

# Digmat – виртуальная лаборатория полимерных композиционных материалов

И.С. Маняк (СП ЗАО “Би Питрон”)

В настоящее время термопластичные полимерные композиционные материалы (ПКМ) нашли широкое применение в самых разных отраслях промышленности. Внедрение подобных материалов зачастую позволяет находить новые, во многом уникальные технические решения, способствующие усовершенствованию конструктивно-технологического облика изделия. К примеру, в авиации переход на композиты, преимущественно при изготовлении несущих корпусных элементов, позволил существенно снизить массу конструкции при сохранении той же массы полезной нагрузки. Снижение относительной массы конструкции обусловлено в данном случае более высокими удельными механическими характеристиками композитов по сравнению с традиционными конструкционными материалами. В автомобилестроении применение ПКМ позволило не только снизить относительную массу, но и заметно повысить уровень вибро- и шумопоглощения за счет их демпфирующих свойств, что сделало автомобиль более удобным и эргономичным. Ширится использование полимерных композитов в не совсем традиционных сферах. За рубежом, например, из армированных пластиков изготавливаются медицинские имплантаты, заменяющие вышедшую из строя или пришедшую в негодность часть скелета человека. Обусловленность применения композитов в данном случае характеризуется не только традиционными требованиями (прочность, жесткость, долговечность), но также, например, таким параметром, как биологическая совместимость.

Одним из основных преимуществ композитов над традиционными конструкционными материалами является возможность варьирования свойствами конечного изделия в широком диапазоне за счет подбора состава и структуры составляющих компонентов. Благодаря этому появляется возможность создания оптимального со всех точек зрения изделия. В этом случае инженер, работающий с композитами и манипулирующий многочисленными параметрами отдельных компонентов для формирования наиболее приемлемой для данных условий структуры изделия, подобен кукловоду, который управляет марионетками в театре, каждый раз создавая особенное, неповторимое впечатление о спектакле. Однако необходимо отметить, что, подобно тому, как в театре кукол существуют определенные правила игры, так и при работе с композитами имеются соответствующие правила и нормы, о которых никогда нельзя забывать. Поэтому при проектировании изделий из ПКМ принято говорить о так называемом **конструктивно-технологическом принципе**, суть которого заключается в том, что различные этапы проектирования изделия (конструкторский и технологический) могут рассматриваться независимо, но только с учетом их непростых взаимосвязей.



Рис. 1. Иллюстрация принципа “конструкция–материал–технология”

По большому счету, данный принцип не является каким-то особенным откровением, однако когда мы имеем дело с композитами (то есть с материалами со сложной гетерогенной структурой), то данный принцип-концепция выходит на новый уровень и приобретает особенное значение. Связано это, прежде всего, с многочисленными особенностями самого композиционного материала, которые также необходимо учитывать при проектировании. Таким образом, мы имеем замкнутую цепочку: конструктивные особенности конкретного изделия влияют на технологию его изготовления; технология, в свою очередь, определяет локальную микроструктуру материала, а параметры микроструктуры и свойства отдельных компонентов характеризуют конечные свойства материала как композита – и, следовательно, изделия, которое из данного материала изготовлено. В этой связи, процесс проектирования изделий из ПКМ можно сравнить с большим механизмом, состоящим из трех основных звеньев – конструкция, материал, технология – каждое из которых обладает своими особенностями и может рассматриваться независимо, но только с учетом всех взаимосвязей остальных звеньев (рис. 1).

Данный принцип-концепция лежит в основе программного комплекса *Digmat*, который позволяет заглянуть “внутрь” материала и учесть многие конструктивно-технологические особенности при расчетах методом конечных элементов. *Digmat* имеет два основных назначения. Первое – это детальное исследование микроструктуры материала, что при исследовании прочности может подразумевать механический анализ накопления и развития повреждений или, к примеру, анализ образования пластических и вязких деформаций в зависимости от тех или иных условий работы. В случае же теплового или электрического анализа под исследованием микроструктуры зачастую понимают исследование таких явлений, как *кластеризация* и *перколяция*, то есть, анализ вероятности образования путей проводимости при наличии в матрице локальных

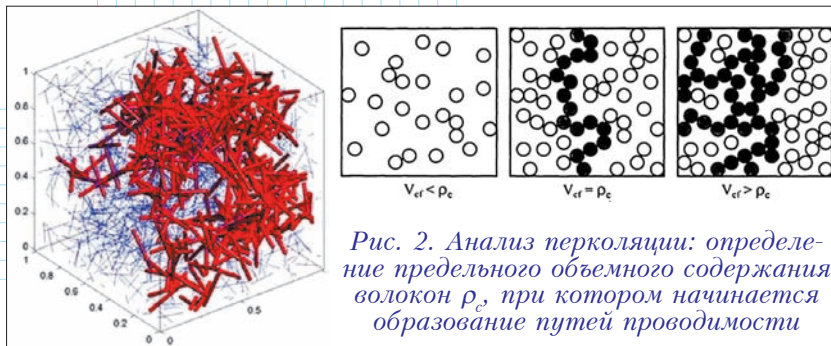


Рис. 2. Анализ перколяции: определение предельного объемного содержания волокон  $\rho_c$ , при котором начинается образование путей проводимости

скопления включений (рис. 2). Суть такого анализа, как правило, сводится к определению предельного объемного содержания волокон  $\rho_c$ , при котором начинается образование путей проводимости.

Второе предназначение *Digmat* связано с анализом несущей способности конкретной конструкции или изделия с учетом конструктивно-технологических особенностей последнего. В этом случае *Digmat* рассматривается как дополнительная надстройка к системам конечно-элементного анализа, таким, как: *Abaqus*, *ANSYS*, *Marc*, *SAMCEF* и др. При этом реализуется так называемый многоуровневый подход к моделированию (рис. 3), то есть материал рассматривается на нескольких масштабных уровнях.

В простейшем случае выделяют два уровня: микро- и макроуровень. На микроуровне с помощью *Digmat*

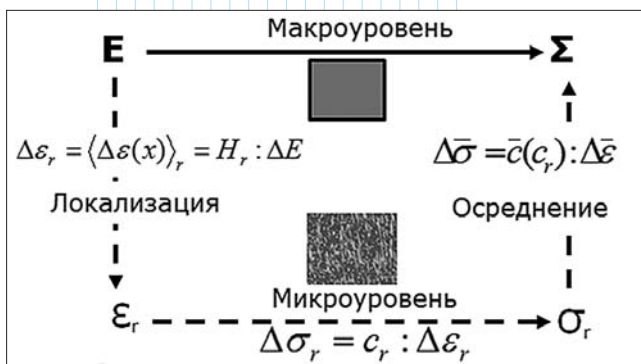


Рис. 3. Механизм реализации многоуровневого подхода

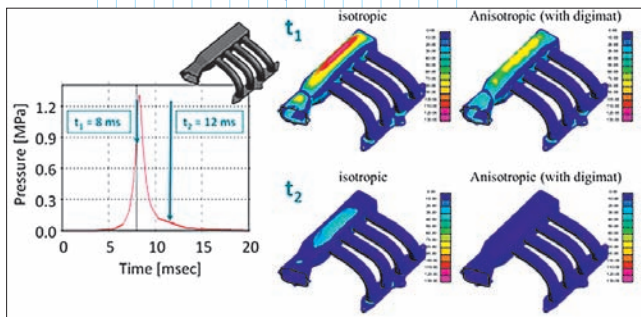


Рис. 4. Сравнение двух подходов к моделированию, слева направо: график изменения во времени прикладываемого давления, результаты расчета в разные моменты времени для стандартного подхода (isotropic) и для многоуровневого подхода с использованием *Digmat* (anisotropic with *Digmat*)

определяют макросвойства всего композита, исходя из состава и структуры отдельных компонентов, на основе численно-аналитических моделей гомогенизации, или осреднения. На макроуровне средствами *CAE*-системы проводится стандартный анализ поля напряжений и деформаций, но с учетом всей микроструктуры по объему конструкции. При этом на каждом шаге и в каждой точке интегрирования с использованием процедуры осреднения происходит обмен данными между *Digmat* и *CAE*-системой.

Реализация такого подхода к моделированию существенно повышает качество и достоверность расчетов, что, разумеется, повышает общую эффективность проектирования. Прежде всего, под эффективностью в данном случае следует понимать уменьшение времени на проектирование и экономию средств, так как многие дорогостоящие натурные испытания заменяются точными виртуальными. В этой связи компания «Би Питрон», наряду со многими другими известными мировыми компаниями, работающими с полимерными композиционными материалами, позиционирует *Digmat* как исследовательский комплекс для композитов и изделий на их основе, или же, как виртуальную лабораторию полимерных композиционных материалов.

На рис. 4 приведен пример использования *Digmat* в связке с *CAE*-системой при анализе несущей способности конструкции. Пример предоставлен японской корпорацией *JSOL*, одним из направлений работы которой является проведение прочностных расчетов явным методом динамического анализа в среде *LS-DYNA*. В данном примере рассматривался выпускной коллектор автомобиля. Расчетный случай – резкое повышение давления; применяемый метод – явное интегрирование. Сравнивались два подхода к решению: стандартный метод изотропизации и многоуровневый подход с применением *Digmat*. В результате было выявлено, что стандартный подход дает завышенные значения напряжений и, соответственно, критериев разрушения, в отличие от многоуровневого моделирования. Таким образом, становится очевидным тот факт, что стандартный подход не может обеспечить качественную, достоверную оценку работоспособности конструкции, а его применение приводит либо к увеличению массы при сохранении заданного уровня надежности, либо к снижению уровня надежности при сохранении заданной массы.

Другой пример совместной работы *Digmat* и конечно-элементной системы – модальный анализ переднего бампера автомобиля компании *Renault*, изготавливаемого методом инжекционного литья из армированного коротким углеволокном материала (рис. 5). Механические свойства материала в каждой точке бампера определяются ориентацией волокон в матрице. Ориентация, в свою очередь, определяется технологическими параметрами литья. Чтобы учесть все подобные взаимосвязи компанией *Renault* был проведен комплексный, всесторонний анализ, включающий в себя несколько этапов:

1 создание модели композиционного материала средствами *Digmat*;



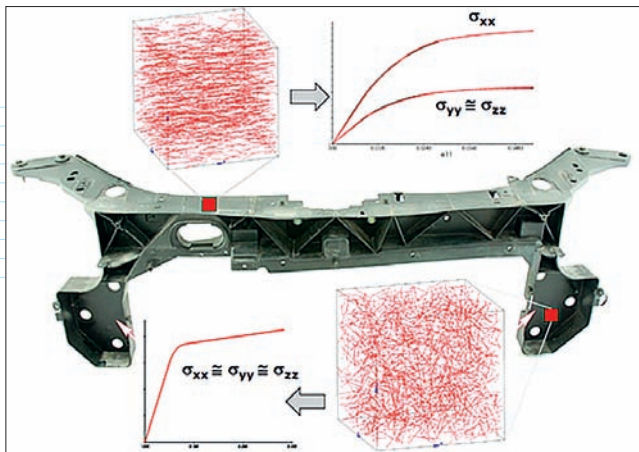


Рис. 5. Передний бампер автомобиля и ориентация волокон материала в двух его характерных точках

2) технологический анализ “проливаемости” пресс-формы для изделия средствами технологического САЕ-пакета *Moldex3D* и анализ получаемой структуры армирования;

3) импортирование данных об ориентации волокон в каждой точке изделия-бампера из *Moldex3D* в *SAMCEF* для проведения механического, структурного анализа;

4) непосредственный расчет собственных форм и частот методом конечных элементов в среде *SAMCEF* с учетом особенностей материала и технологии изготовления.

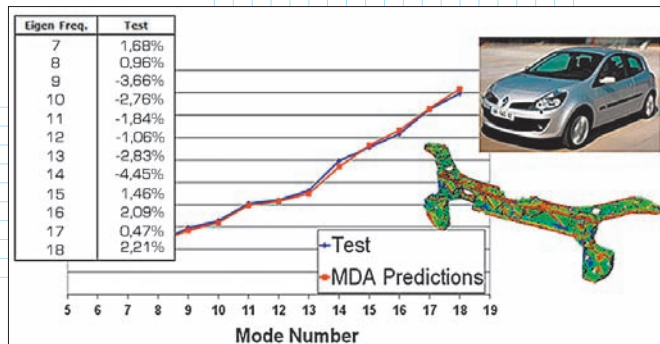


Рис. 6. Результаты модального анализа переднего бампера Renault, сравнение с экспериментом

Результаты модального анализа приведены на рис. 6. На том же рисунке можно увидеть сравнение с результатами эксперимента. Максимальное отклонение расчетных данных от экспериментальных составило 4.45%, что лишний раз подтвердило на практике применимость этой методики расчета.

Подводя итоги, можно с уверенностью говорить о том, что сегодня конструктивно-технологический принцип лежит в основе проектирования изделий из ПКМ, а современные расчетные модули, функционирующие на основе метода конечных элементов и моделей материалов на микроуровне, созданных средствами *Digimat*, являются эффективным инструментом для создания высококачественных изделий из композиционных материалов. 🧐

# КОМПОЗИТ2014

21 мая 2014 г. 📍 Москва  
Холидей Инн Сокольники

V международная научно-практическая конференция

«КомпозИТ-2014: Информационные технологии в проектировании и производстве конструкций из композиционных материалов»

Условия участия и регистрация:  
[www.composites.pro](http://www.composites.pro)  
[composites@beepitron.com](mailto:composites@beepitron.com)  
 +7 (812) 740 18 00