

Актуальные проблемы физики твердого тела: сборник докладов Международной научной конференции. В 3 томах. / Научно-практический центр НАН Беларуси по материаловедению. – Минск, 2011. – Т. 3. – С. 200 – 202.

УДК 376

Прохоров О.А., Дробыш А.А.

ПЛОТНОСТЬ ОБРАЗЦОВ УГЛЕРОД-УГЛЕРОДНОГО КОМПОЗИТА

БНТУ, г. Минск

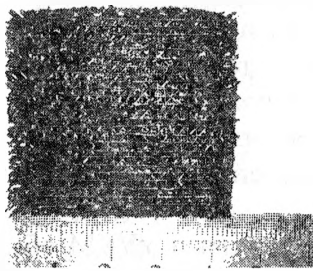
Углерод-углеродные композиционные материалы (УУКМ) благодаря своим уникальным свойствам (тугоплавкости, химической и радиационной стойкости, высокой удельной прочности) применяются обычно в тех областях техники, где невозможно использование традиционных материалов.

В общем виде УУКМ состоят из углеродных волокон и матрицы, полученной карбонизацией (графитацией) углерод-содержащих прекурсоров.

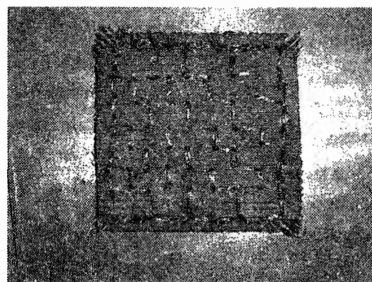
Объемная доля углеродного волокна в УУКМ обычно составляет 25 – 50 %. Это связано как с относительно высокой стоимостью углеродного волокна, так и с возможностями технологии переработки [1, 2]. Поэтому существенная доля плотности композита приходится на углеродную матрицу, расположенную между армирующими волокнами.

При изготовлении преформ на основе углеродного волокна обычно требуется применение вспомогательных связующих, которые препятствуют деформации каркаса при пропитке, а затем полностью либо частично удаляются в газовую фазу при пиролизе. Целью настоящей работы является исследование влияния состава связующих на основе поливинилового спирта и бакелитовых смол на изменение плотности образцов УУКМ в процессах пропитки / карбонизации. Задача повышения плотности материала может быть решена введением в пористый каркас на основе углеродного волокна порошкового графита.

Заготовки изготавливали послойной намоткой на гребенке углеродной нити Урал Н-70 с прочностью на разрыв 1,2–1,5 ГПа, модулем упругости 60 ГПа и плотностью волокна $\rho_f = 1,4\text{--}1,5 \text{ г/см}^3$. Каждый слой состоял из 25 нитей, расположенных друг от друга на расстоянии $\sim 1,5 \text{ мм}$. Каждый последующий слой был развернут на 45 градусов относительно предыдущего. В процессе плетения нить проходила через дозатор, в котором на нее наносилось связующее. Каждый образец состоял из 21 слоя нитей. Затем заготовки прошивали той же нитью насквозь (каждый стежок проходил через 3 нити) и обрезали. Таким образом, получали заготовки со стороной $\sim 45 \text{ мм}$ и высотой $\sim 5 \text{ мм}$ (рисунок 1 а).



а) образец со связующим «ПВС»



б) образец, пропитанный суспензией «СГП»

Рисунок 1 – Внешний вид заготовок

Для повышения начальной плотности часть образцов в процессе намотки пропитывали суспензией, полученной смешиванием 7,5 % поливинилового спирта (ПВС) со смесью порошков 90 % графита ГК-1 и 10 % молотого высокотемпературного каменноугольного пека, просеянного через сито с ячейкой 71 мкм. Массовая доля твердого наполнителя в суспензии составила 30 %. Полученные заготовки сушили на воздухе при температуре 180 °С в течение 1 часа. Внешний вид заготовки типа «СГП» показан на рисунке 1 б.

Карбонизацию пековой матрицы проводили в графитовом контейнере под засыпкой из графитовой крупки.

Циклы пропитки / пиролиза проводили многократно. После каждой стадии обработки часть образцов отбирали для определения плотности и открытой пористости. Номера циклов обработки обозначали следующим образом: «0» – заготовки после сушки, «1» – после пропитки пеком, «2» – после пиролиза, «3» – после повторной пропитки пеком и т.д.

При проведении пиролиза в вакууме установлено, что выделение газообразных продуктов пиролиза из исследуемых образцов прекращается уже через 20 минут изотермической выдержки при температуре 1080 °С. При дальнейшем повышении температуры увеличения давления в камере печи, свидетельствующего о продолжении процесса пиролиза, не наблюдалось.

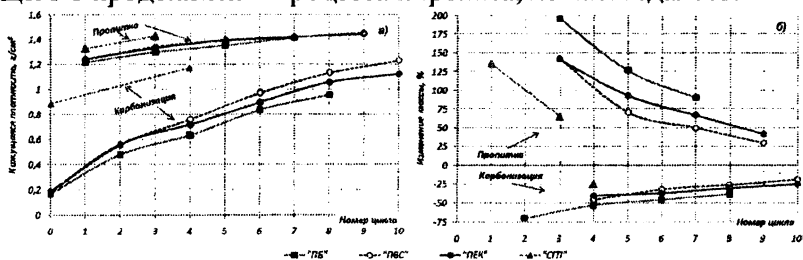


Рисунок 2 – Изменение кажущейся плотности и потери массы

На рисунке 2 а показано изменение кажущейся плотности образцов с различными связующими в процессе циклов пропитки / карбонизации. Все указанные зависимости носят логарифмический характер, т.е. для всех составов наблюдалось уменьшение прироста кажущейся плотности по мере заполнения порового пространства связующим. Кажущиеся плотности образцов со связующими «ПВС», «ПЕК» и «ПБ» различались незначительно. Небольшое снижение кажущейся плотности для состава «ПЕК», в сравнении с составом «ПВС» объясняется, по-видимому, тем, что еще в процессе плетения, за счет наличия в связующем порошка пека, на нить наносится большее количество поливинилового спирта. Впоследствии, при сушке, пленка поливинилового спирта, имеет более

развитую поверхность, что определяет более развитую поверхность пор в слое матричного материала, формирующихся при выгорании временного связующего. Уже при повторной пропитке пек хуже пропитывает этот слой, следовательно, уменьшая набор плотности образцов в ходе последующих циклов пропитки / карбонизации.

Подобная ситуация характерна и для образцов со связующим «ПЕК». При отверждении бакелита формируются поры закрытого типа, препятствующие пропитке образцов пекком. При последующем пиролизе часть пор остаются закрытыми. Увеличение плотности далее происходит так же, как и для образцов со связующим «ПВС», но, вследствие более низкой начальной плотности, кривая увеличения плотности идет ниже.

Пропитка образцов при плетении суспензией «СГП» позволила увеличить кажущуюся плотность заготовки от 0,2 до 0,9 г/см³ за счет заполнения полостей между нитями. Уже на четвертом цикле обработки таких образцов была достигнута кажущаяся плотность ~1,2 г/см³, характерная для образцов без суспензии на десятом цикле.

Указанные закономерности отражены также на графике изменения массы образцов, характеризующем набор массы при пропитке пекком и соответствующую потерю массы при карбонизации пекковой матрицы (рисунок 2 б).

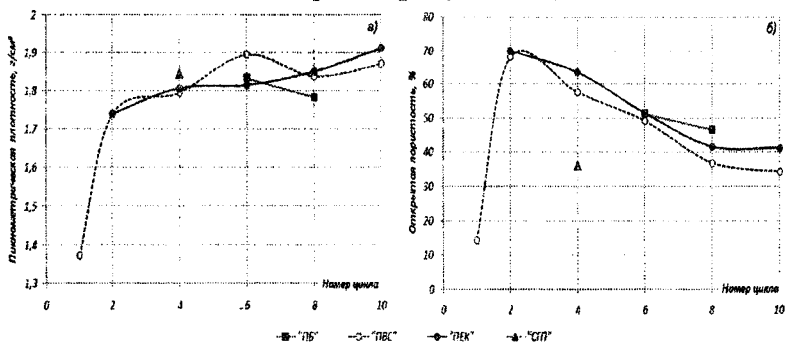


Рисунок 3 – Изменение пикнометрической плотности и открытой пористости

Каких-либо существенных изменений пикнометрической плотности и пористости образцов при увеличении, как температуры нагрева, так и времени изотермической выдержки обнаружено не было. Увеличение пикнометрической плотности образцов (рисунок 3а), по-видимому, обусловлено осаждением из газовой фазы в микро- и мезопоры материала продуктов разложения пека.

Изменение открытой пористости (рисунок 3 б) обусловлено с одной стороны наращиванием на волокнах матричного материала на основе карбонизированного пека, с другой – небольшим уплотнением матричного материала за счет пересадения газообразных продуктов пиролиза пека.

Для образцов, пропитанных суспензией «СГП» уровень открытой пористости существенно ниже, что хорошо коррелирует с данными о кажущейся плотности таких образцов.

Технология жидкофазной пропитки заготовок пеком не является оптимальной. Потери массы при пиролизе матриц на основе каменноугольного пека составляют ~40 % [2]. Поэтому даже при идеальной пропитке, когда расплав заполняет все поровое пространство, для достижения плотности ~2,0 г/см³ необходимо не менее 12 циклов обработки. Пропитка суспензией, содержащей порошок графита, позволяет повысить начальную плотность заготовок, но при последующих циклах пропитки/карбонизации влияние начальной плотности на повышение плотности постепенно нивелируется (рисунок 4).

Таким образом, можно сформулировать основные принципы повышения плотности УУКМ в ходе пропитки/карбонизации каркасов на основе углеродной нити. Во-первых, первый цикл пропитки пеком является определяющим и поровая структура, сформировавшаяся в образцах в процессе первого цикла пиролиза пека, оказывает существенное влияние на изменение плотности в процессе последующих циклов пропитки/карбонизации. Количество связующего при плетении каркаса должно быть минимальным. Связующее необходимо подбирать таким образом,

чтобы в образце не образовывались поры закрытого типа, как в случае использования бакелитовой смолы. Формирование вблизи поверхности углеродного волокна пленок с развитой микропористой структурой, плохо пропитываемой расплавом пека, является нежелательным.

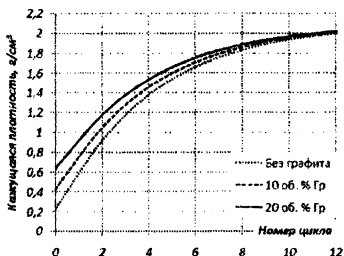


Рисунок 4 – Расчет изменения кажущейся плотности образцов после пиролиза

Для улучшения пропитки каркаса рекомендуется применять средне- и низкотемпературные пеки, характеризующиеся относительно низкой вязкостью расплава. Для снижения пористости заготовки, пропитанные пеком в вакууме, могут дополнительно обрабатываться методами горячего прессования или пресс-инfiltrации.

Введение в состав связующего 20% порошка каменноугольного пека приводит к снижению кажущейся плотности заготовок как за счет большего количества связующего, остающегося на волокне после плетения и сушки каркаса, так и, по-видимому, за счет формирования на поверхности волокна в процессе первой карбонизации тонкой микропористой пленки, плохо пропитываемой расплавом пека.

Эффективным способом повышения плотности УУКМ является пропитка волоконного каркаса суспензией порошкового графита. Обнаружено увеличение пикнометрической плотности образцов на 6–9 % за 10 циклов обработки. Это явление, по-видимому, обусловлено осаждением продуктов разложения пека из газовой фазы в микро- и мезопоры материала.

ЛИТЕРАТУРА

1. Справочник по композиционным материалам / под ред. Дж. Любина. – М.: Машиностроение, 1988. – 448 с.
2. Carbon-Carbon Materials and Composites / J.D. Buckley & D.D. Edie eds. – Noyes Publications (USA), 1993. – 281 p.
3. Morgan, P. Carbon fibers and their composites / P. Morgan. – Taylor & Francis, 2005. – 1131 p.
4. Lundgren, M. Wetting of Water and Water/Ethanol Droplets on a Non-Polar Surface: A Molecular Dynamics Study / M. Lundgren, N.L. Allan, T. Cosgrove, N. George // Langmuir. – 2002. – Vol. 18, No.26. – P. 10462–10466.

УДК 621.9

Федорцев В.А.

ОСОБЕННОСТИ КОМБИНИРОВАННОГО РОТАЦИОННОГО ИНСТРУМЕНТА С ДАТЧИКОМ ДИАГНОСТИКИ ЕГО РАБОТЫ

БНТУ, г. Минск

Контроль виброустойчивости всех режущих инструментов в практике металлообработки осуществляется путем регистрации параметров вибрации, которая возникает в процессе их работы. Для диагностики таких инструментов обычно ограничиваются измерением одного или нескольких параметров вибраций, а именно: частота колебаний, амплитуда, ускорение и др.

Особенно важно производить такую акустическую диагностику для комбинированного ротационного инструмента, который обеспечивает высокопроизводительное и экономичное получение шероховатостей поверхности в пределах $Ra = 2,5-0,63$ мкм. Поэтому основной задачей, которая должна решаться при создании таких инструментов, является обеспечение безвибрационных (устойчивых) режимов обработки деталей,