Разработка перспективных композитных материалов и конструкций на их основе»

Решетько Е.В.

Ведущий специалист

ГК «Би Питрон»

Основные вопросы

- Цель применения композиционных материалов.
- Выбор типа композиционных материалов
- Выбор технологии изготовления

BEE PITRON

Изделия из композиционных материалов:

Достоинства:

- Высокая весовая эффективность
- Коррозионная стойкость
- Возможность управления механическими свойствами в пределах детали
- Формирование интегральных конструкций, уменьшение общего количества деталей в агрегате
- Получение деталей сложной формы с высоким качеством поверхности
- Немагнитные свойства

Недостатки:

- Разброс исходных характеристик связующего и наполнителя
- Электрохимическая коррозия с рядом металлов (для углепластика)
- Проблемы статического электричества
- Проблемы ударостойкости
- Более низкая огнестойкость
- Более низкие рабочие температуры.
- Сложности ремонта
- ВЫСОКАЯ ТРУДОЕМКОСТЬ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА

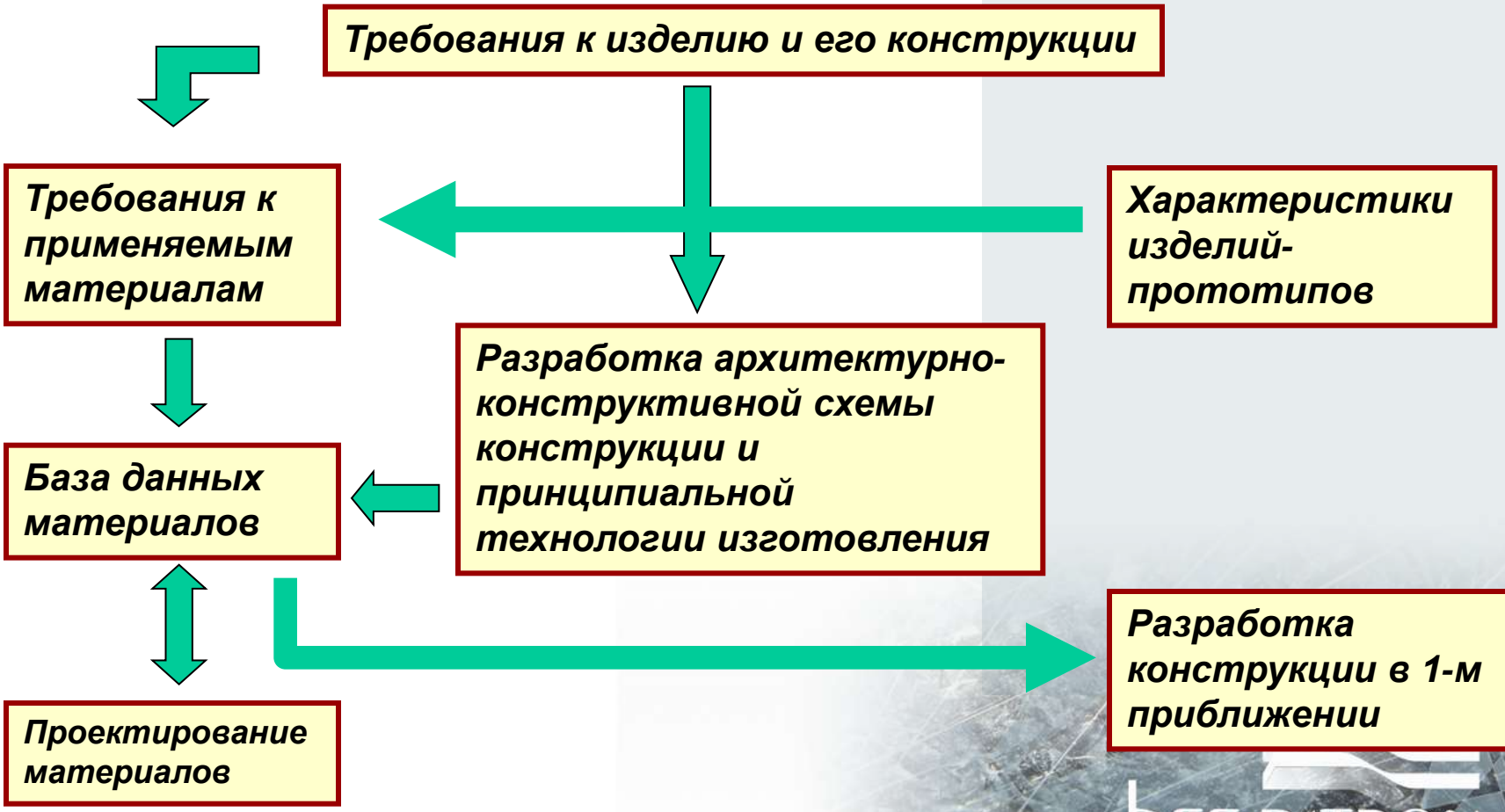
bee pitron

Типы композиционных материалов

Связующий материал (матрица)	Армирующий материал (наполнитель)
Полимерные термореактивные смолы. Полимерные термопластичные смолы Керамические материалы Металлы	Зернистый материал Длинноволокнистый материал: *Случайная ориентация,* *Направленная ориентация.* Коротковолокнистый материал.

Общие принципы проектирования конструкции из КМ

В общем виде алгоритм проектирования можно представить в виде такой схемы



Общие принципы проектирования конструкции из КМ

Требования к изделию и его конструкции	***Архитектура*** ***Геометрия*** ***Нагрузки*** ***Вес….***
Разработка архитектурно-конструктивной схемы конструкции и принципиальной технологии изготовления	***Выбор технологии: выкладка, намотка, RTM-метод, инжекционное литьё…*** ***Выработка требований к оснастке.*** ***Выбор состава и структуры композиционных материалов.***
Проектирование материалов	***Выбор наполнителя*** ***Выбор связующего*** ***Выбор структуры материала***

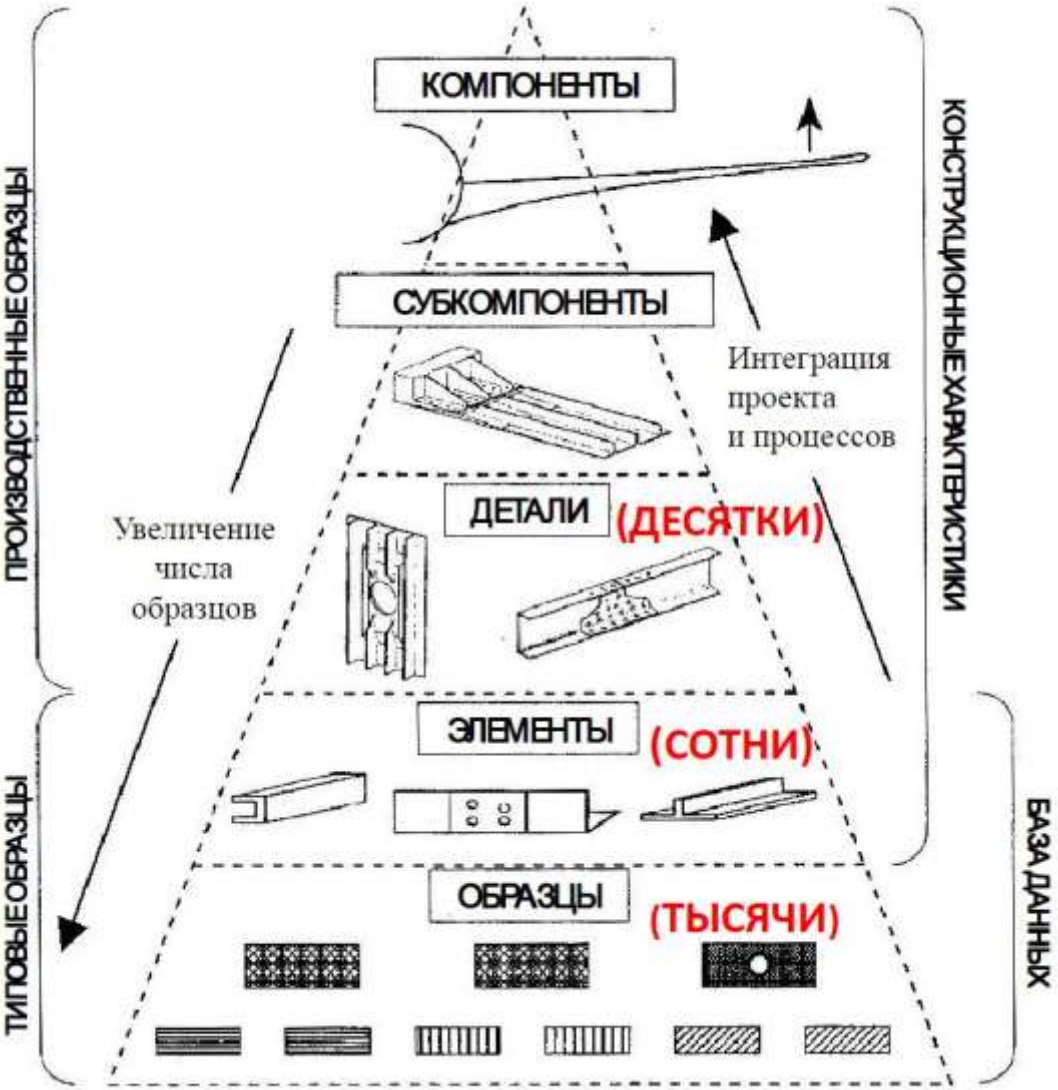
BEC PITRON

Общие принципы проектирования конструкции из КМ

Разработка конструкции в 1-м приближении	***Выбор основных размеров, формы и расположения агрегатов.*** ***Выбор основных параметров конструктивно-силовой схемы.*** ***Расчет нагрузок.*** ***Построение цифрового макета.*** ***Создание глобальной расчетной модели.***
Применение методов 3D проектирования. ***Применение эффективных численных методов расчета***	

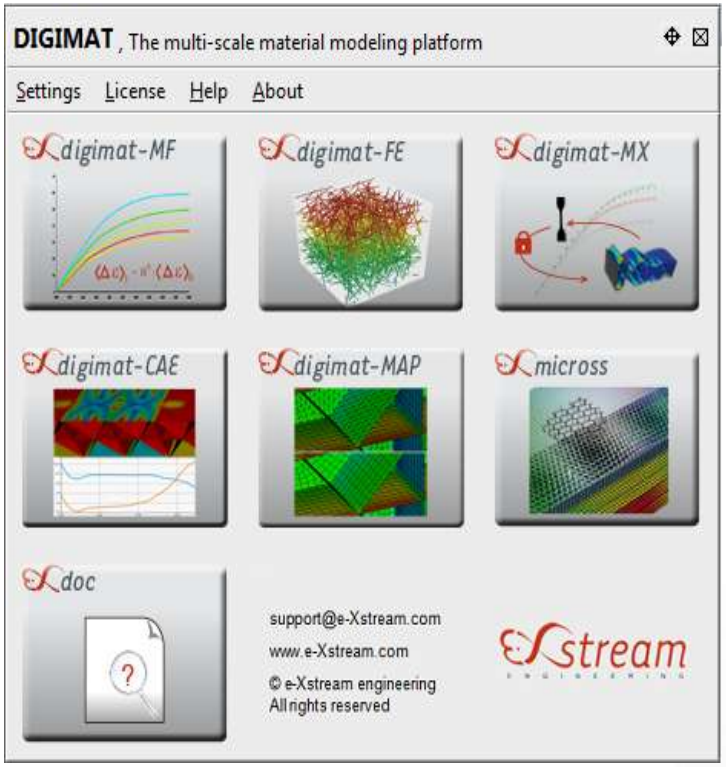
bee pitron

Общие принципы проектирования конструкции из КМ



Проектирование материалов

digimat®

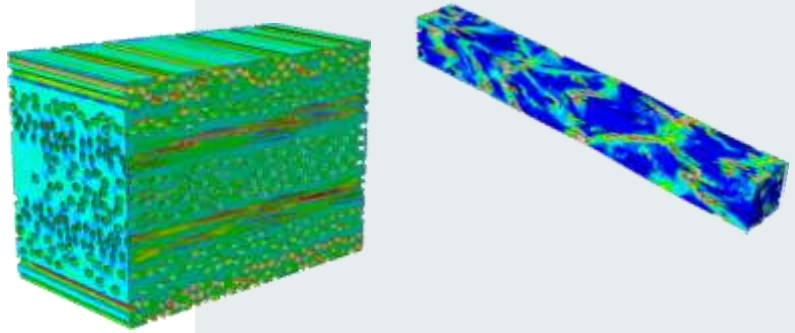


- **Программный комплекс DIGIMAT**
  - **Платформа нелинейного многоуровневого моделирования**
- **Применимость, компании**
  - **Поставщики материалов**
  - **Потребители материалов**
    - OEM, Tier 1
- **Применимость, специалисты**
  - **Разработчики перспективных материалов**
  - **Инженеры-расчетчики**
- **Задачи**
  - **Разработка материалов**
  - **Точный FEA-анализ изделий из КМ**

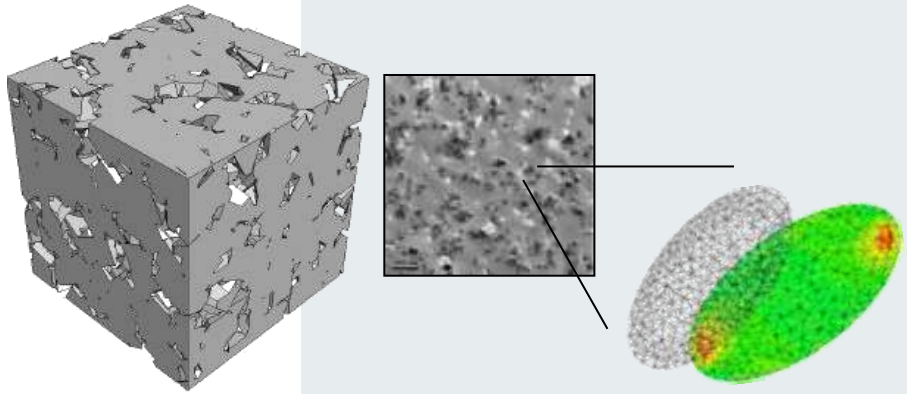
BEC PITRON

Проектирование материалов в среде DIGIMAT

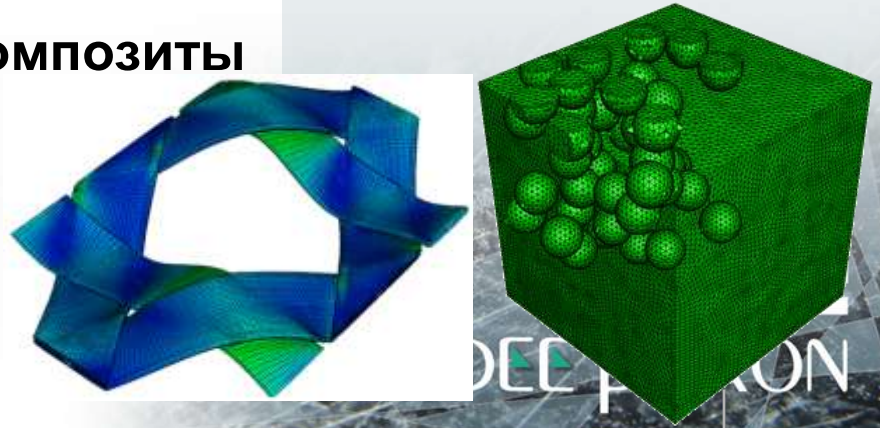
Композиты



- **Армированные пластики**
  - Короткие волокна
  - Длинные волокна
  - Непрерывные волокна
- **Резины**
  - *Дисперсное упрочнение*



- **Твердые сплавы**
- **Керамика**
- **Плетеные/тканевые композиты**
- **Нано материалы**



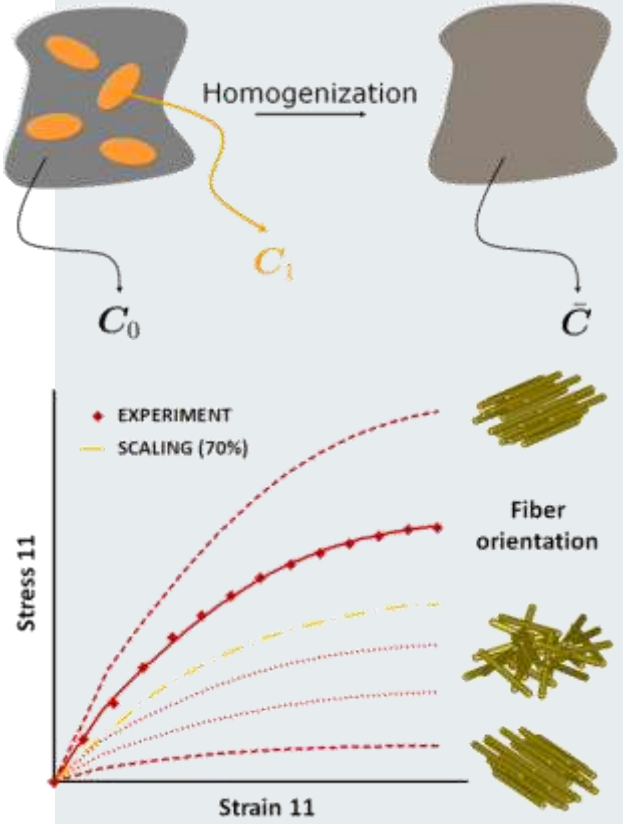
Проектирование материалов в среде DIGIMAT

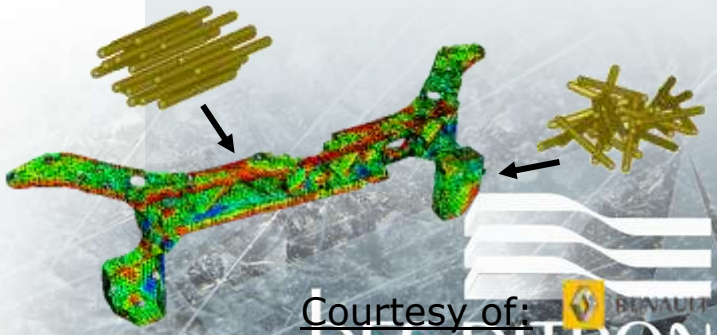
digimat-MF

- Основан на методе эффективного поля
  - Ключевые моменты
    - *Индивидуальные характеристики матрицы и заполнителя*
    - *Характеристики особенностей внутренней структуры материала*
  - Результаты
    - *Модель материала, учитывающая особенности микроструктуры*

digimat-CAE

- Интерфейс с системой КЭ анализа
  - Учет данных о микроструктуре материала
  - Обеспечивает связанное решение Digimat-MF/Внешний КЭ решатель





Courtesy of:

DIGIMAT: Рабочий процесс

digimat-MF

Перспективный ПI

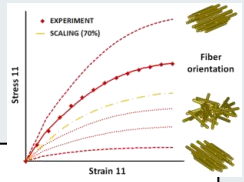
Изготовление образца

Требования к материалу:
Жесткость, прочность, усталость…

Реверс-инжиниринг/ Калибровка модели материала

Св-ва компонентов

digimat-MX



Испытания:
Статика, динамика, усталость…

Свойства материала:
Модули упругости, коэф. Пуассона….

digimat to CAE

Свойства материала:
Модули упругости, коэф. Пуассона….

Связанный анализ

MSC Software

Moldex3D

map

Результаты моделирования:
Ориентация волокон, остаточные напряжения, линии спая, плотность

КЭ Модель:
Сетка, граничные условия, нагрузки….

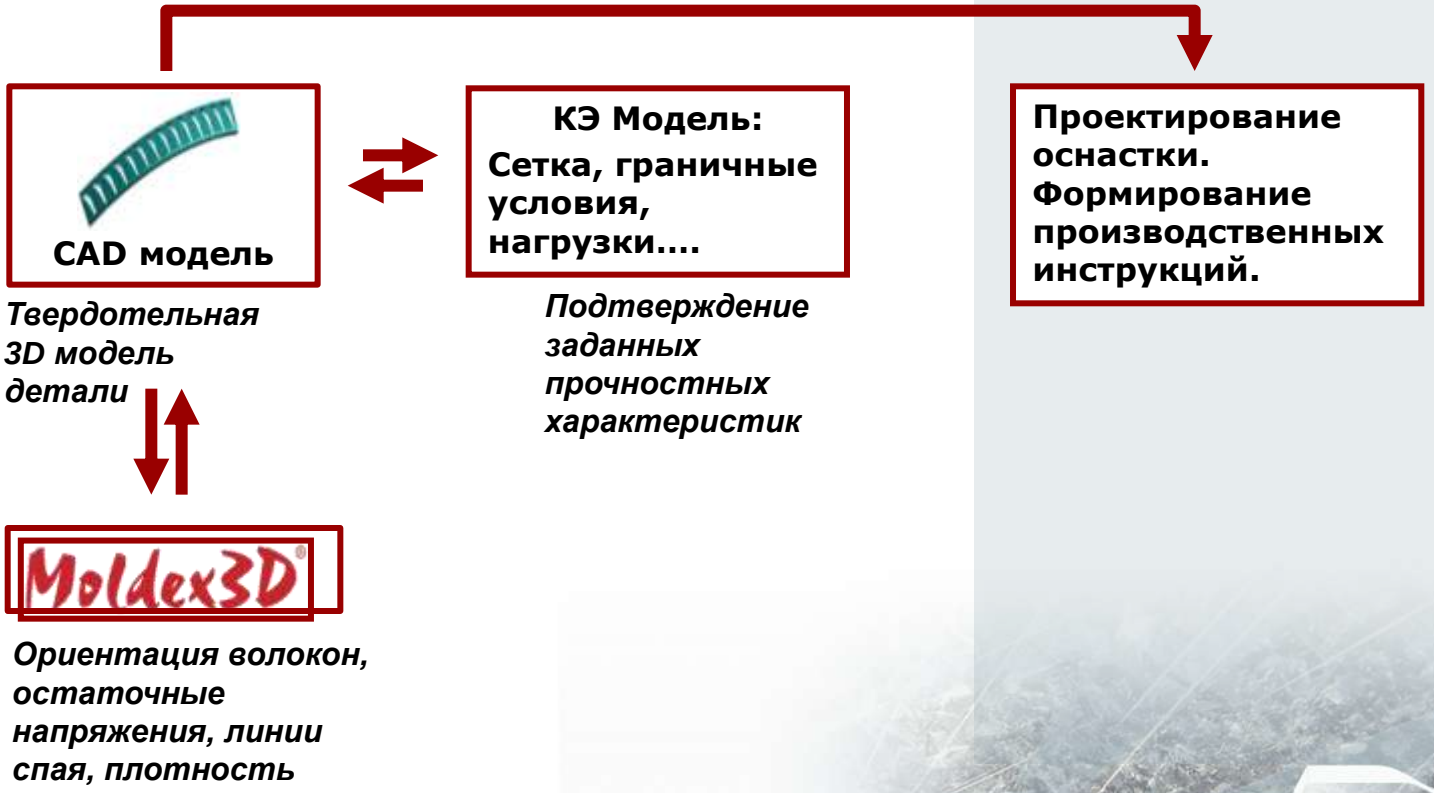
Параметры тех. процесса:
Точки впрыска, температура, давление…

CAD модель

BEC PITRON

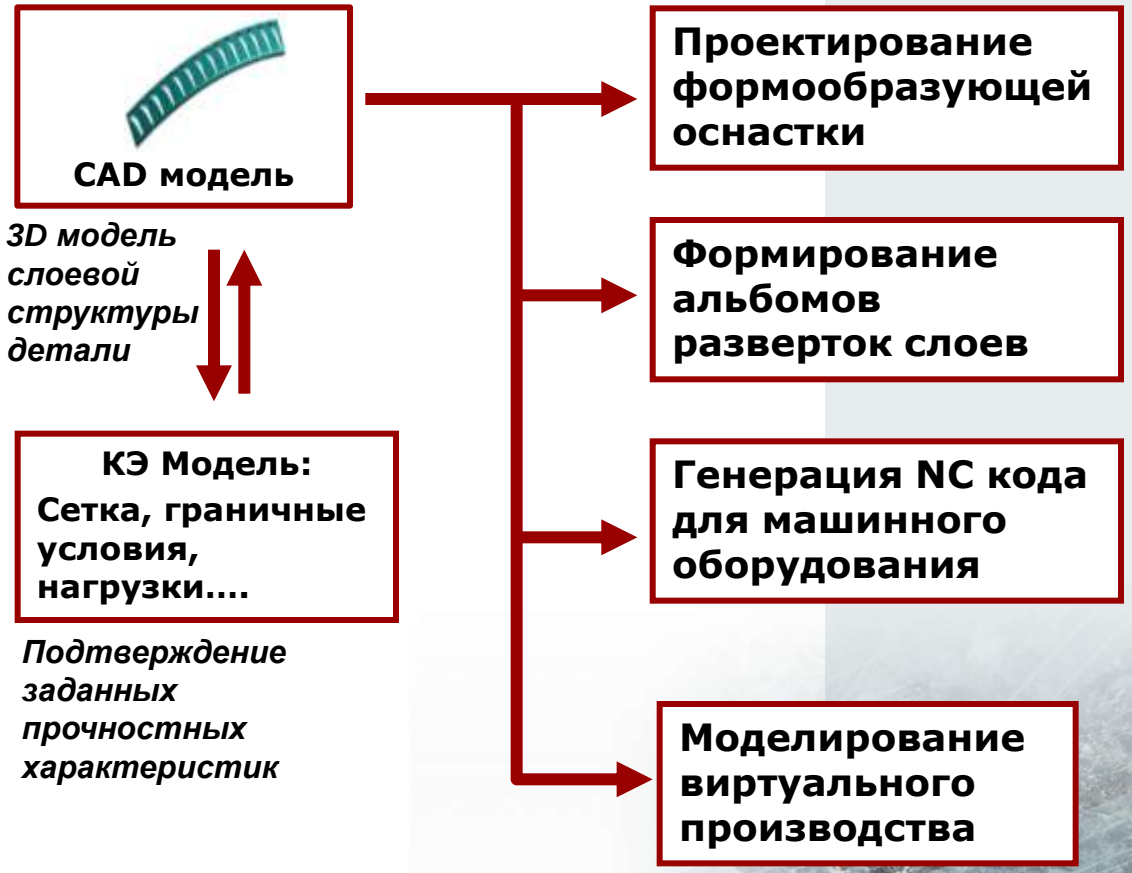
Зависимость методов конструирования от типа КМ

Для коротковолокнистых материалов алгоритм проектирования можно условно представить в виде следующей схемы:



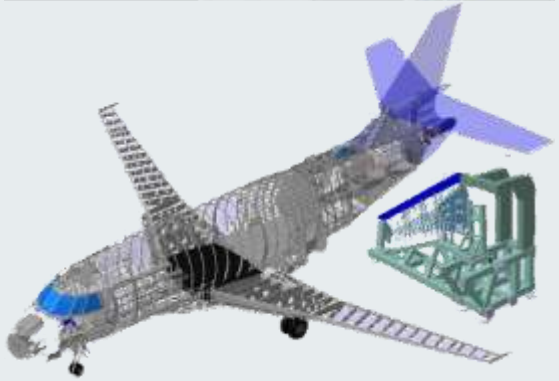
Зависимость методов конструирования от типа КМ

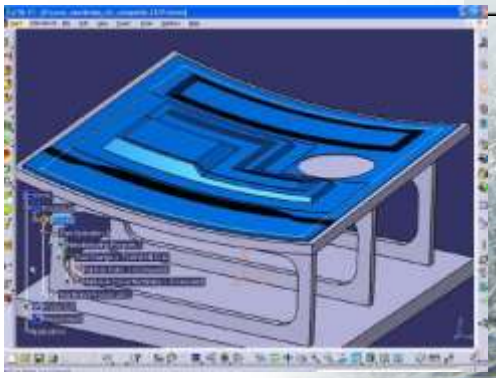
Для деталей из длинноволокнистых материалов, получаемых выкладкой или RTM-методом, алгоритм проектирования можно условно представить в виде следующей схемы:



Решения Dassault Systemes для проектирования конструкций из композиционных материалов.

CATIA v5
Composit Design
Модуль проектирования изделий из композиционных материалов



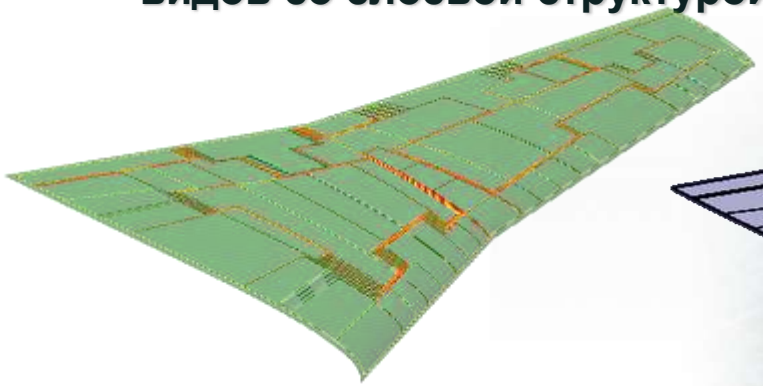


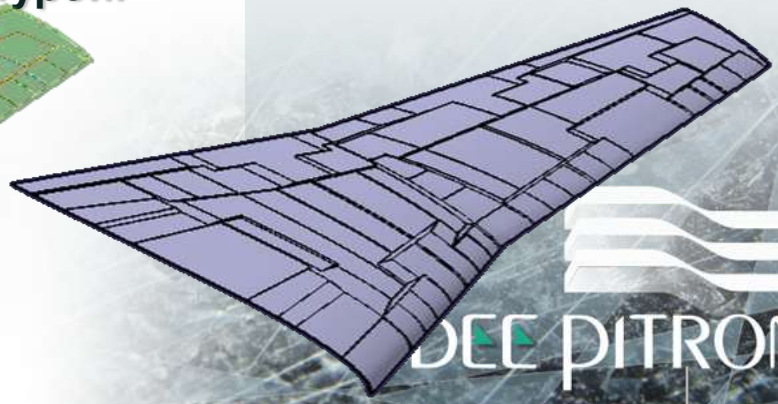
bee pitron

Проектирование с применением специализированных CAD систем

Специализированные программы - Composit Design- позволяют вести комплексную разработку изделия. В процессе проектирования решаются следующие задачи:

- **Формирование слоевой структуры**
- **Генерация твердого тела для представления в электронном макете и выпуска чертежной документации**
- **Уравновешивание слоевой структуры относительно нейтрального слоя.**
- **Анализ слоев на корректность облегания оснастки и формирование подрезов.**
- **Разделение слоя на ленты в проблемных для выкладки местах**
- **Формирование сотовых заполнителей.**
- **Генерация разверток слоев**
- **Массово- инерционный анализ конструкции.**
- **Двусторонняя интеграция с программами конечно-элементного анализа.**
- **Генерация чертежей с возможностью получения сечений и видов со слоевой структурой.**





Проектирование с применением специализированных CAD систем

Для подготовки производства Composit Design содержит инструменты, реализующие следующие операции:

- Перенос слоевой структуры на технологическую поверхность
- Наложение припусков на слоевую структуру
- Выгрузка разверток слоев во внешние форматы
- Формирование альбома слоев для изготовления методом ручной выкладки.
- Все производители укладочных машин поставляют интегрированные в Composit Design пре- и постпроцессоры для своего оборудования.

Геометрия детали может быть использована в других модулях CATIA v5 для проектирования оснастки и получения управляющих программ станков с ЧПУ

bee pitron

Проектирование с применением специализированных CAD систем

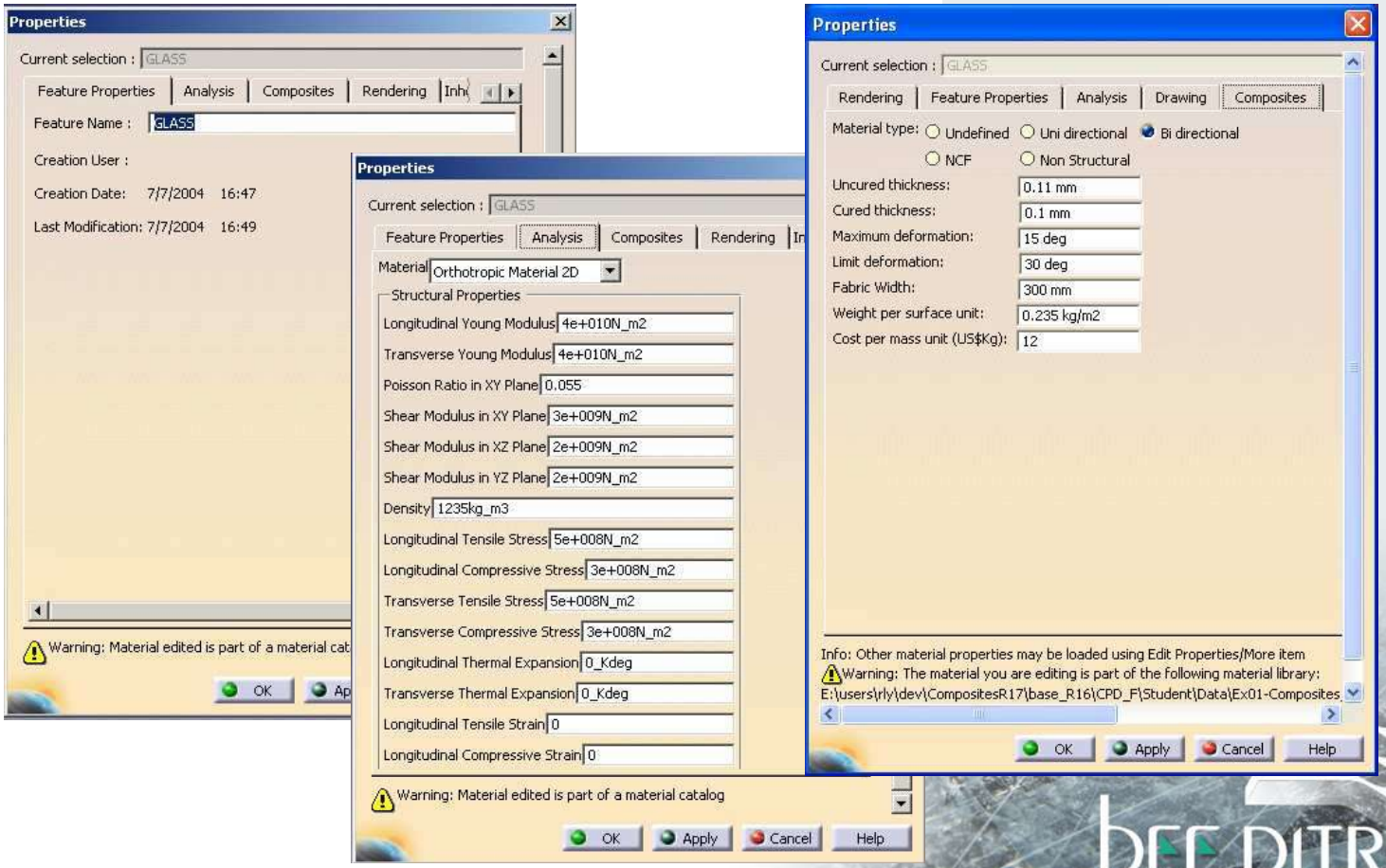
Модуль Composit Design:
Исходные данные для работы в Composit Design.

Пререквизиты для проектирования изделия из КМ:

- **Базовая поверхность и границы зон постоянного армирования , выполненные в CATIA или импортированные из других CAD программ.**
- **Библиотека материалов**
- **Результаты проектировочных расчетов**

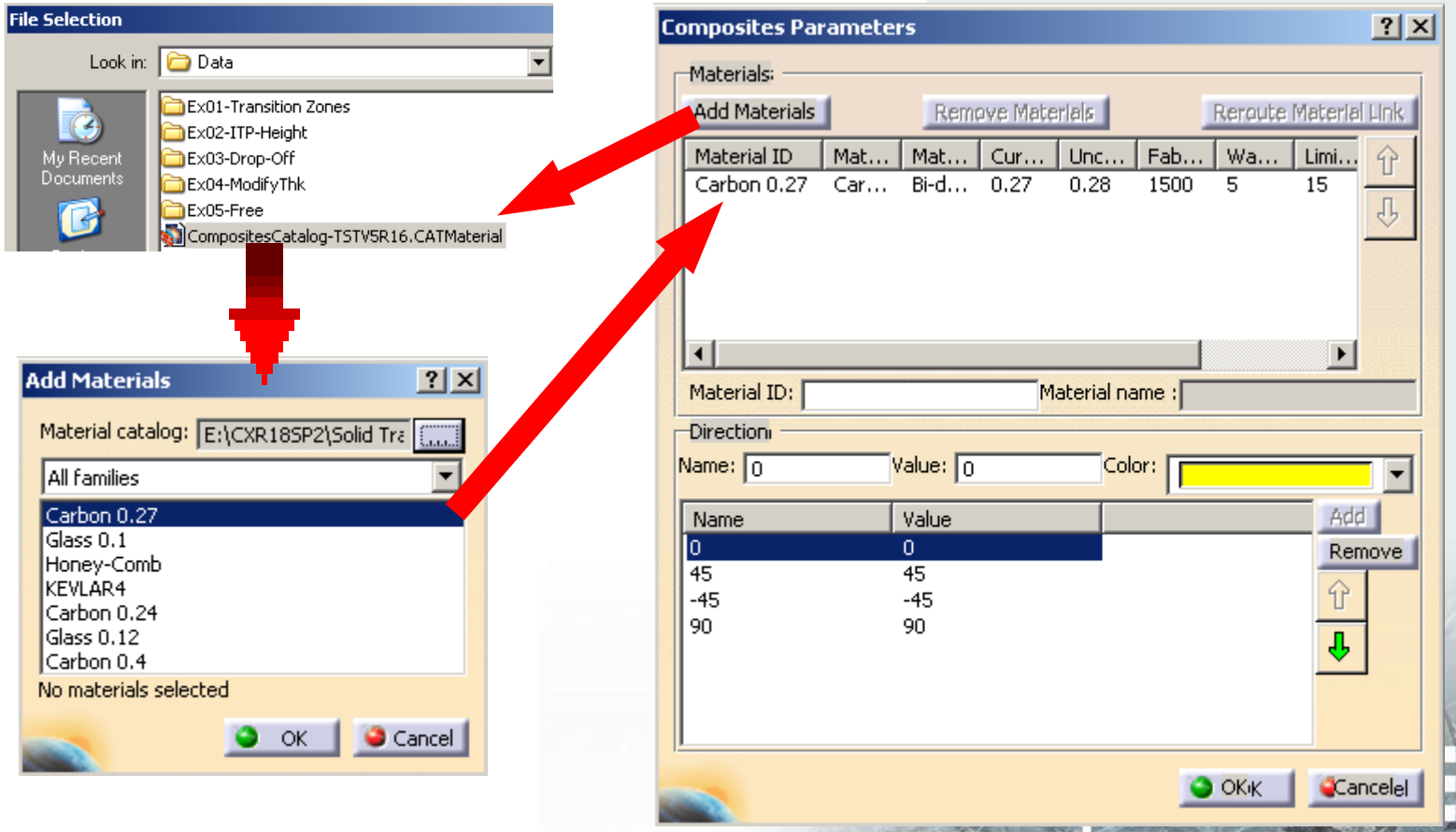
Модуль Composit Design: Создание библиотеки материалов.

Командой создается библиотека, в которой имеется возможность создать необходимое количество семейств. В семейства размещают материалы, задавая их свойства: текстуры, плотность, прочностные характеристики и тип штриховки для чертежного модуля.



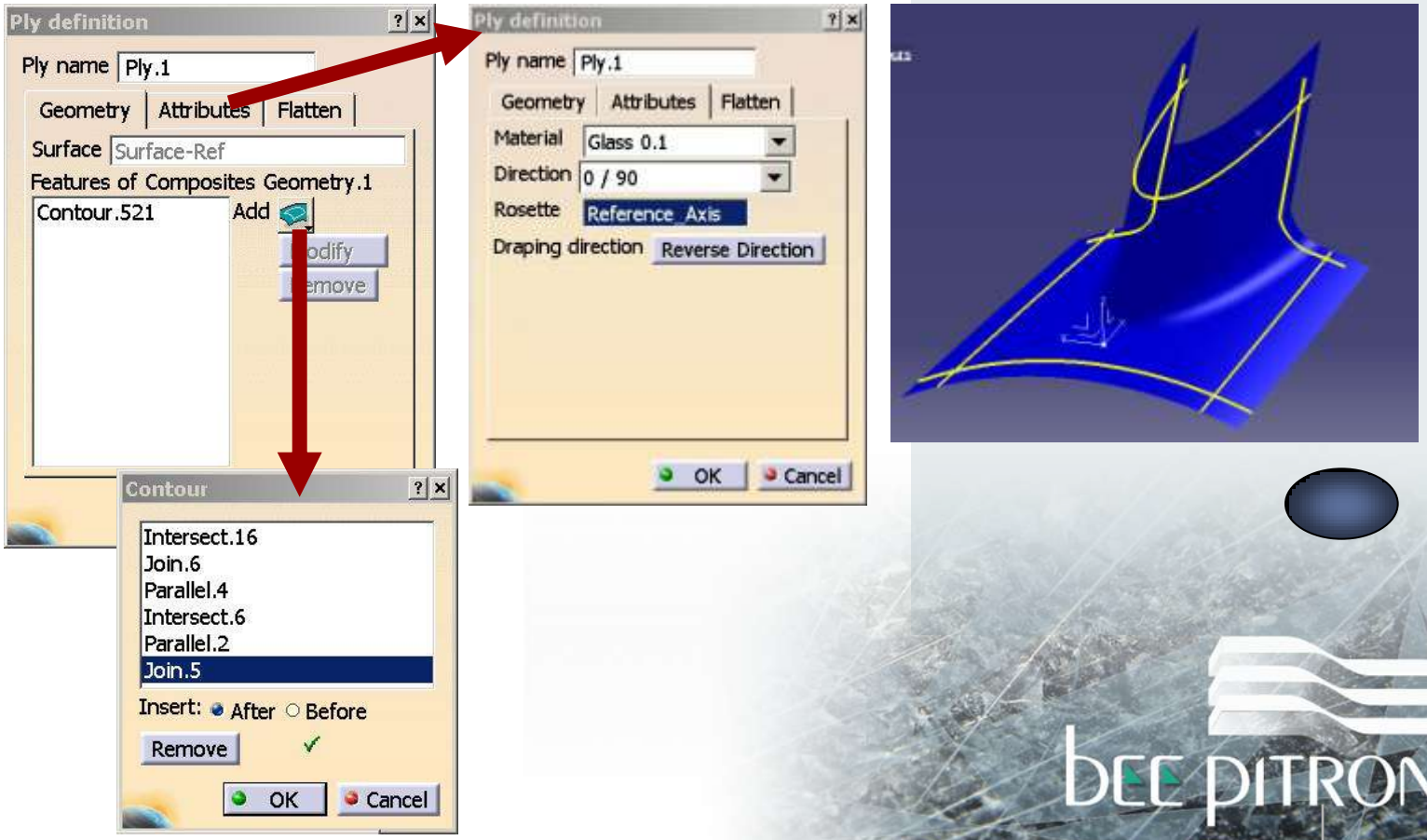
Модуль Composit Design:
Описание параметров в Composit Design.

Кроме уже перечисленных исходных данных для работы с модулем необходимо определить параметры детали – из библиотек выбрать применяемые в конструкции материалы и перечислить доступные углы ориентации волокон.



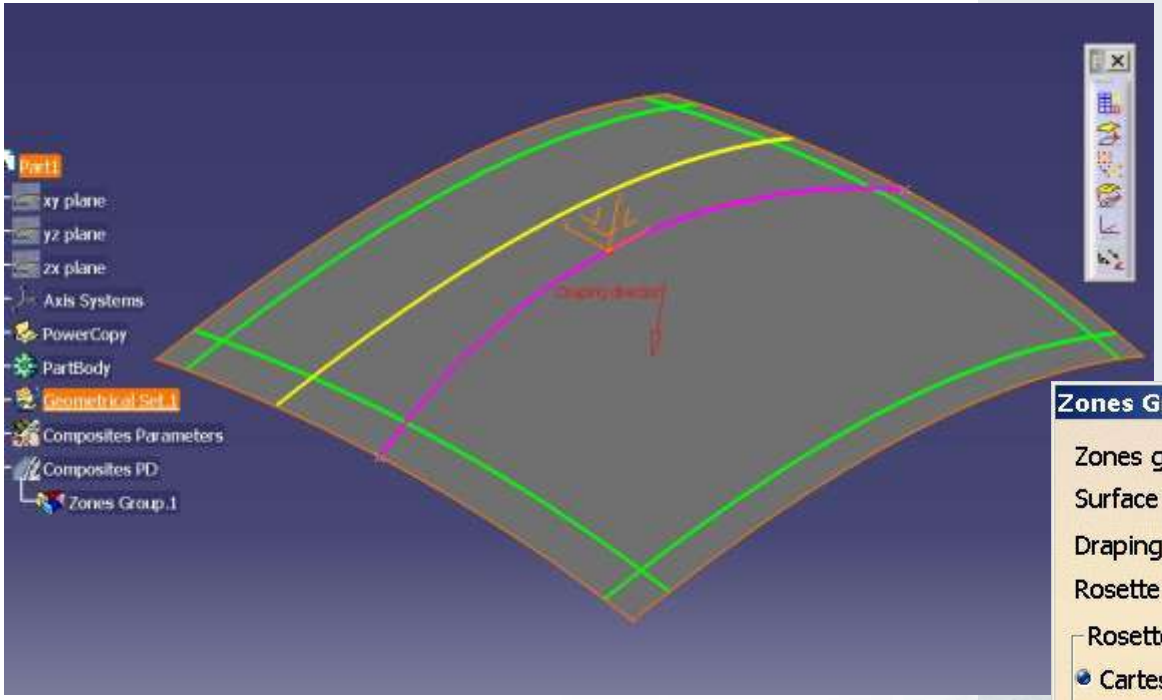
Модуль Composit Design:
Ручное формирование слоистой структуры.

При проектировании деталей с постоянным армированием не имеет смысл прибегать к сложным методам описания слоистой структуры. Можно просто вручную задать границы слоя, материал и и схему ориентации волокна. Затем командой Copy-Paste добавить необходимое количество слоем, меняя в них материал и угол ориентации.



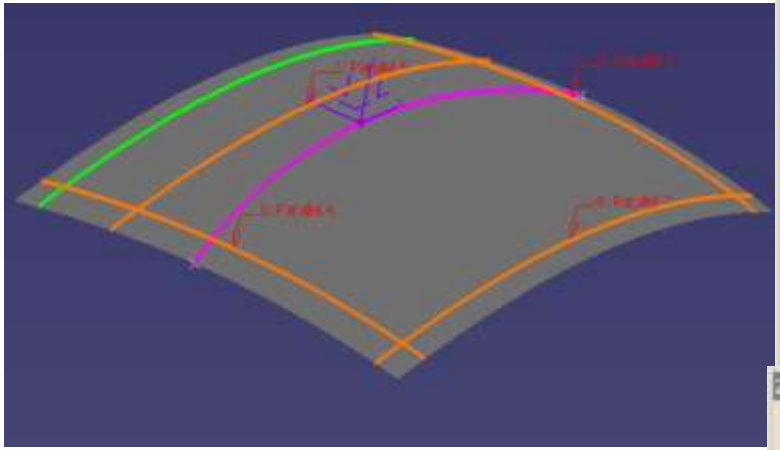
Модуль Composit Design: Формирование слоистой структуры по зонам армирования.

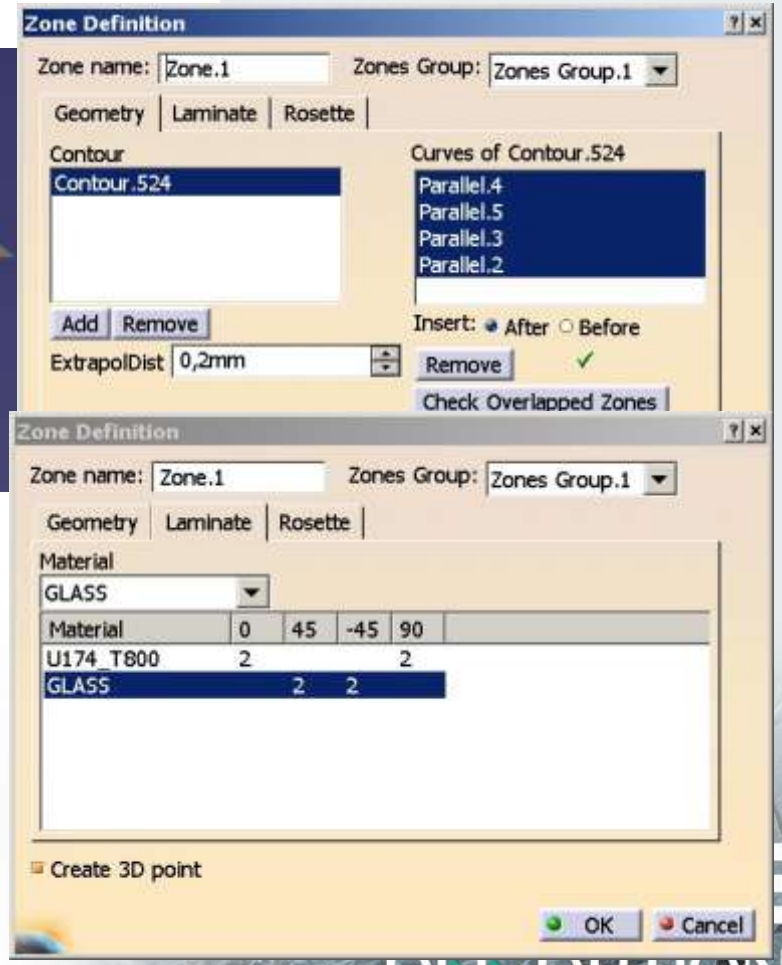
Пример работы с зонами:
1. Создание ZONES GROUP



Модуль Composit Design: Формирование слоистой структуры по зонам армирования.

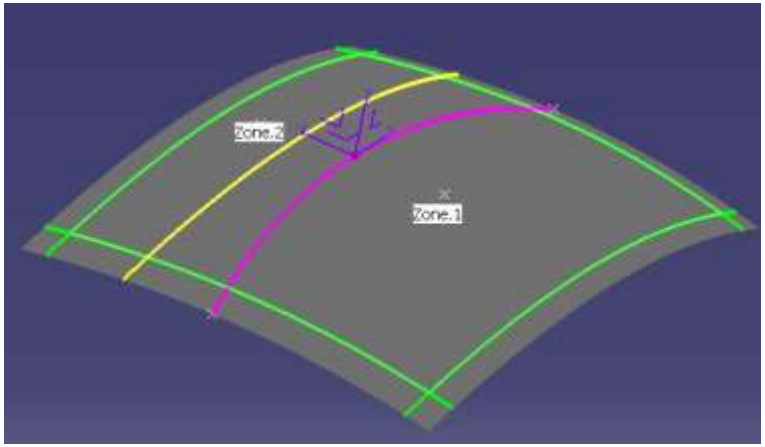
Пример работы с зонами:
1. Создание зон ZONE1 и ZONE2

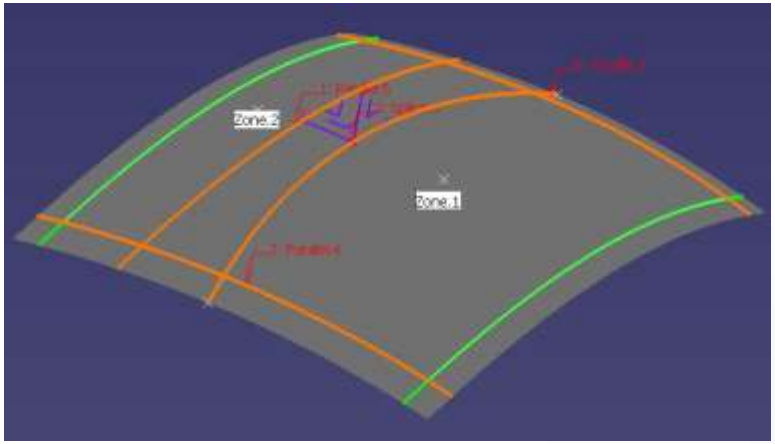


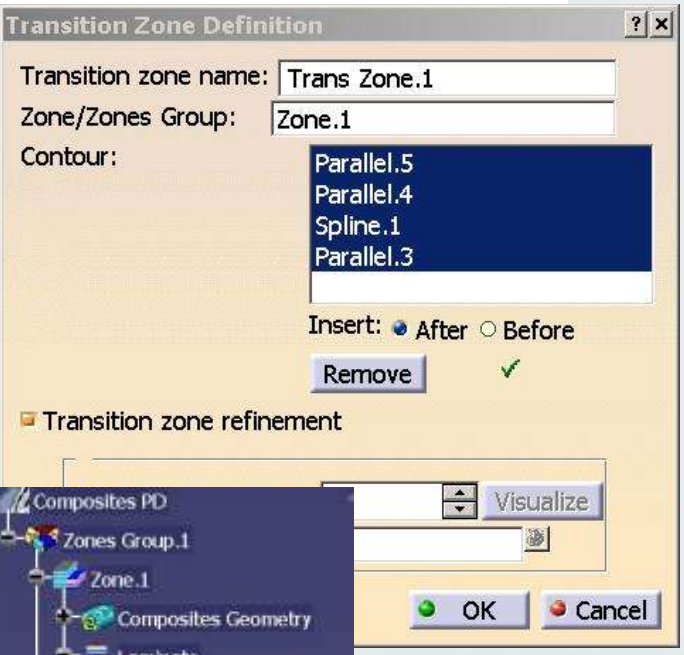


Модуль Composit Design: Формирование слоистой структуры по зонам армирования.

Пример работы с зонами:
2. Создание зоны перехода между зонами ZONE1 и ZONE2

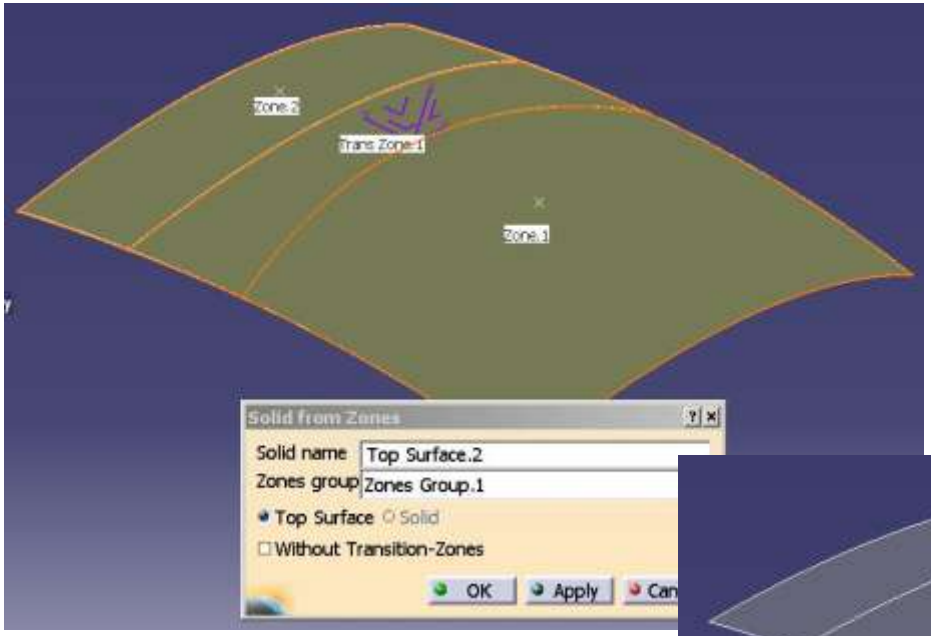


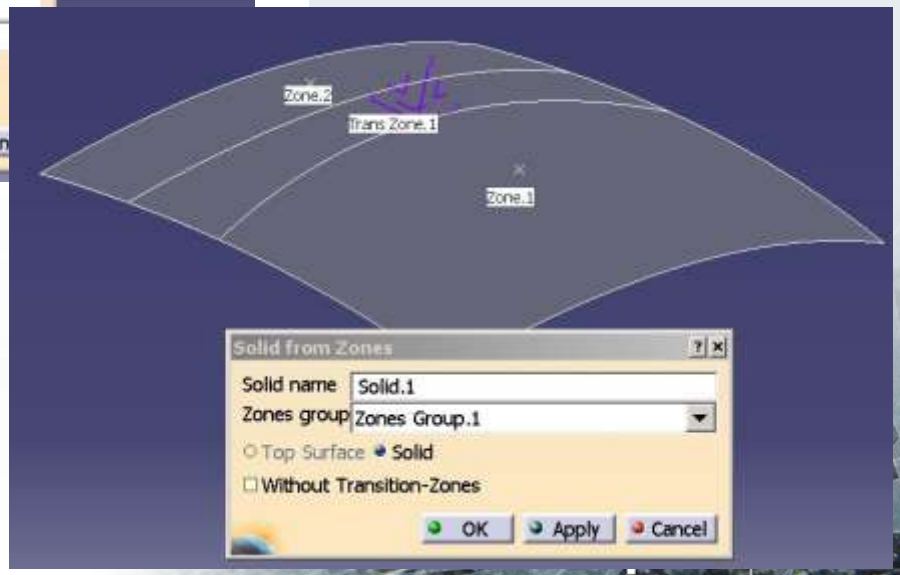




Модуль Composit Design: Формирование слоистой структуры по зонам армирования.

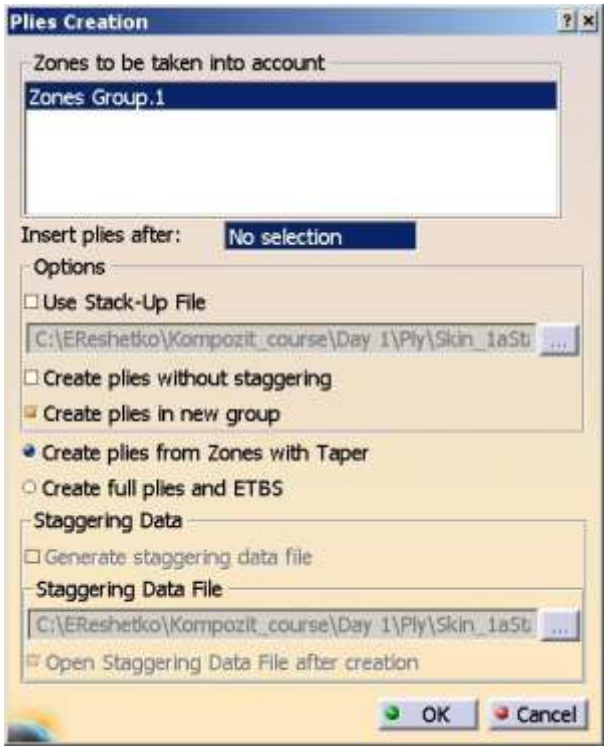
Пример работы с зонами:
3. Получение внутренней поверхности детали и твердого тела.

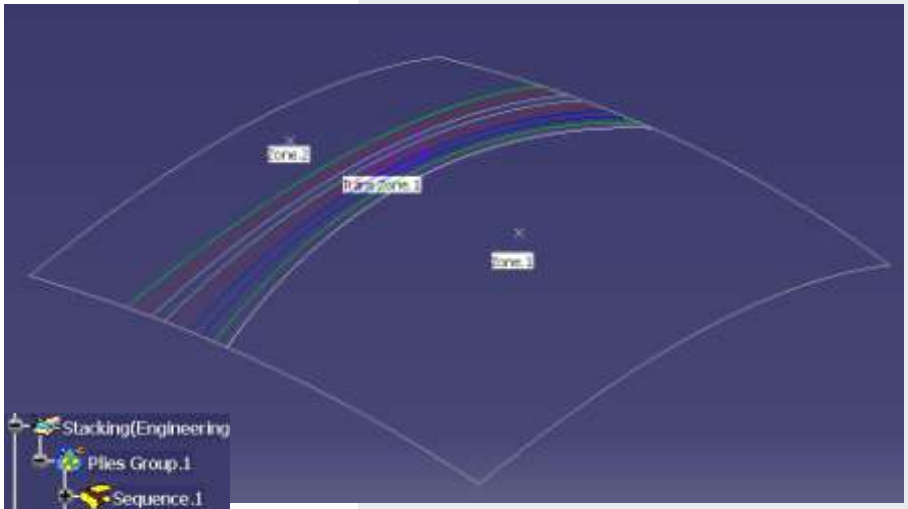


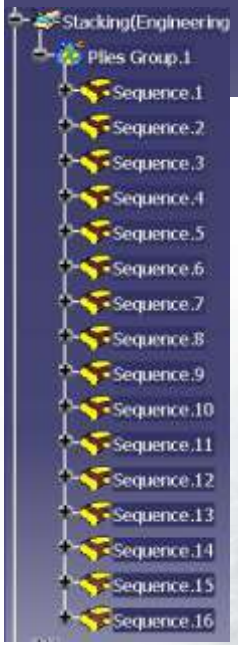


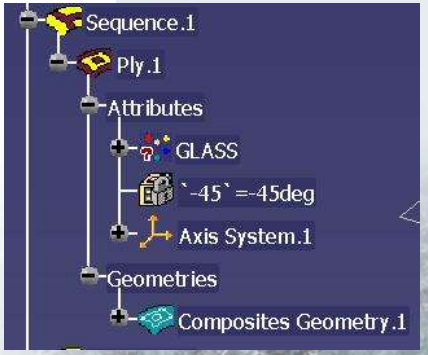
Модуль Composit Design: Формирование слоистой структуры по зонам армирования.

Пример работы с зонами:
4. Генерация слоев.





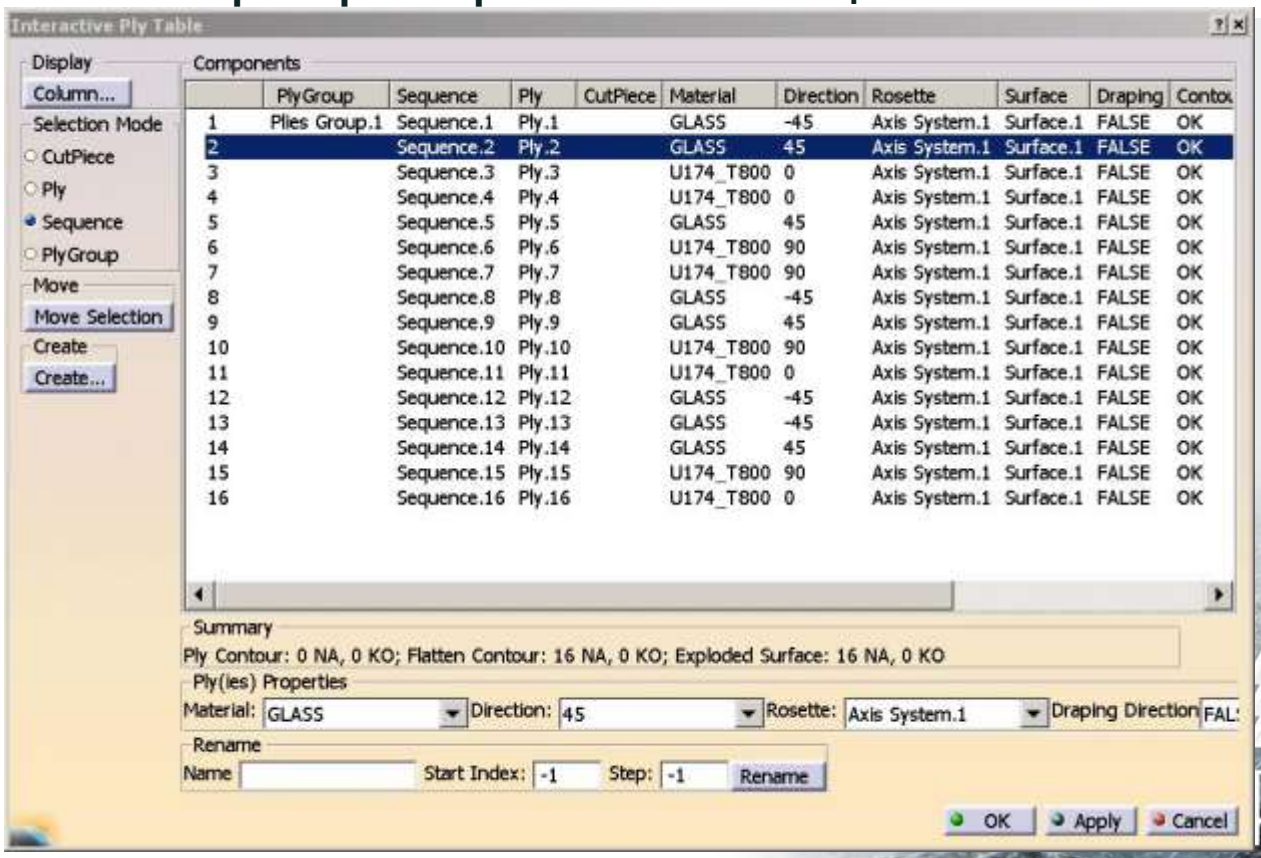




Модуль Composit Design: Формирование слоистой структуры по зонам армирования.

Дальше предстоит уравновешивание структуры, уточнение взаимоположения слоев внутри пакета… Для этого можно выгрузить структуру во внешний файл (Excel) и выполнив эту работу, импортировать структуру обратно в CATIA, или использовать интерактивную таблицу слоев.

Пример интерактивной таблицы:



	PlyGroup	Sequence	Ply	CutPiece	Material	Direction	Rosette	Surface	Draping	Contou
1	Plies Group.1	Sequence.1	Ply.1		GLASS	-45	Axis System.1	Surface.1	FALSE	OK
2		Sequence.2	Ply.2		GLASS	45	Axis System.1	Surface.1	FALSE	OK
3		Sequence.3	Ply.3		U174_T800	0	Axis System.1	Surface.1	FALSE	OK
4		Sequence.4	Ply.4		U174_T800	0	Axis System.1	Surface.1	FALSE	OK
5		Sequence.5	Ply.5		GLASS	45	Axis System.1	Surface.1	FALSE	OK
6		Sequence.6	Ply.6		U174_T800	90	Axis System.1	Surface.1	FALSE	OK
7		Sequence.7	Ply.7		U174_T800	90	Axis System.1	Surface.1	FALSE	OK
8		Sequence.8	Ply.8		GLASS	-45	Axis System.1	Surface.1	FALSE	OK
9		Sequence.9	Ply.9		GLASS	45	Axis System.1	Surface.1	FALSE	OK
10		Sequence.10	Ply.10		U174_T800	90	Axis System.1	Surface.1	FALSE	OK
11		Sequence.11	Ply.11		U174_T800	0	Axis System.1	Surface.1	FALSE	OK
12		Sequence.12	Ply.12		GLASS	-45	Axis System.1	Surface.1	FALSE	OK
13		Sequence.13	Ply.13		GLASS	-45	Axis System.1	Surface.1	FALSE	OK
14		Sequence.14	Ply.14		GLASS	45	Axis System.1	Surface.1	FALSE	OK
15		Sequence.15	Ply.15		U174_T800	90	Axis System.1	Surface.1	FALSE	OK
16		Sequence.16	Ply.16		U174_T800	0	Axis System.1	Surface.1	FALSE	OK

Модуль Composit Design: Формирование слоистой структуры по зонам армирования.

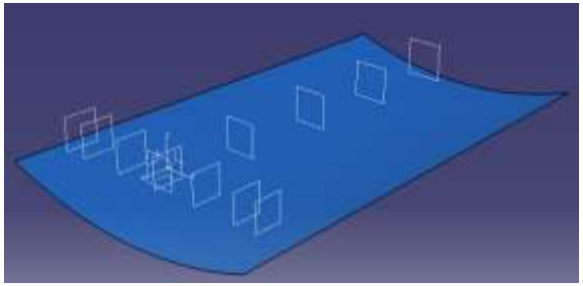
Пример структуры во внешнем файле (Excel) :

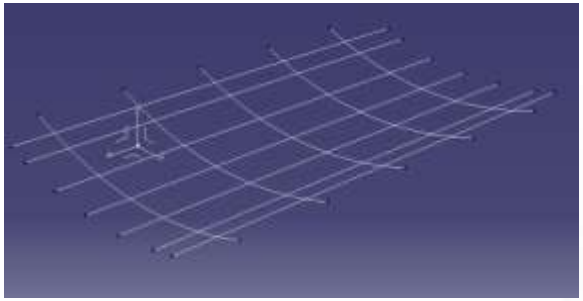
Skin_1aStackUp.xls

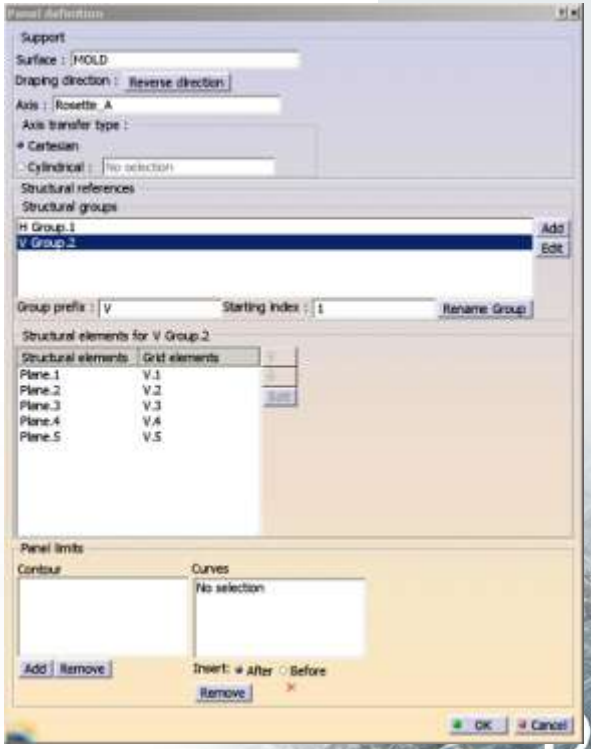
	A	B	C	D	E	F	G
1	Sequence	Ply	Geo-Lvl	Material	Zone.1	Zone.2	
2	Sequence	Ply.1	8	GLASS		-45	
3	Sequence	Ply.2	7	GLASS		45	
4	Sequence	Ply.3	6	U174_T800		0	
5	Sequence	Ply.4	5	U174_T800		0	
6	Sequence	Ply.5	4	GLASS		45	
7	Sequence	Ply.6	3	U174_T800		90	
8	Sequence	Ply.7	2	U174_T800		90	
9	Sequence	Ply.8	1	GLASS		-45	
10	Sequence	Ply.9	8	GLASS	45	45	
11	Sequence	Ply.10	7	U174_T80	90	90	
12	Sequence	Ply.11	6	U174_T80	0	0	
13	Sequence	Ply.12	5	GLASS	-45	-45	
14	Sequence	Ply.13	4	GLASS	-45	-45	
15	Sequence	Ply.14	3	GLASS	45	45	
16	Sequence	Ply.15	2	U174_T80	90	90	
17	Sequence	Ply.16	1	U174_T80	0	0	
18							
19	Total Length of Connections (Diagonal Cells represent total length of free edges						
20		Area(mm2	Zone.1(mn	Zone.2(mm)			
21	Zone.1	1,14E+06	3007,42	1406,85			
22	Zone.2	309340	1406,85	1832,27			
23							
24	Zones Groups						
25	Zones Gro	Zone.1	Zone.2				
26							

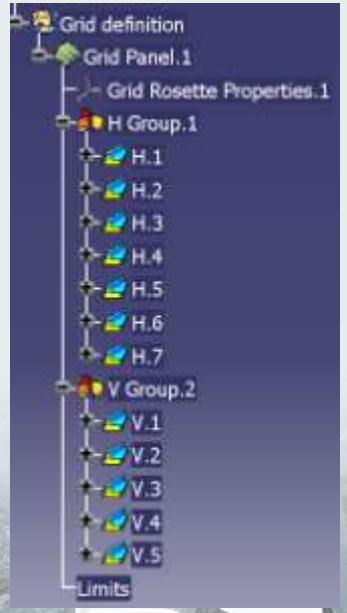
Модуль Composit Design: Формирование слоистой структуры средствами метода GRID.

При проектировании ламинатных деталей, имеющих десятки зон армирования и сложные сбеги слоев, удобно использовать инструменты, обобщенно называемые «GRID». Создается логический элемент «Panel», содержащий в себе информацию о базовой поверхности, сетке кривых, ограничивающих зоны армирования, законы сбегов слоев в зонах переходов и система ориентирования направления волокон.



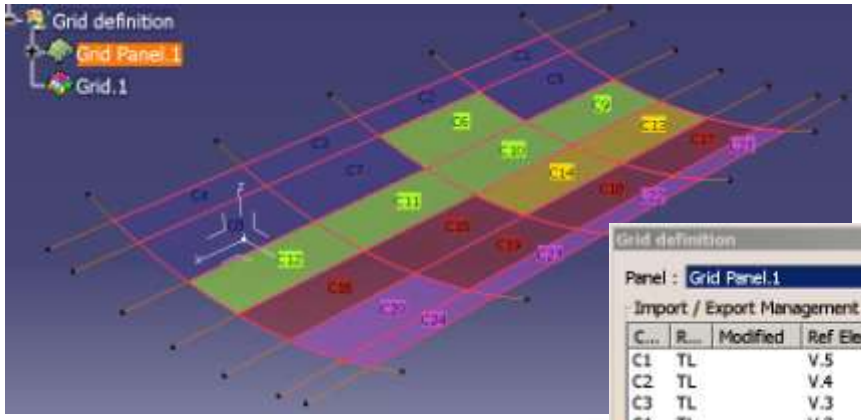


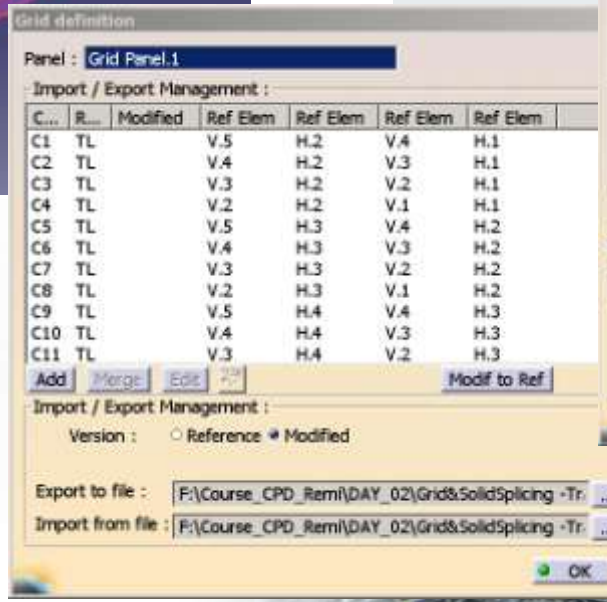




Модуль Composit Design: Формирование слоистой структуры средствами метода GRID.

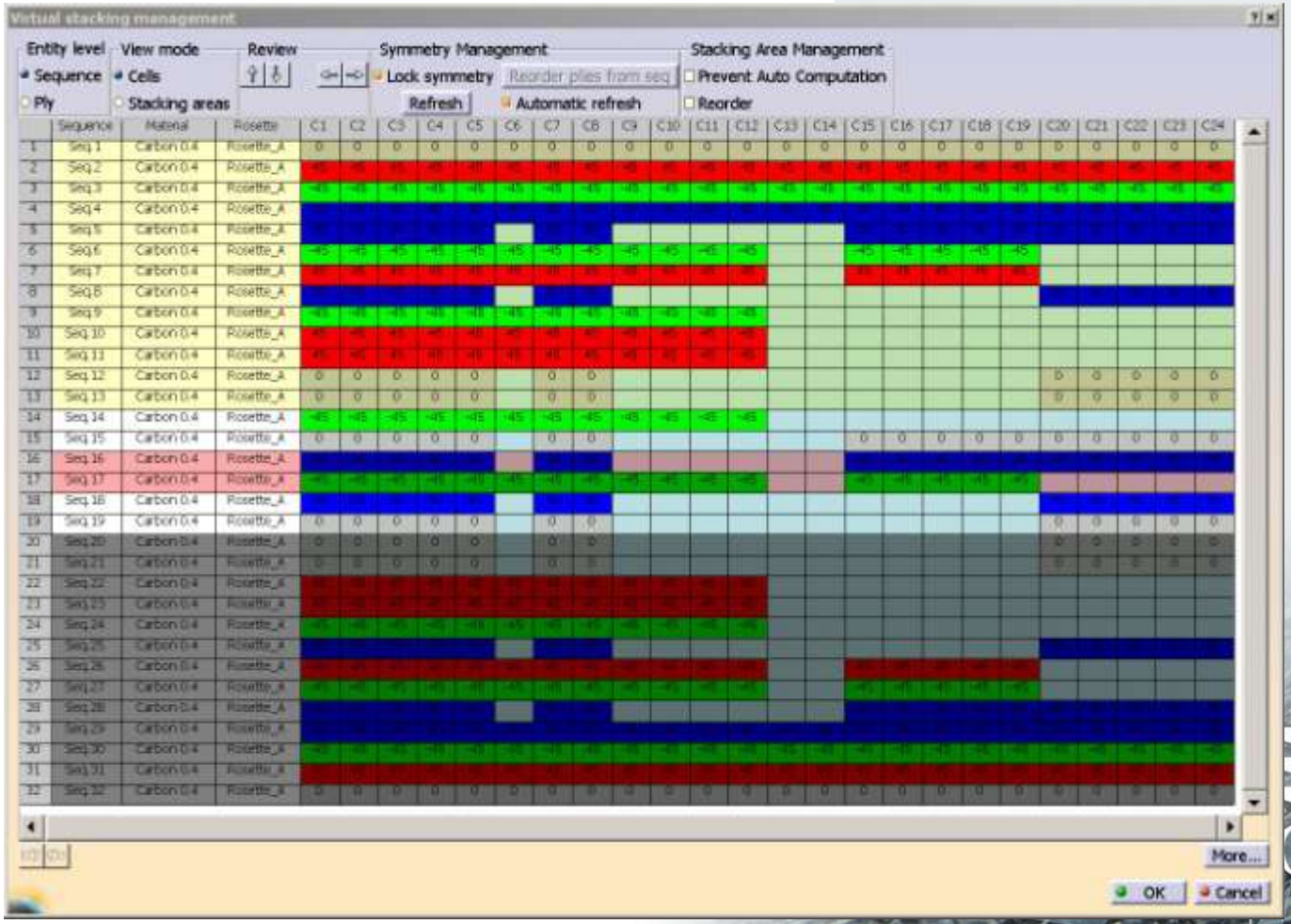
По данным из панели, создается другой логический элемент, называемый Grid, содержащий информацию об армировании полученных зон. После этого становится доступным открыть виртуальную схему армирования, в которой можно автоматически построить симметрию относительно нейтрального слоя, провести редактирования материала, распространения, ориентации, положения в пакете для каждого слоя,





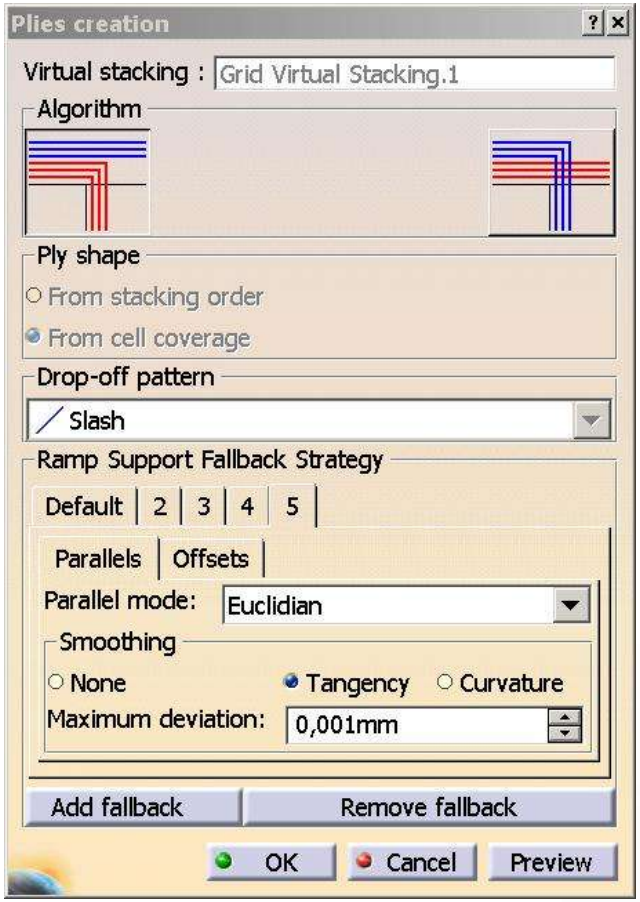
Модуль Composit Design: Формирование слоистой структуры средствами метода GRID.

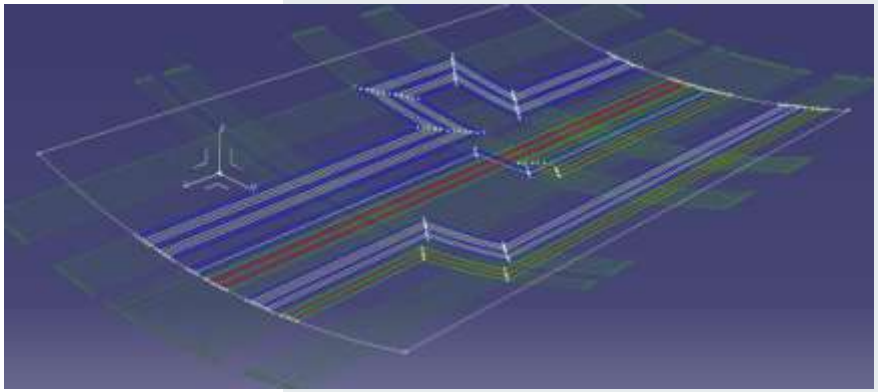
Виртуальная схема армирования (Virtual Stacking Management) позволяет автоматически сделать симметричной слоевую структуру, поменять положение слоя в пакете, заменить материал и ориентацию, изменить границы слоя.

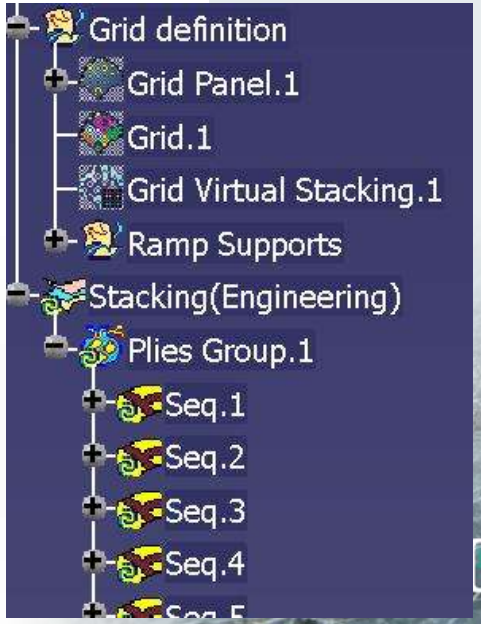


Модуль Composit Design: Формирование слоистой структуры средствами метода GRID.

На основе данных из предыдущих шагов, командой **Plies from Virtual Stacking** рассчитываются границы слоев детали .







Модуль Composit Design: Формирование слоистой структуры средствами метода GRID.

После расчета границ слоев, появляется возможность редактирования структуры с применением следующих команд:

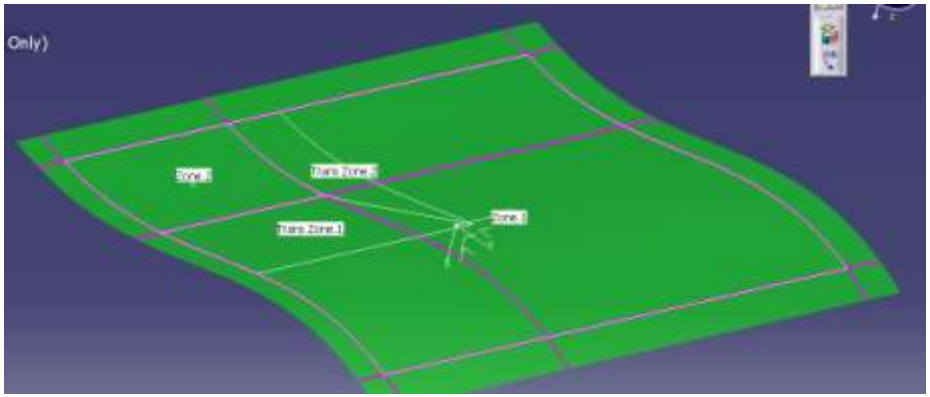
- Поменять местами границы слоев
- Изменить геометрию границ слоев
- Сформировать фаски на группе слоев
- Сформировать сбег слоев
- Создать участки без сбега слоев

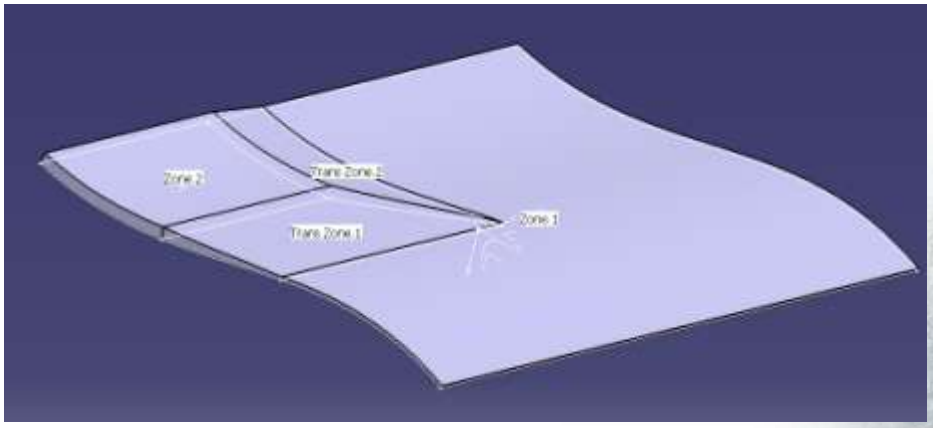
Полученная структура может быть использованная для построения твердого тела и внутренней поверхности

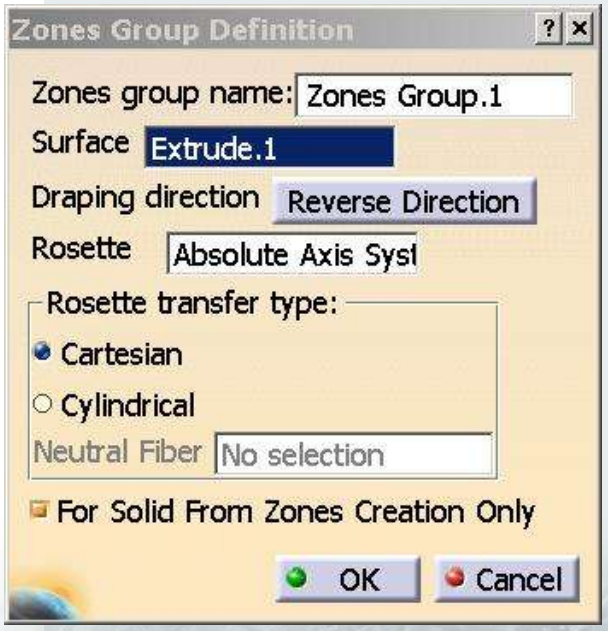
Модуль Composit Design: Формирование слоистой структуры из твердого тела.

В деталях средней сложности можно получать слоистую структуру из твердого тела, построенного по зонам армирования. Для этого создается **ZONES GROUP** с активной опцией **For Solid From Zones Creation Only**. Далее строим зоны и зоны переходов.

Создаем твердое тело по **ZONES GROUP**

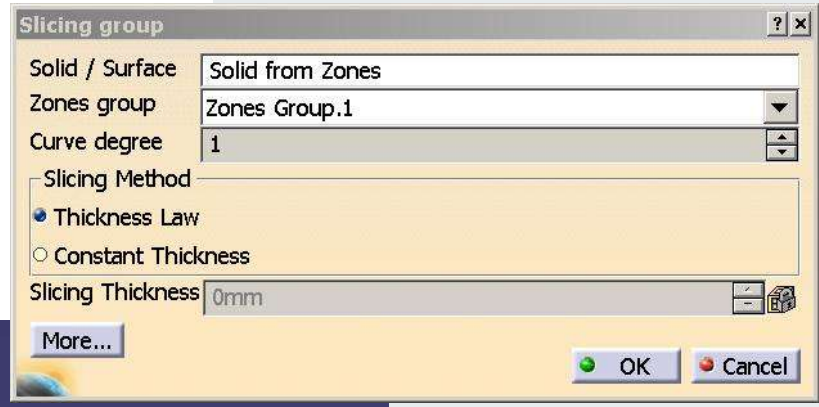


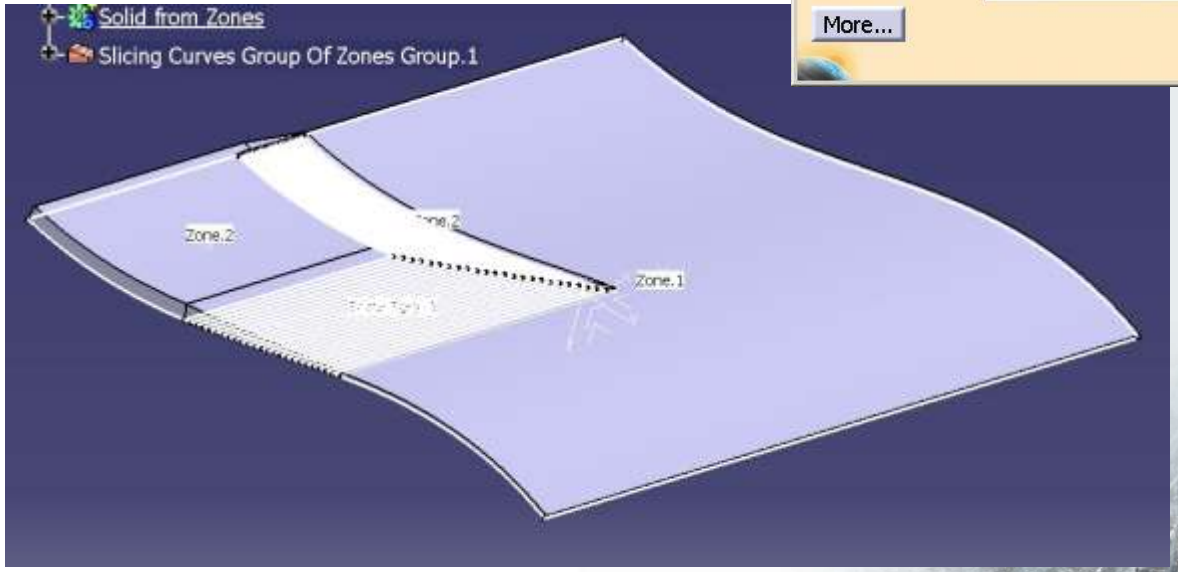




Модуль Composit Design: Формирование слоистой структуры из твердого тела.

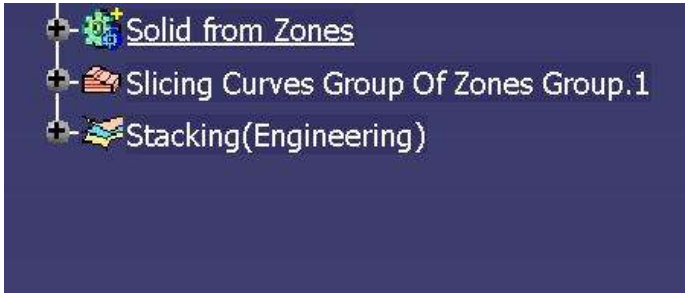
Полученное тело командой Slicing group разбиваем на кривые, по которым в дальнейшем будут построены границы слоев

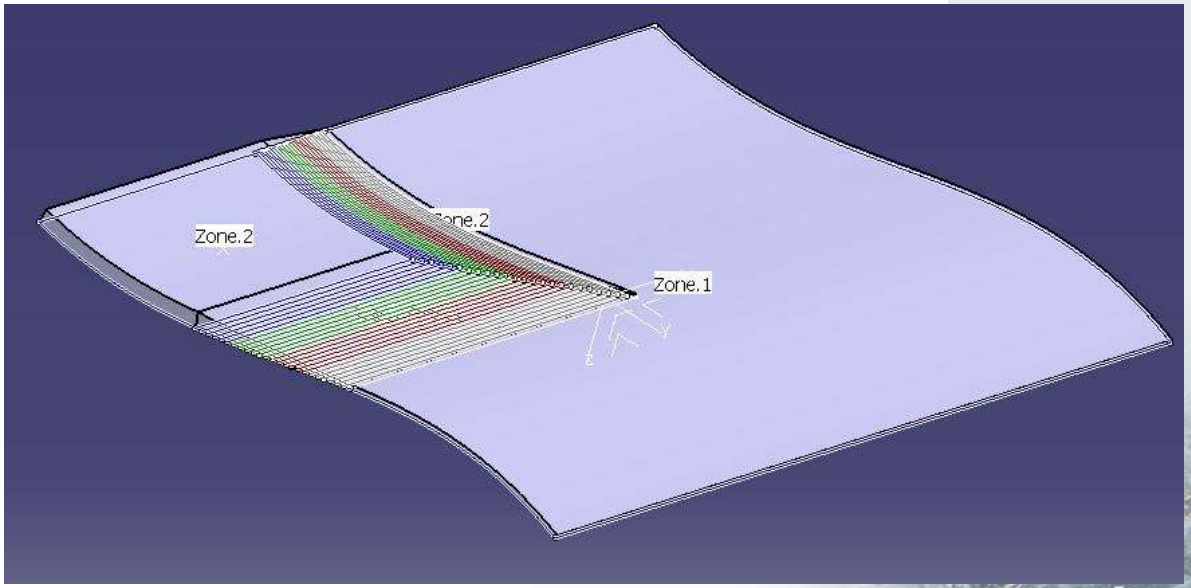




Модуль Composit Design: Формирование слоистой структуры из твердого тела.

Далее командой Plies from slicing получаем уже слоевую структуру, имея тело, которое можем использовать для генерации чертежа и использовании в электронном макете изделия.

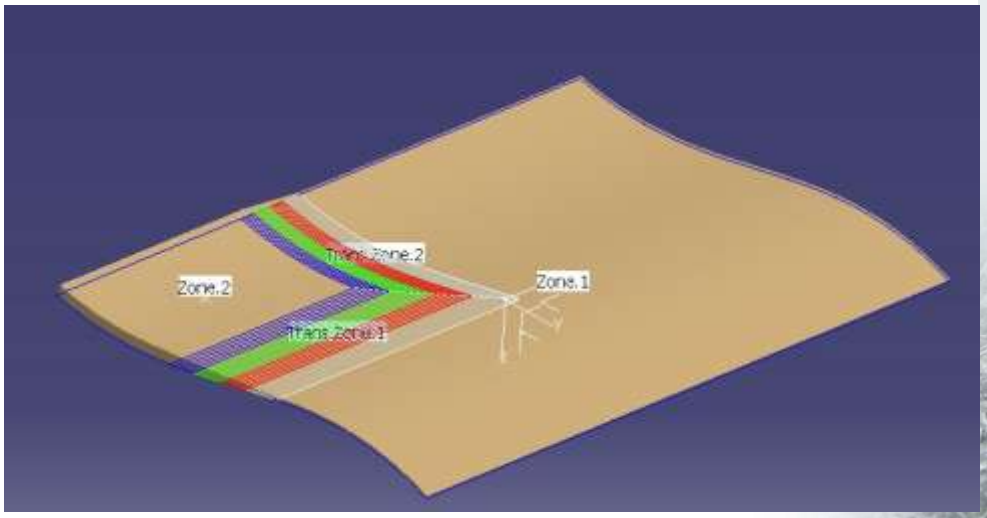




Модуль Composit Design:
Генерация конструкторской документации.

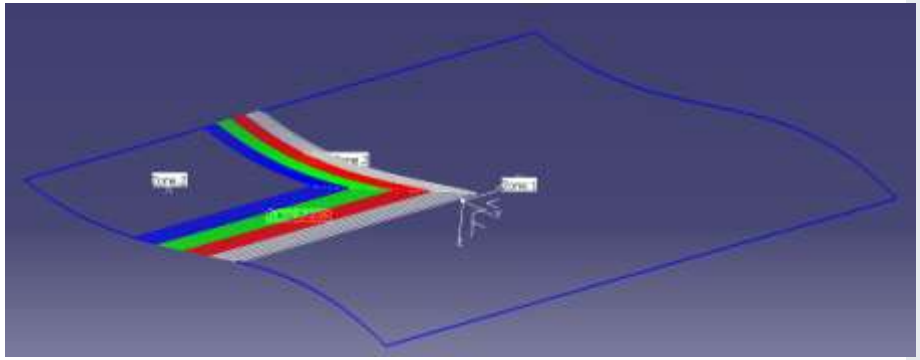
Деталь из КМ в Composit Design имеет два представления – твердое тело и слоевую структуру. Для Формирования чертежа применяются оба – твердотельное для описания габаритов, вырезов, толщин…. Слоистая структура – для описания последовательности армирования. В модуле черчения представлены четыре стиля, каждый из которых отвечает за одно из представлений детали: твердотельное, контуры слоев, разнесенные слои и развертки слоев.

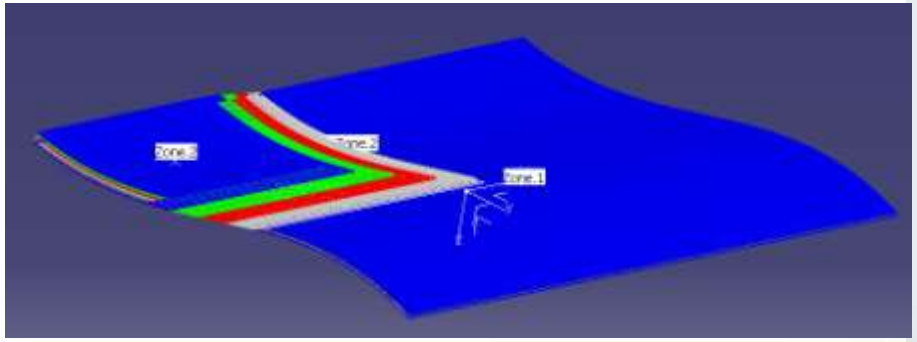
Перед выпуском чертежа, после всех уточнений слоевой структуры надо выполнить операцию разнесения слоев командой **Ply Exploder**. Для получения видов разверток, в 3D предварительно надо выполнить развертки.

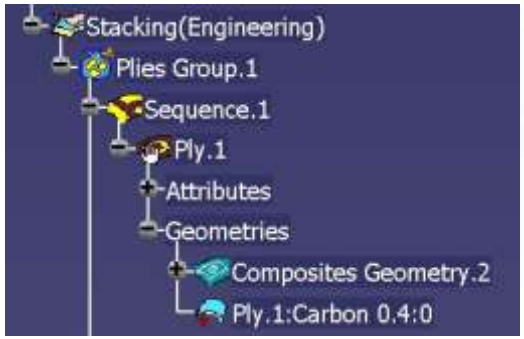


Модуль Composit Design:
Генерация конструкторской документации.

Выполнение операции разнесения слоев командой Ply Exploder

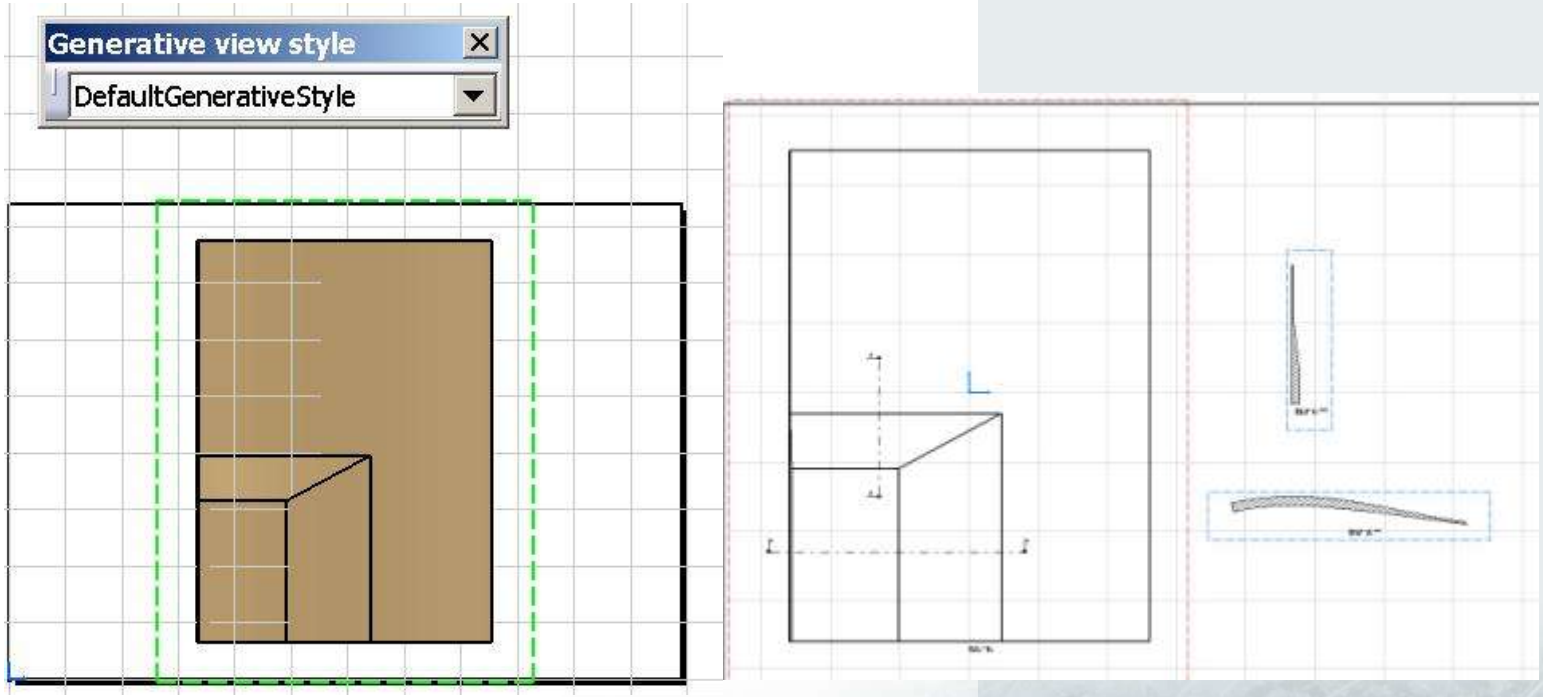






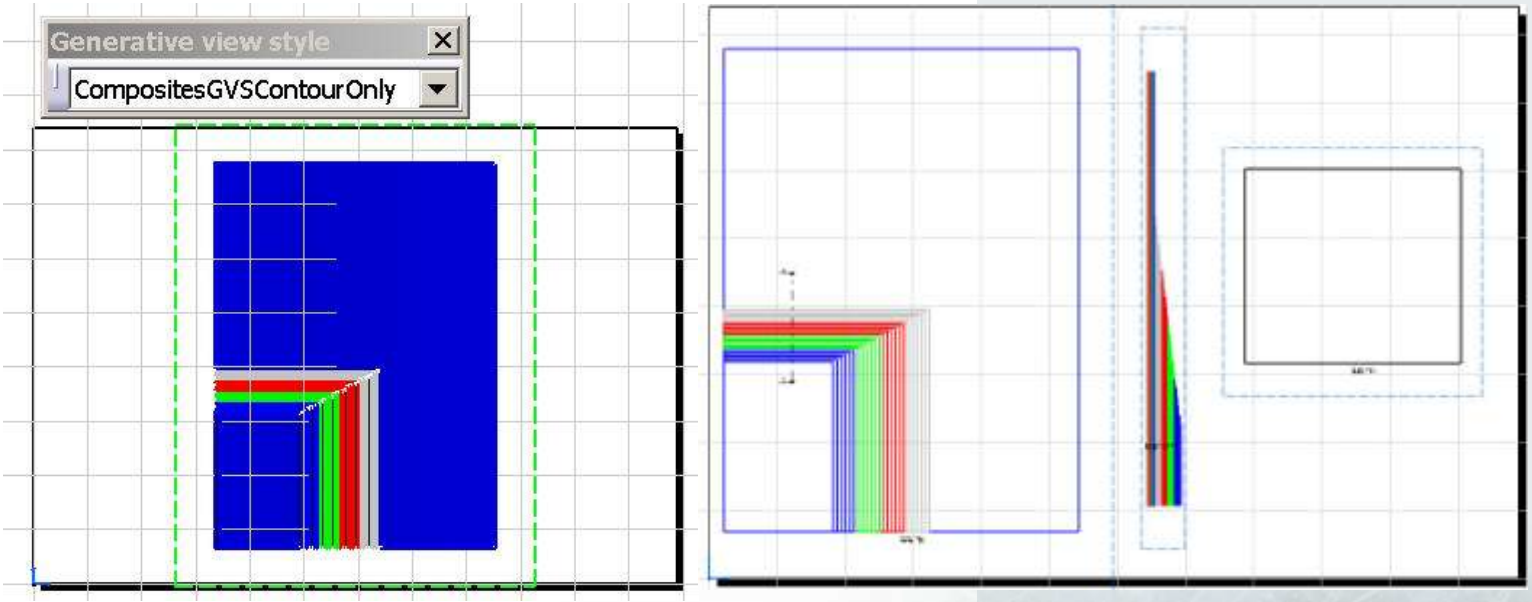
Модуль Composit Design: Генерация конструкторской документации.

Открыв чертежный лист и, применяя стиль DefaultGenerativeStyle, генерируются виды и сечения на основе выбранного твердого тела детали.



Модуль Composit Design:
Генерация конструкторской документации.

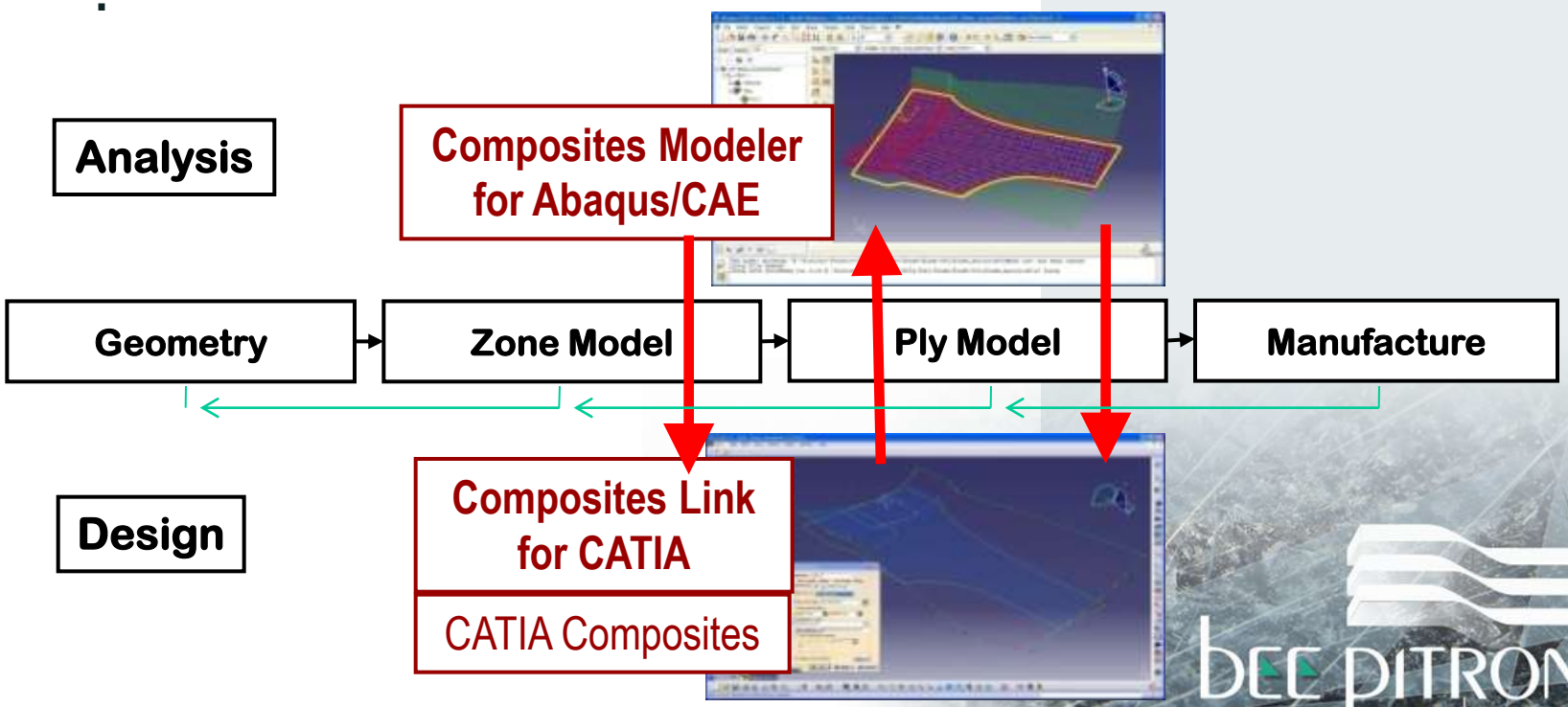
В том же файле, на новом листе генерируем виды , сечения и развертки на основе выбранной слоистой структуры, применяя при этом стили CompositesCVSContourOnly, CompositesCVSExplodedOnly и CompositesCVSFlattenOnly.



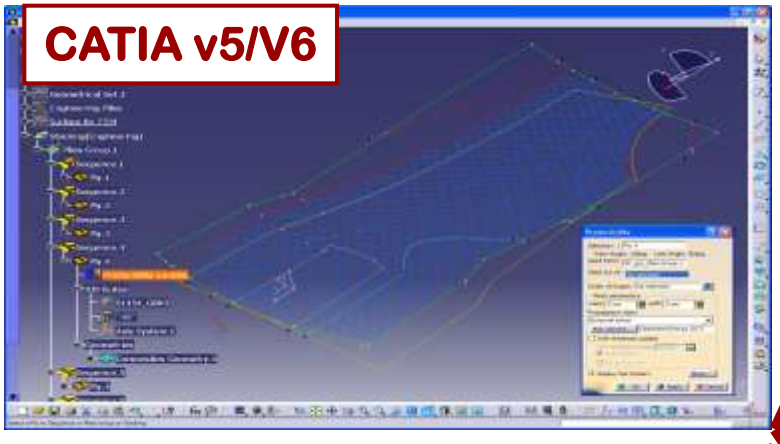
Модуль Composit Design:
Интеграция с программами инженерного анализа.

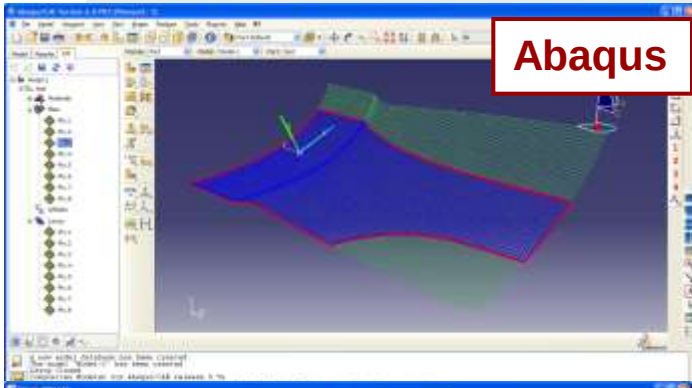
Для выполнения предварительных расчетов можно применять прочностной модуль CATIA Analysis. Данные о структуре и материале воспринимаются напрямую из структуры детали.

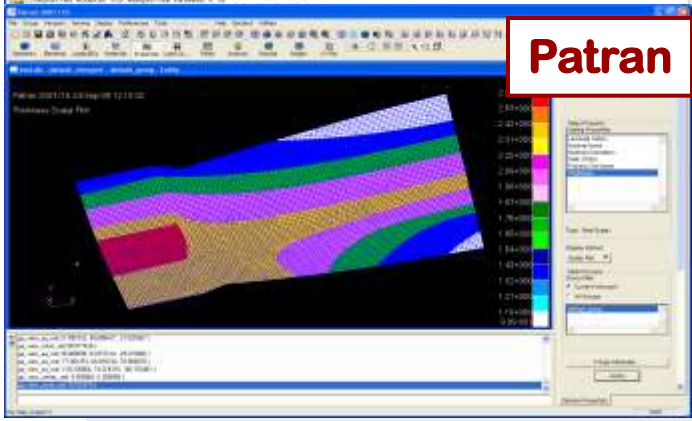
Для проверочных расчетов посредством модуля Composites Link, данные из Composit Design могут со всеми свойствами переданы в NASTRAN , Abaqus или ANSYS.

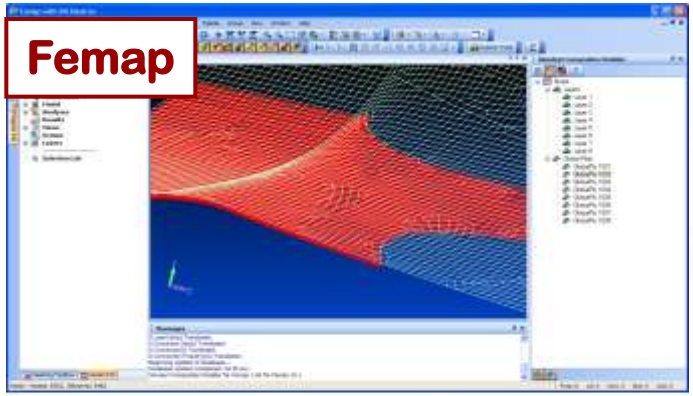


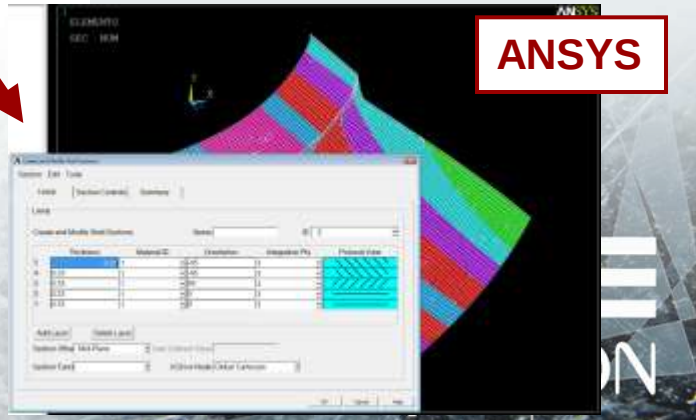
Модуль Composit Design:
Интеграция с программами инженерного анализа.











Поддержка процессов проектирования

Конструктор изделий из ПКМ
- 3D-моделирование, КД, предварительный анализ МКЭ

Конструктор оснастки
- 3D-моделирование, КД

Конструктор материалов
- Выбор компонентов, моделирование свойств ПКМ

Прочнист
- МКЭ анализ, оптимизация издели

Технолог ПКМ
- Разработка техпроцессов ПКМ, моделирование и оптимизация

Технолог мех.обработки
- Разработка традиционных техпроцессов, моделирование и оптимизация

Администратор баз данных
- Ведение и наполнение БД и библиот

Администратор системы
- Интеграция компонентов, поддержк

Основные инструменты для технологической подготовки изделия из КМ:

- Создание технологической модели изделия.
- Перенос слоевой структуры на технологическую поверхность.
- Задание припусков материала.
- Анализ облегания слоями КМ. формообразующей оснастки.
- Получение разверток слоев КМ.
- Экспорт данных для производства.
- Выпуск технологической документации.

bee pitron

Последовательность операций для ручной выкладки

Создание технологической модели

Перенос слоёв на технологическую поверхность

•Задание припусков материала.

Анализ облегания слоями КМ формообразующей оснастки. Выполнение подрезов.

Генерация разверток слоев КМ

Выпуск технологической документации
Экспорт данных для производства

bee pitron

Последовательность операций для машинной выкладки

Создание технологической модели

Перенос слоёв на технологическую поверхность

•Задание припусков материала.

Анализ облегания слоями КМ формообразующей оснастки.

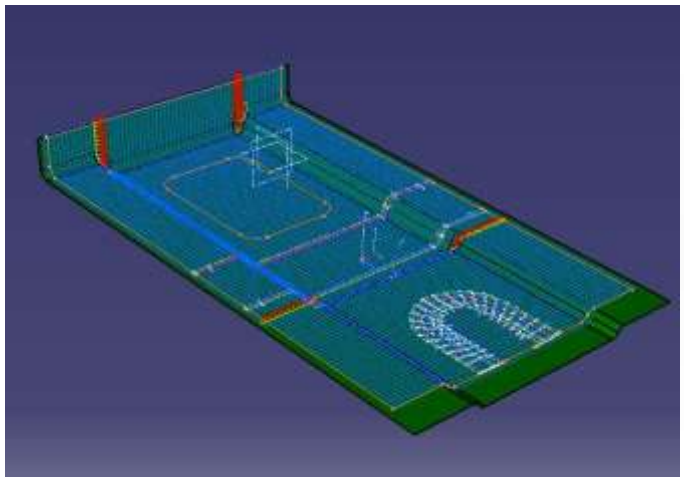
Разделение слоев КМ на полосы препрега станочным препроцессором

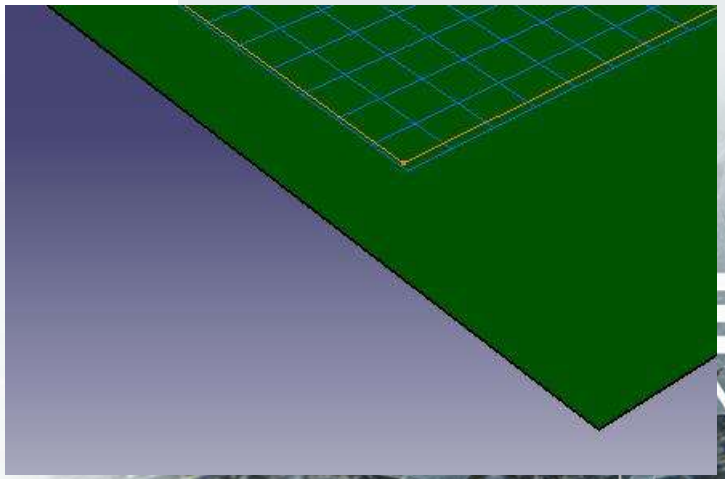
Генерация NC кода
Выпуск технологической документации

Анализ облегания слоями КМ формообразующей оснастки.

При укладке материала на оснастку сложной формы могут образовываться складки материала. При возникновении складок необходимо выполнять подрезы материала или вообще резать слой на более узкие полосы. Для прогнозирования подобных проблем используется анализ облегания материала командой **Producibility.**

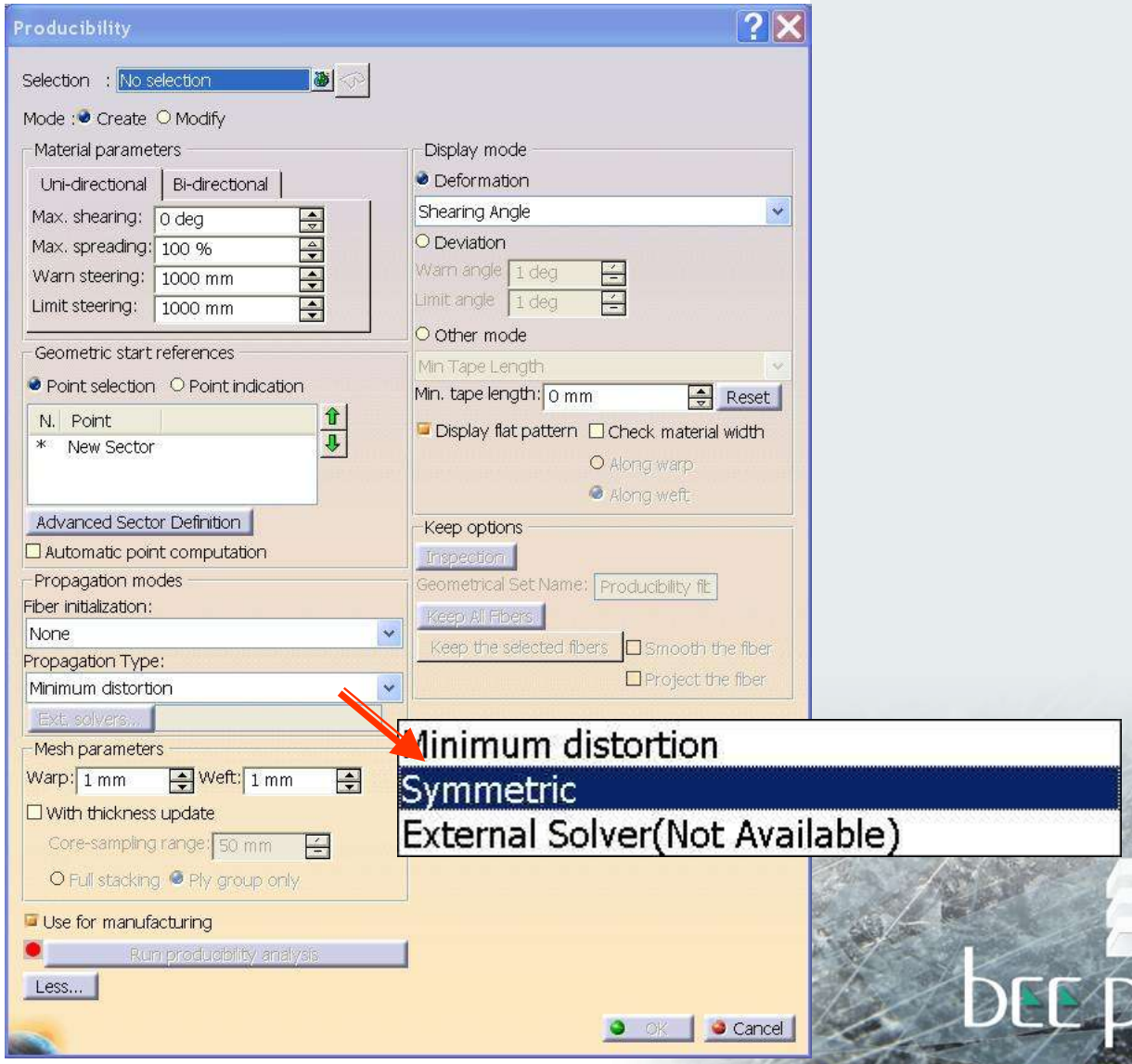
Для анализа создается сетка и система измеряет угловую деформацию ячеек сетки. В местах, где угол превышает предельные для данного материала значения, красным цветом выделяются зоны прогнозируемых дефектов.





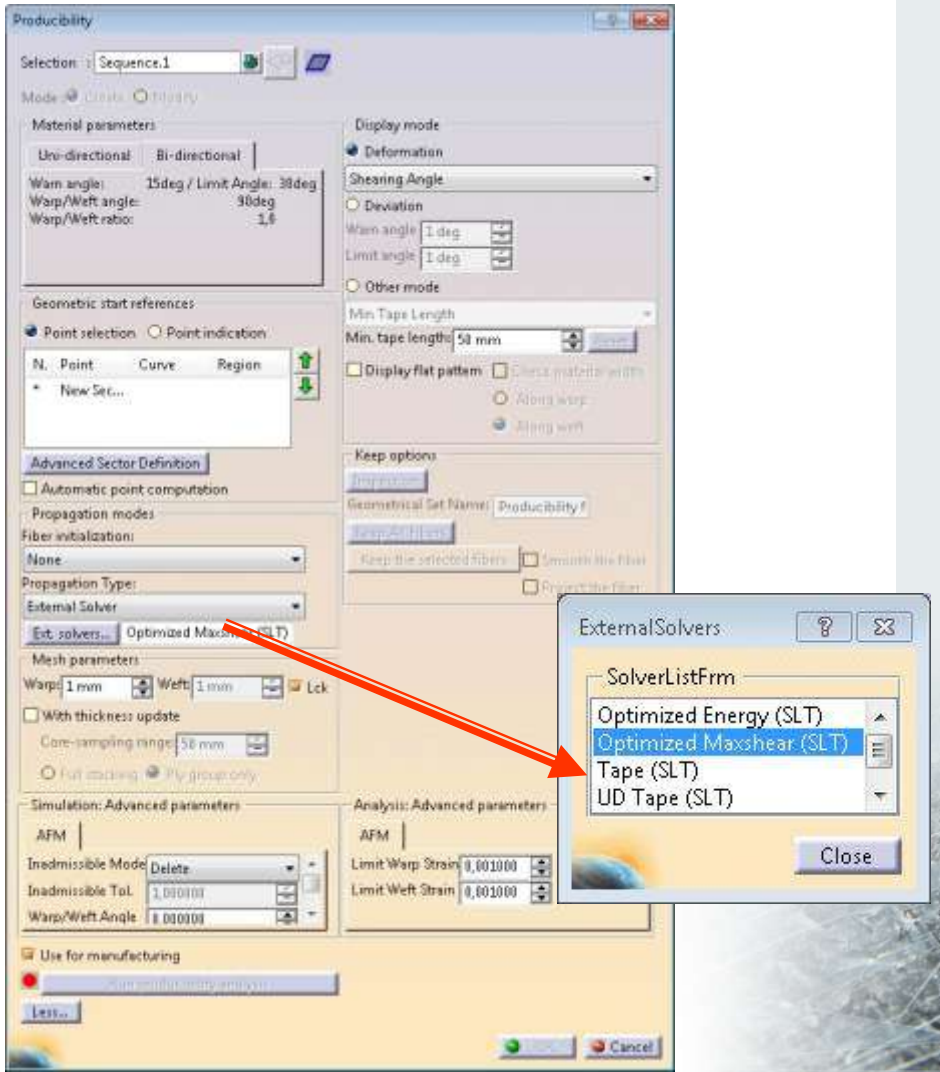
Анализ облегания слоями КМ формообразующей оснастки.

Окно команды Producibility.



Анализ облегания слоями КМ формообразующей оснастки.

Функциональность команды Producibility можно расширить путем инсталляции продукта Advanced Fiber Modeler.

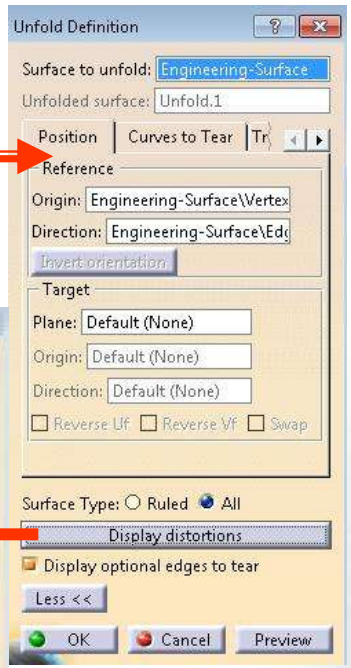


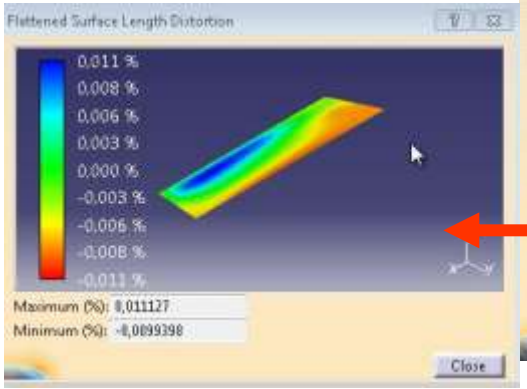
Получение разверток слоев КМ.

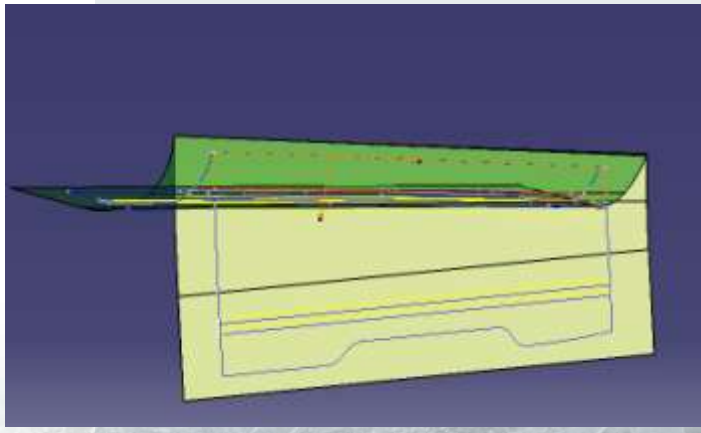
В Composites Design имеются два метода получения развертки:

- Геометрический
- На основе сетки из анализа Producibility

Геометрический метод основан на развертке базовой поверхности и переносе на развертку контуров выбранных слоев.





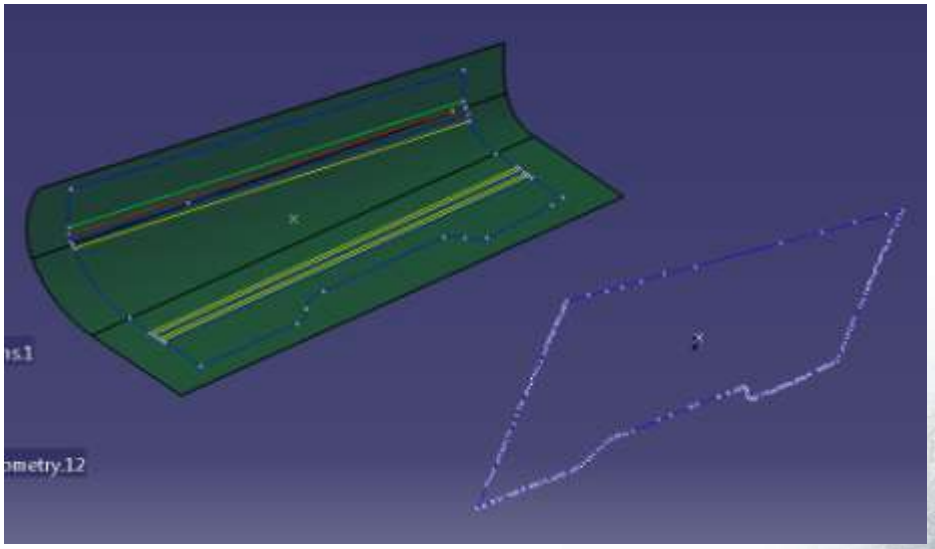


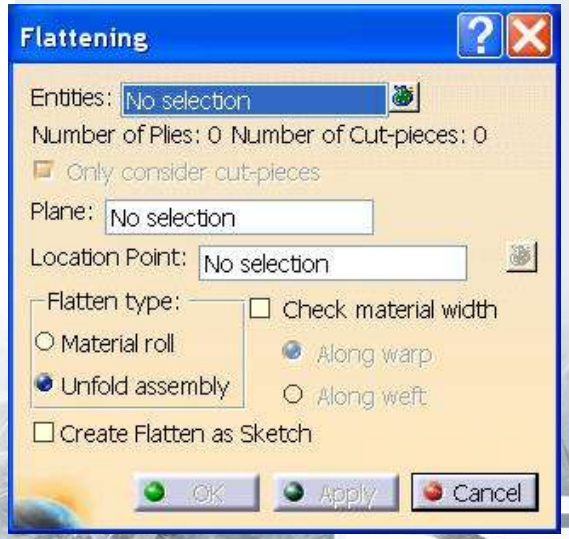
bee pitron

Получение разверток слоев КМ.

Генерация развертки на основе результатов анализа Producibility.

Для расчета геометрии развертки программа использует сетку и точку контакта из анализа Producibility. На выбранной плоскости указываем точку. Программа совмещает эту точку и точку контакта из анализа Producibility, и относительно её рассчитывает контур развертки.



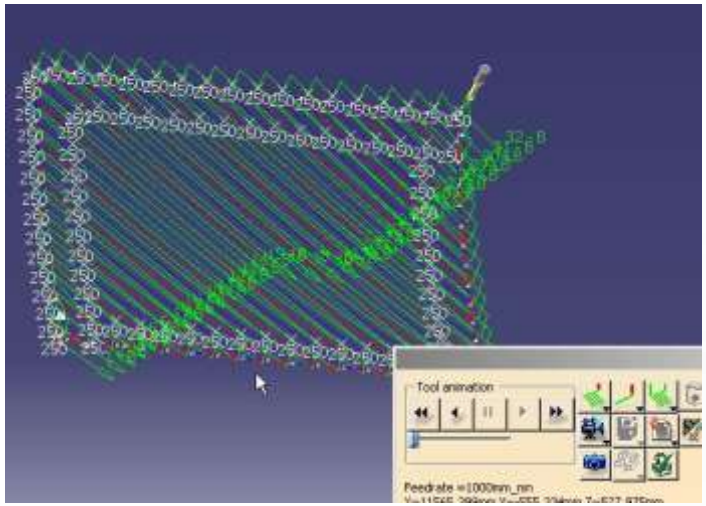


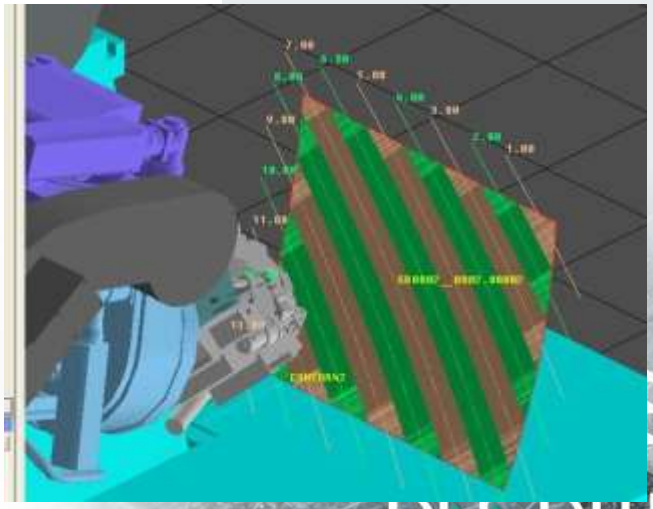
Экспорт данных для производства.

Экспорт данных для производства можно разделить на две группы:

- Данные для машинной выкладки.
- Данные для ручной выкладки.

Для формирования инструкций для машинной выкладки применяется интегрированное в CATIA программное обеспечение, поставляемое производителями оборудования. Геометрия слоёв обрабатывается препроцессором. После чего генерируется NC код для машины.





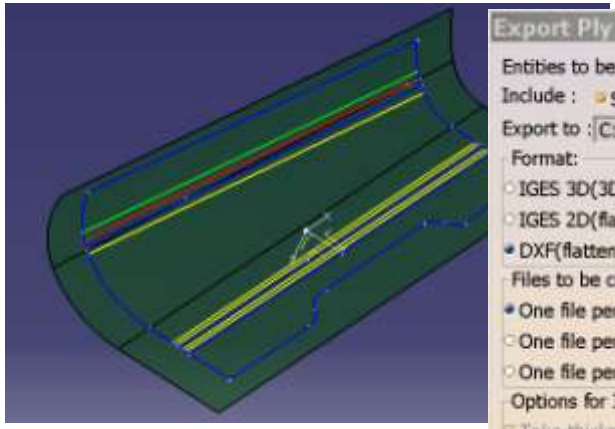
DELPHRON

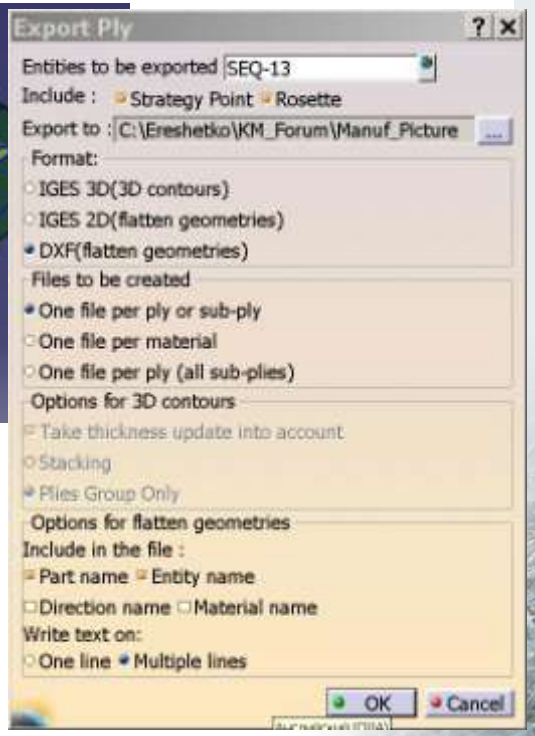
Экспорт данных для производства.

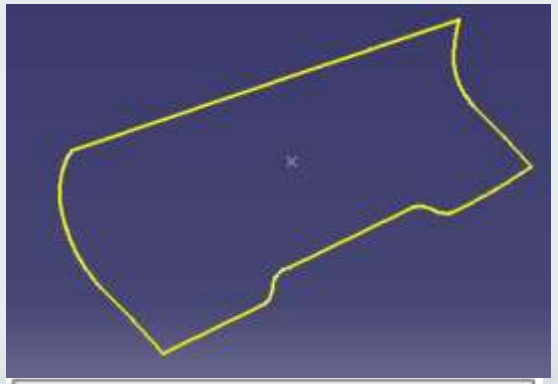
Данные для ручной выкладки:

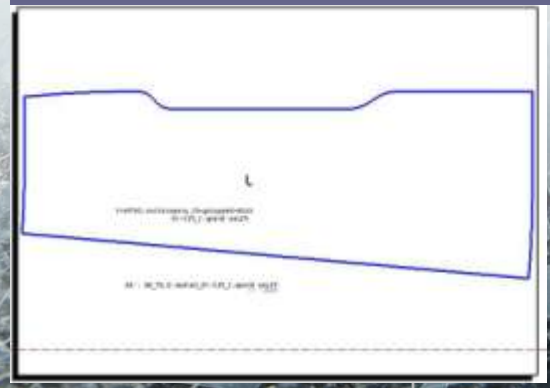
В CATIA имеется возможность выгрузки во вешние файлы:

- **IGES 3D – трехмерный контур слоя в формате igs.**
- **IGES 2D – контур развертки в формате igs.**
- **DXF - контур развертки в формате dxf.**
- **XML – структура детали из КМ в формате xml,**



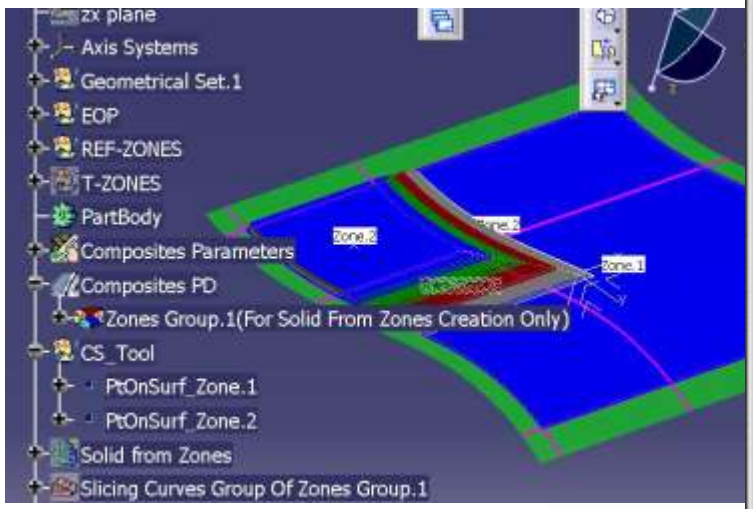


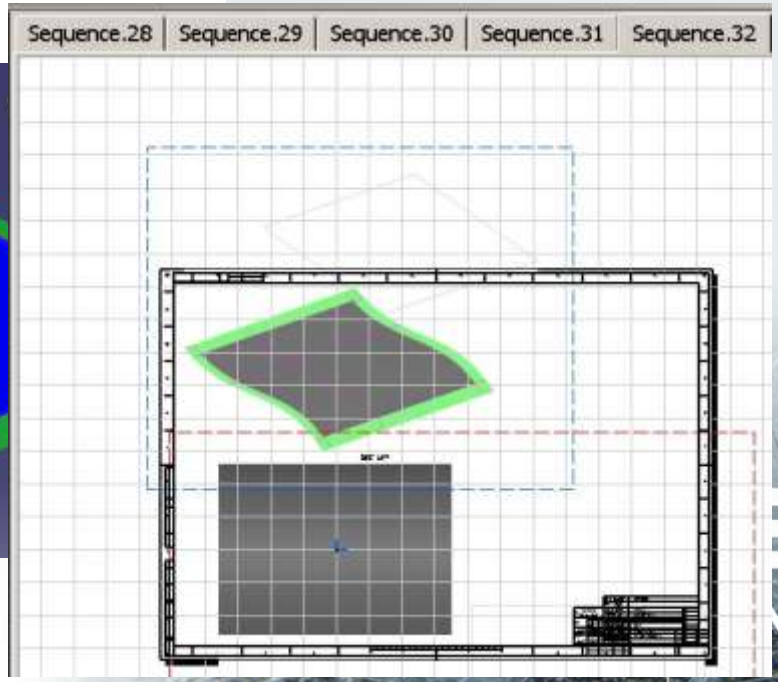




Выпуск технологической документации..

Для упрощения работы при ручной выкладке разработчики CATIA предусмотрели возможность формирования альбома, содержащего в себе информацию о геометрии слоя и его положении на оснастке. Реализовано это в модуле черчения. Формируется первый лист чертежа, на нем создаются необходимые виды с первым слоем и геометрией окружения. Затем командой Ply Book формируются подобные листы чертежа для остальных слоев. Первый лист используется в качестве шаблона для остальных.





Спасибо за внимание.

ГК “БИ ПИТРОН”

С-ПЕТЕРБУРГ главный офис
191014, ВИЛЕНСКИЙ ПЕР., 4
ТЕЛ. (812) 272-1666
ФАКС (812) 272-3869
www.bee-pitron.com

МОСКВА
105082 ул. Б.Почтовая д.5
ТЕЛ. (495) 601-9373
ФАКС (495) 601-9372
ereshetko@bee-pitron.msk.ru

BEE PITRON