи с вышеизложенным, весьма актуальной является исследование процессов и разработка отечественной технологии получения УКМ.

В общем виде технология изготовления УКМ включает формирование пористого каркаса (преформы) из углеродных волокон со связующим, пропитку графитирующимися компонентами (фенольными и фурфуроловыми смолами, пеками), пиролиз и графитацию матричного материала.

Было исследовано 2 основных типа образцов: со стержневым армированием, с армированием нитью на направляющих стержнях: для изготовления стержней использовали графитированную углеродную нить Урал Н-70 («ПО «Химволокно»). Диаметр нити 0,25 мм, прочность на разрыв $\sigma_0 = 1,2-1,5$ ГПа, модуль упругости $E = 60$ ГПа, плотность волокна $\rho_f = 1,4-1,5$ г/см³, диаметр единичного волокна 6 – 10 мкм.

Углеродная нить с трех катушек подается в узел скручивания, где, после пропитки связующим, скручивается в нить большего диаметра. Затем проходит через трубчатую печь, в которой при температуре ~ 200 °С происходит отверждение связующего. После этого стержень подается на разделочный стол для разрезки на мерные фрагменты. Как вращение устройства для скручивания, так и перемещение тяги осуществляется за счет одного привода с соответствующим передаточным числом. Для получения

стержней использовали упрощенную схему. В качестве связующего использовали раствор 40 г пульвербакелита в 60 мл спирта. После скручивания нить сохла под натяжением в течение суток. Отверждение связующего проводили простым поджигом натянутой нити. В результате быстрого горения происходило отверждение связующего внутри нити без ее разрушения. Затем длинные стержни (диаметром $\sim 0,75$ мм) разрезались на фрагменты длиной 30 и 40 мм. На части стержней наблюдались наплывы смолы, которые удаляли механически.

Сборку осуществляли на сборочных столиках, представляющих собой деревянную подставку, на которую наклеивали лист картона толщиной 2 мм. В картоне через трафарет пробивали отверстия для стержней диаметром ~ 1 мм. Трафарет представлял собой квадрат со стороной 30 мм и расстоянием между центрами отверстий 3 мм. Перед укладкой стержни окунали в то же связующее, что и при их изготовлении.

Вначале в отверстия трафарета устанавливали вертикальные стержни, затем между вертикальными укладывали 2 слоя горизонтальных стержней под углом 90° друг к другу. Дальнейшую сборку (плетение) осуществляли таким образом, чтобы каждый последующий слой армирующих элементов был повернут относительно предыдущего на 45° .

Для изготовления стержневого каркаса использовали только стержни. При изготовлении плетеного каркаса, после укладки двух нижних рядов из стержней, дальнейший набор высоты осуществляли плетением исходной нити Урал Н-70 на гребенках (рис. 2, а). После завершения плетения два верхних слоя плетеного каркаса набирали также из стержней (рис. 2, б).

После окончания сборки образцы сушили на воздухе в течение не менее суток, а затем отделяли от столиков. Отверждение связующего проводили на воздухе в печи Naber по режиму: нагрев до 200°C 100 минут, выдержка 60 минут. Фотографии образцов представлены на рисунке 3.

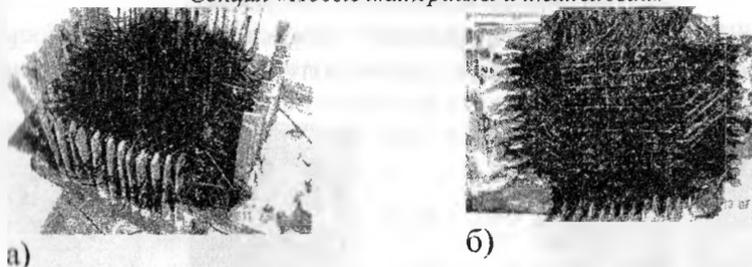
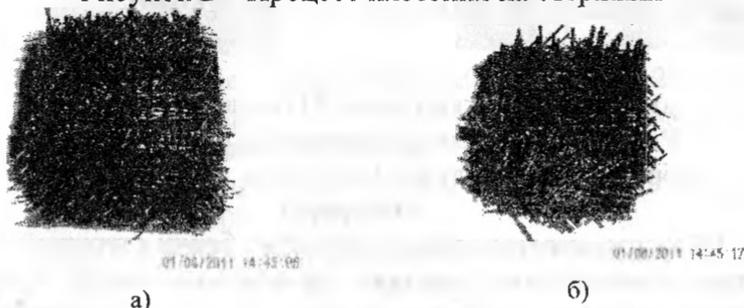


Рисунок 2 – Процесс плетения на стержнях



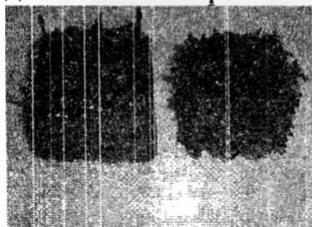
а) образец получен плетением, б) получен сборкой стержней
Рисунок 3 – Образцы каркасов после отверждения связующего

Для оценки способности полученных каркасов сохранять свою первоначальную форму при последующей пропитке матричным материалом и карбонизации образцы помещали в расплав высокотемпературного каменноугольного пека (температура расплава 236 °С) и пропитывали в течение 6 часов. Наплывы пека удаляли абразивным инструментом. Фотографии образцов представлены на рисунке 4 а.

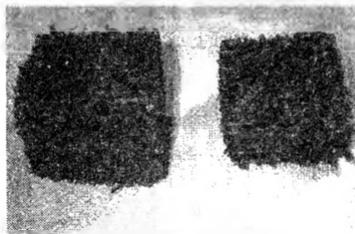
Затем образцы помещали в графитовую лодочку и отжигали в вакууме при максимальной температуре 1300 °С. Корку, образовавшуюся на поверхности образцов после карбонизации матричного материала, удаляли абразивным инструментом. Фотографии образцов представлены на рисунке 4 б.

Таким образом, несмотря на двукратное воздействие на каркас расплава пека: первое – при пропитке, второе – при расплавлении пека в процессе нагрева при карбонизации,

каких-либо видимых деформаций каркаса не наблюдалось, что свидетельствует о пригодности полученных образцов для дальнейшей обработки.



а)



б)

а) после пропитки пеком, б) после карбонизации
Рисунок 4 – Образцы каркасов после пропитки и
(образец слева получен плетением, справа – сборкой
стержней)

Образцы, изготовленные методом сборки стержней, вследствие относительно больших промежутков между армирующими стержнями набрали за цикл пропитки незначительное количество матричного материала. Матричный материал не удерживался силами поверхностного напряжения и вытекал из образца в процессе извлечения каркаса из расплава пека. Уменьшение же расстояния между армирующими стержнями приводило к существенному усложнению процесса сборки, накоплению структурных дефектов, вызванных неизбежными ошибками при укладке стержней в горизонтальной плоскости. Образцы, полученные плетением нити на стержнях, характеризуются удовлетворительной пропиткой.

Визуальный анализ структуры образцов показал, что расплав пека практически не проникал во внутреннее поровое пространство стержней (нитей). Это может быть объяснено, во-первых, склонностью к формированию пористости закрытого типа при нагреве бакелитовой связки, во-вторых, недостаточной смачиваемостью поверхности графитового волокна расплавом пека. В процессе пропитки при нормальном давлении расплав пека не в состоянии проникнуть в поры

(размером ~ 5–10 мкм) между волокнами нитей. Решение вышеуказанной проблемы может быть достигнуто применением связок, удаляемых в газовую фазу в процессе термической обработки (например, на основе поливинилового спирта), а также пропитки под давлением.

ЛИТЕРАТУРА

1. Roberts, T. The carbon fiber industry: Global strategic market evaluation 2006 – 2010 / T. Roberts. – Materials Technology Publications, 2006. – 295 p.

2. Global and China Carbon Fiber Industry Report, 2009-2010 [Электронный ресурс]. – <http://www.researchinchina.com/Uploads/ArticleFreePartPath/20100819143948.pdf>.

3. Morgan, P. Carbon fibers and their composites / P. Morgan. – Taylor & Francis, 2005. – 1131 p.

4. Chand, S. Carbon fibers for composites / S. Chand // J. Mater. Sci. – 2000. – Vol. 35. – P. 1303-1313.

5. Ильющенко, А.Ф. Краткий обзор современных методов получения углерод-углеродных композиционных материалов / А.Ф. Ильющенко, Е.Е. Петюшик, О.А. Прохоров, А.А. Дробыш // Сб. Порошковая металлургия (Минск). – 2010. – Вып. 33. – С. 127-135.

УДК 621

Дробыш А.А., Азаров С.М.,

Пастушенко Е.И., Балыдко Д.Н.

СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЕ ДИСПЕРСНЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ ГРАНИТА

БНТУ, г. Минск

Разработка и освоение современной высокопроизводительной технологии производству пористых изделий на основе гранита требует изучения физико-химических свойств, структурообразования дисперсных систем на их основе (шликера