

стик малого веса и высокой прочности большой интерес представляет композиционный материал на основе алюминиевой матрицы, армированной углеродными волокнами.

Такой материал «алюминий – углеродное волокно» можно получить различными методами, основными из которых являются различные виды пропитки, метод непрерывного литья и метод прессования. Однако все они имеют те или иные недостатки, главные из которых: 1) плохая смачиваемость углеродного волокна алюминием, что требует применения специального технологического приема - предварительного нанесения покрытия на волокна (например, никелевого или медного), 2) значительное повышение температуры расплава свыше 1000°C. Однако, в последнем случае из-за длительного взаимодействия расплава с волокнами возможно образование карбидов кремния, что также снижает качество взаимодействия волокно-матрица. В связи с этим актуальной является задача разработки новых методов, лишенных вышеуказанных недостатков.

В данном докладе рассмотрен разрабатываемый авторами метод получения КМ, при котором предполагается использовать магнитно-импульсное воздействие на расплав, а также рассмотрены эффекты динамической пропитки углеродной ткани алюминиевым расплавом.

Суть предложенного технического решения состоит в метании расплава на углеродную ткань. Расплав заливают в тигель, который устанавливается на индуктор. В

момент разряда батареи конденсаторов под действием магнитного поля расплав метается на углеродную ткань, натянутую на специальную оправку. За счет высокой скорости взаимодействия расплава с волокнами ткани происходит более полное затекание алюминия в межволоконное пространство, т.е. интенсификация процесса пропитки. Также способ был опробован для получения многослойного образца КМ. На данный способ оформлены заявочные материалы на получение патента.

В поисковом эксперименте использовалась углеродная ткань ЛУ-П/0,2А и силумин АЛ4. Была спроектирована и изготовлена экспериментальная оснастка.

После проведения экспериментов были получены образцы, в которых алюминий не только заполнил межволоконные промежутки, но и пропитал углеродную ткань насквозь. Таким образом, полученные образцы свидетельствуют о реальности предложенного метода с точки зрения пропитки углеродной ткани.

В результате проведенной работы можно сделать выводы:

1. Предложенный способ изготовления КМ реален.

2. Улучшилась смачиваемость углеродных волокон расплавом по сравнению с существующими методами.

3. Условия взаимодействия расплава с волокнами снижают вероятность появления карбидов, т.к. время взаимодействия очень мало и температура не превышает 750°.

УДК 004.021.

## **РЕШЕНИЕ СЕТОЧНЫХ УРАВНЕНИЙ НА ГРАФИЧЕСКИХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВАХ. МЕТОД ПИРАМИД.**

Кочуров А.В.<sup>1</sup>, Головашкин Д. Л.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Самарский государственный аэрокосмический университет

<sup>2</sup>Институт систем обработки изображений РАН

Решение дифференциальных уравнений, сопровождающееся наложением сеточной области, широко применяется для

компьютерного моделирования разнообразных явлений в физике, химии, экономике и других отраслях.

В последние годы повышение производительности новых моделей центральных процессоров (CPU) достигается в основном путем увеличения числа ядер и добавления новых векторных расширений (SIMD) при малом росте частоты. Однако наиболее распространенная сегодня архитектура x86 обладает рядом особенностей, усложняющих масштабирование: длинный конвейер (вплоть до 31 уровня в некоторых ядрах Pentium 4), наличие кэша размером в несколько мегабайт (призванного компенсировать большой разрыв в производительности ОЗУ и CPU) и обширный набор инструкций требуют большого числа транзисторов. Это обуславливает сравнительно небольшое число ядер на одном кристалле и большую площадь каждого ядра даже при использовании самого современного техпроцесса.

Архитектура графических процессоров (GPU) изначально разрабатывались для параллельных вычислений. GPU содержит до нескольких сотен ядер против 8-16 у CPU, обладает развитыми средствами синхронизации потоков, предоставляет пользователю возможность гибко управлять памятью. Благодаря этому во множестве приложений GPU достигает существенного большей производительности, нежели CPU.

В частности, алгоритмы решения сеточных уравнений характеризуются:

- ▲ высокой интенсивностью обращений к ОЗУ, преимущественно по непрерывным диапазонам адресов;

- ▲ использованием только базовых операций над числами с плавающей запятой;

- ▲ большим числом операций, которые могут быть выполнены параллельно;

- ▲ малым числом ветвлений и условных переходов.

Эти особенности дают GPU ряд преимуществ перед CPU:

- ▲ скорость передачи данных между GPU и видеопамятью выше, чем между CPU и ОЗУ;

- ▲ GPU оптимизированы для операций с числами с плавающей точкой;

- ▲ GPU могут параллельно

выполнять большое число независимых операций.

Малое число условных переходов и обращения к непрерывным диапазонам адресов памяти обеспечивает максимальную производительность GPU. Однако объем установленной оперативной памяти в современных GPU недостаточен для многих задач, в частности связанных с исследованием и проектированием нанообъектов.

В предлагаемой работе описана авторская модификация известного из теории автоматического распараллеливания метода пирамид, позволяющего сокращать количество коммуникаций между ветвями параллельного алгоритма за счет дублирования вычислений.

В качестве иллюстрации применения метода исследована задача решения линейного однородного нестационарного одно- и двумерного уравнения теплопроводности с декомпозицией сеточной области по одной или нескольким осям на перекрывающиеся подобласти. Построена оценка быстродействия параллельного алгоритма, предложен метод нахождения оптимальных параметров декомпозиции.

Представлен параллельный алгоритм решения сеточного аналога двумерного линейного однородного нестационарного уравнения теплопроводности для GPU GeForce GT 330M по технологии OpenCL на основе предложенного метода для одномерной и двумерной декомпозиции сеточной области. Было произведено сравнение производительности на этом же устройстве с тривиальным алгоритмом, производящим пересылку на каждом слое. Наилучшее быстродействие было достигнуто при одномерной декомпозиции. В ходе вычислительных экспериментов было установлено восьмикратное преимущество в производительности перед тривиальным алгоритмом. Теоретические оценки быстродействия подтверждены с точностью 5-7%.

Приведенный метод актуален и для решения других дифференциальных уравнений, в частности возможно его применение для метода FDTD для задач электродинамики.