Проектирование пространственно-армированных непрерывными волокнами конструкций для аддитивных технологий изготовления (AT)

Прокофьев Г.И. ООО «НПФ РАПС»

тел. +7(812)234 66 77, +7 (901)301 59 35 giprokofiev@yandex.ru

#### Разделы доклада

- 1. Вызовы среды и АТ
- 2. Слоистые и неслоистые конструкции в АТ
- 3. Оптимизация конструкций
- 4. Концепция 2.5D армирования для AT

#### Актуальные аспекты вызовов среды

#### Конкурентоспособность продукции,

процессов и предприятий

- 1. «Дешевле, быстрее, лучше на жизненном цикле»
- 2. Улучшение ТТХ новой продукции в разы (на стадии концептуального проектирования)
- 3. Оптимальные изделия (индивидуального применения)
- 4. Модельно-ориентированная разработка (на всех этапах)
- 5. Соответствие концепции «Индустрия 4.0» (цифровые исполнительные системы, роботизация производства)

**Автоматизированные АТ** встраиваются в тренд конкурентоспособности

#### Существенные особенности АТ

- 1. Материал укладывается на поверхность (добавляется поверх уложенного)
- 2. Требуют свободное пространство для манипуляции рабочим органом исполнительной системы
- 3. Практически не ограниченны габариты и формы изготавливаемых конструкций
- 4. Отсутствие отходов (трудно утилизируемых)
- 5. Дают анизотропию свойств конструкции при многокомпонентном составе материала (композита)
- 6. Материал и конструкция «рождаются» одновременно

# Средства (параметры) оптимизации конструкций в АТ

- Геометрическая форма (структура конструкции создается в процессе концептуального проектирования и мало варьируется при конструкторском и технологическом проектировании)
- Компонентный состав материала (определяется средой эксплуатации и мало варьируется при конструкторском и технологическом проектировании)
- **Схема армирования** (определяется при конструкторском и технологическом проектировании и является основным средством оптимизации)

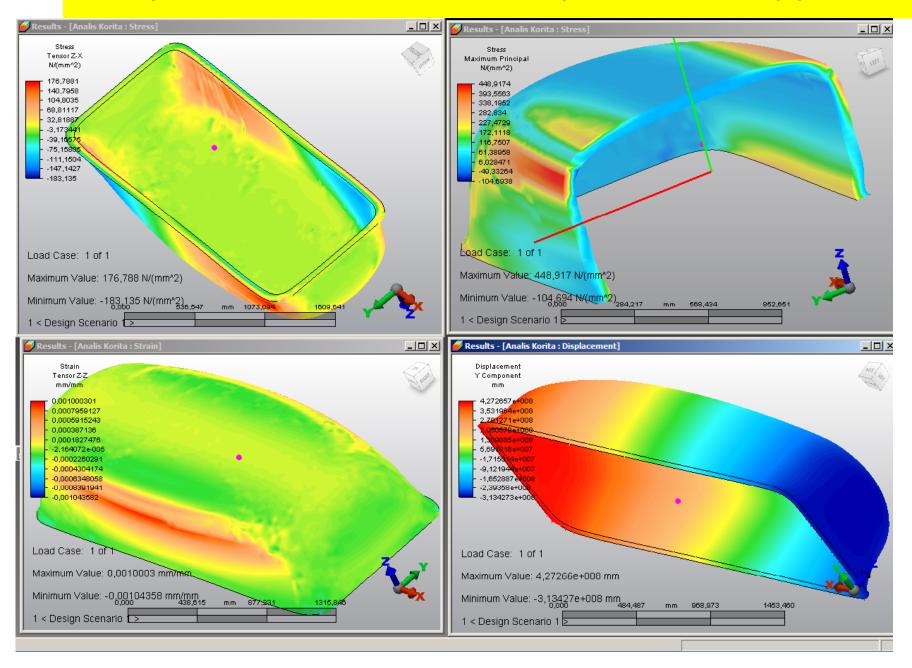
#### Решение 1: АТ изотропных конструкций

(технологии разработки и изготовления)

## На основе изотропных свойств материала конструкции

- Средства конструкторского
   проектирования (машиностроительные САПР: САD, САЕ, САМ)
- -Технологии изготовления, дающие хаотичное расположение армирующих ВОЛОКОН (коротко-волоконные композиты, пластмассы, металлы)
- **СЭНДВИЧИ** (сборка деталей, состоящих из разных изотропных материалов)

#### Результаты анализа НДС изотропной конструкции



## Пример топологической оптимизации геометрии изотропной конструкции



#### НТЦ «АПМ» и МГТУ им. Н. Э. Баумана

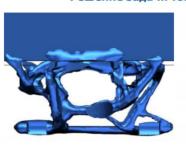
Подрамник грузового тягача 4x2



Пространство проектирования подрамника



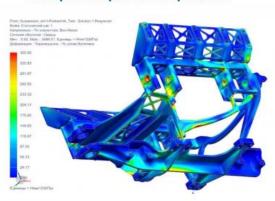
Решение задачи топологической оптимизации



Интерпретация решения в виде деталей



Поверочный расчет на прочность



литой подрамник из недорогой стали

Результат: легкий

Автор: Шаболин Михаил, аспирант 1 года обучения кафедры СМ10

#### Решение 2: АТ с армированием слоев

(технологии разработки и изготовления)

#### На основе анизотропии свойств слоев композита конструкции

(машиностроительные САПР: Siemens NX, CATIA и др., спец. CAПР: FiberSim, CADFiber и др.)



Укладка лент армированного материала на поверхность (одинарной и двойной кривизны)

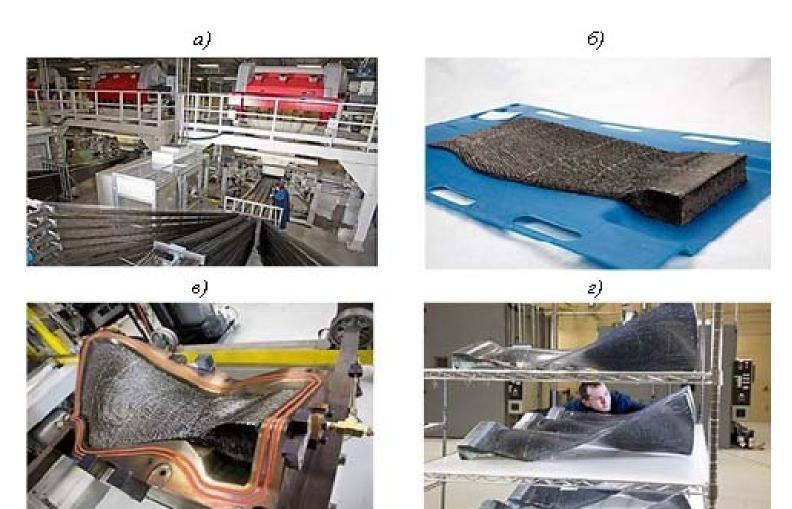
Низкие допустимые касательные напряжения, обусловленные свойствами связующего материала, расслоение материала конструкции.

#### Решение 3: 3D-армирование

(технологии разработки и изготовления)

## На основе анизотропии свойств армированной композитной конструкции

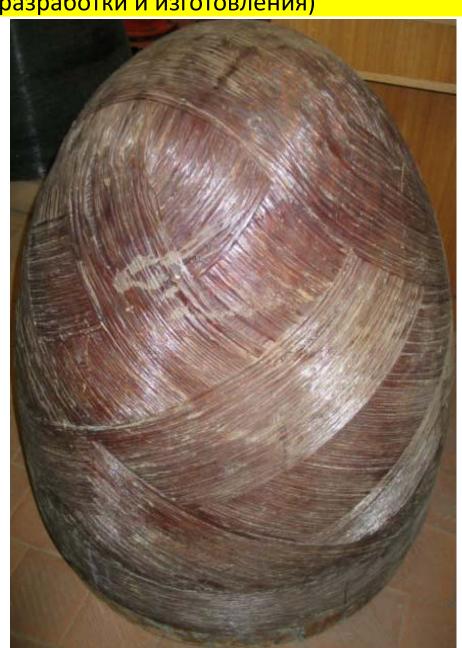
(плетение, ткачество. Технологии разработки автору неизвестны)



#### Решение 4: AT с 2.5D-армированием

(технологии разработки и изготовления)

На основе анизотропии свойств конструкции, полученной посредством формирования очередности укладываемых армирующих лент вдоль заданных траекторий укладки



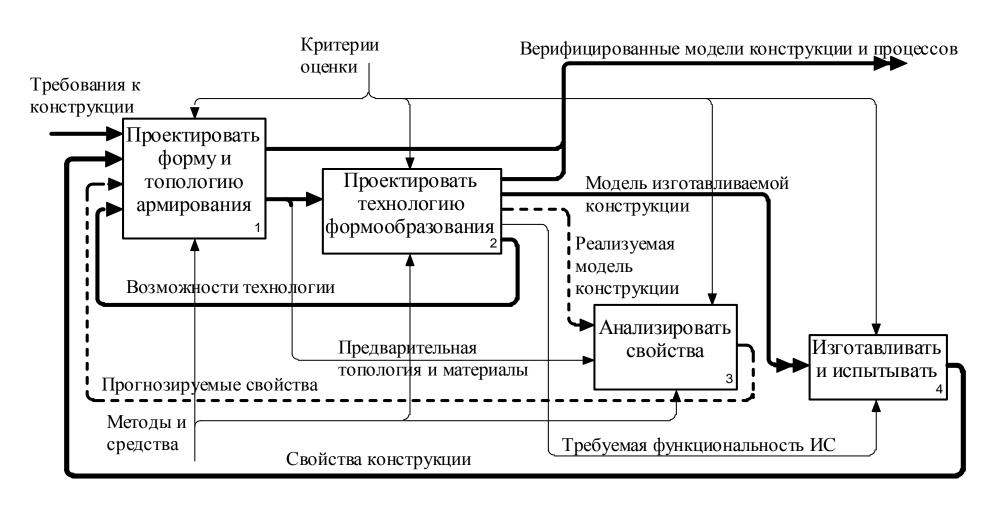
## Проблемы разработки несущих нагрузки конструкций с 2.5D-армированием

- 1. Уметь разрабатывать (проектировать и изготавливать) оптимальные анизотропные конструкции
- 2. Взаимное влияние ограничений процессов проектирования и изготовления (требуется параллельное конструкторско-технологическое проектирование)
- 3. Нет концепции моделирования процессов проектирования и формообразования оптимальных армированных конструкций

# Задачи «параллельного» проектирования оптимальных конструкций с 2.5D-армированием

- 1. Синтезировать форму поверхностей и топологию арматуры (геометрическую модель) оптимальной анизотропной конструкции (конструкторское проектирование).
- 2. Реализовать технологически геометрическую модель конструкции, близкую к оптимальной (технологическое проектирование и формообразование)

# Модель процесса разработки конструкции с 2.5D-армированием С чего начать?



#### Технологическое проектирование

#### Связанно с созданием:

#### моделей

- 1. Армирования конструкции (топологии, схемы армирования)
- **2. Технологически реализуемых траекторий укладки** (с которых не «уходят» натянутые армирующие ленты)
- 3. Технологически реализуемой топологии арматуры конструкции (соответствующей требованиям конструктора)
- **4.** Управления исполнительной системой (коллективом роботов при их работе с перекрывающимися рабочими зонами)

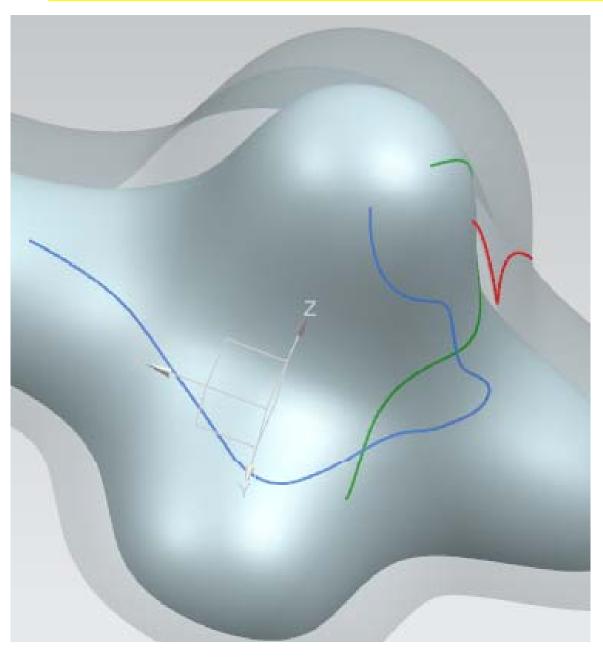
#### **УСТРОЙСТВ** (технологической оснастки):

- 1. Сменных рабочих органов
- 2. Системы снабжения материалами процесса формообразования

#### программ:

- 1. подготовки геометрических и технологических данных
- 2. управления процессом выращивания конструкции

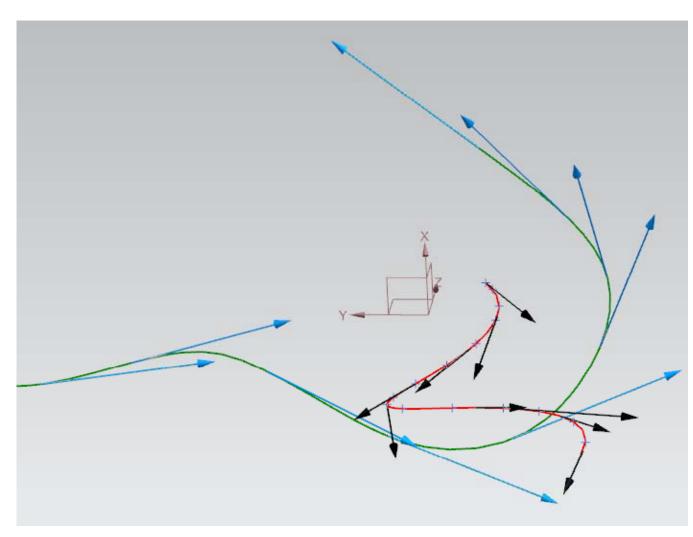
#### Задача технологического проектирования



- 1. Задан объем, занимаемый материалом конструкции, ограниченный поверхностями.
- 2. Задано принадлежащее объему конечное множество траектории армирования, синтезированное в процессе конструкторского проектирования.
- 3. Нужно наполнить заданный объем материалом армированных однонаправленных лент, последовательно уложенных на поверхности укладки вдоль заданных траекторий армирования.

Имеет ли задача решение?16

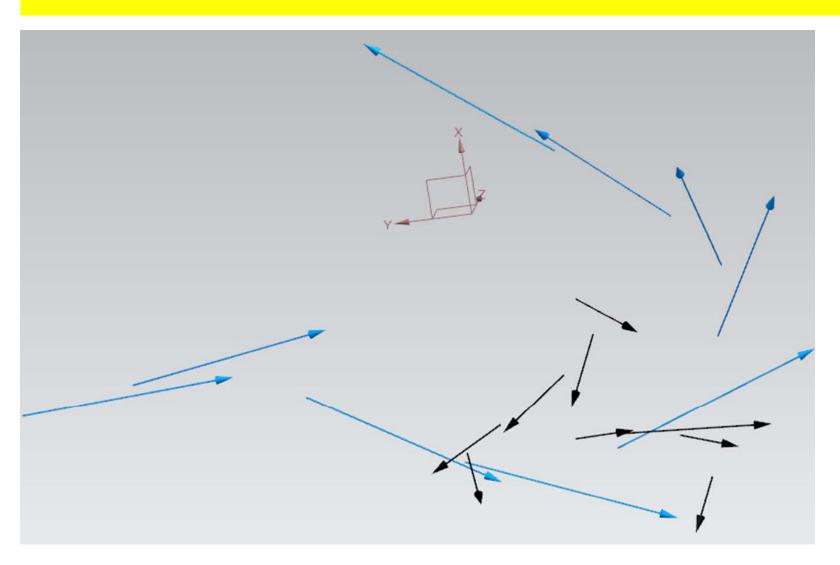
#### Дискретизация траекторий укладки



Непрерывные траектории заменяются конечным множеством касательных векторов в точках траекторий армирования.

Задача: заполнить заданный объем материалом в виде однонаправленных армированных лент, проходящих в пространстве конструкции через начала векторов и касающихся их.

### Векторы армирования, ИСА



#### Положения концепции синтеза топологии АМ

(при технологическом проектировании)

- 1. Исходная схема армирования (ИСА) содержит:
- геометрические модели поверхностей конструкции
- КОНЕЧНОЕ МНОЖЕСТВО ВЕКТОРОВ армирования, начала которых расположены на расстоянии, кратном толщине армирующего материала (AM) от формообразующей поверхности (ФП). В тех областях (объемах) конструкции, где ориентация арматуры может быть произвольной, векторы армирования вырождаются в точки.
- КОМПОНЕНТНЫЙ СОСТАВ МАТЕРИАЛА (атрибуты вектора армирования)
- 2. АМ можно уложить на поверхность укладки (ПУ)
- 3. Синтезируемая на основе ИСА траектория укладки принадлежит ПУ и проходит через начала векторов армирования касательно им
- 4. При синтезе траекторий укладки следует учитывать технологические требования к ним (стабильность положения натянутого АМ на траекториях укладки или/и деформационные свойства АМ)
- 5. ПУ изменяется в результате укладки АМ вдоль траектории укладки. Начальной ПУ является ФП.

#### Пример технологического ограничения



## Общий алгоритм синтеза траекторий укладки и выращивания конструкции

**Начальное состояние** - поверхностью укладки (ПУ) является ФП (ни одна полоса не уложена);

- 1. Претендентами на включение начала векторов армирования в траекторию укладки полосы АМ являются векторы из набора набор векторов, начала которых принадлежат ПУ, у которых одинаковы значения атрибута «материал». Из этого набора выбираются векторы, через начальные точки которых можно построить траекторию укладки, удовлетворяющую требованиям к ней.
- **2. На ПУ синтезируется траектория укладки в пространстве конструкции,** предназначенном для заполнения материалом.
- **3. Строится геометрическая модель полосы АМ**, уложенной вдоль синтезированной траектории на ПВ.
- 4. Векторы, использованные при синтезе предыдущей траектории укладки исключаются из исходной схемы армирования (MCA).
- **5. Объединяются предыдущая ПУ и свободная поверхность уложенной полосы**. В результате выполнения пунктов 3 и 4 получается новая ИСА и очередная ПУ.
- **6. Для очередной ПУ формируется очередной набор векторов армирования**, начала которых лежат на очередной ПУ. С их использованием синтезируется очередная траектория укладки, строится модель очередной полосы уложенного не нее материала.
- 7. Процесс синтеза траекторий укладки и полос на ПУ повторяется пока очередной набор векторов армирования в ИСА не пуст.
- 8. Полосы, выступающие за поверхности конструкции, обрезаются этими поверхностями.

#### Синтез траектории на ФП



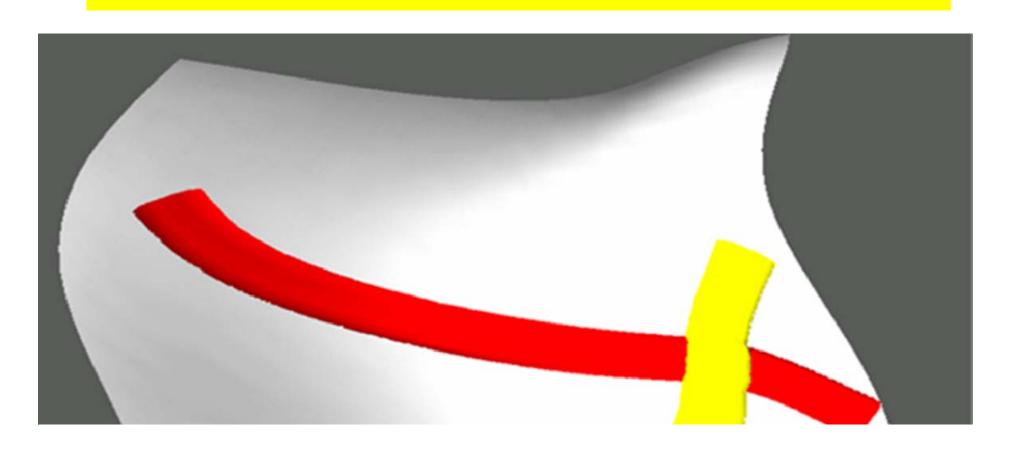
Геодезическая – стабильная траектория

Степень отклонения от геодезической - угол между нормалями к кривой и поверхности

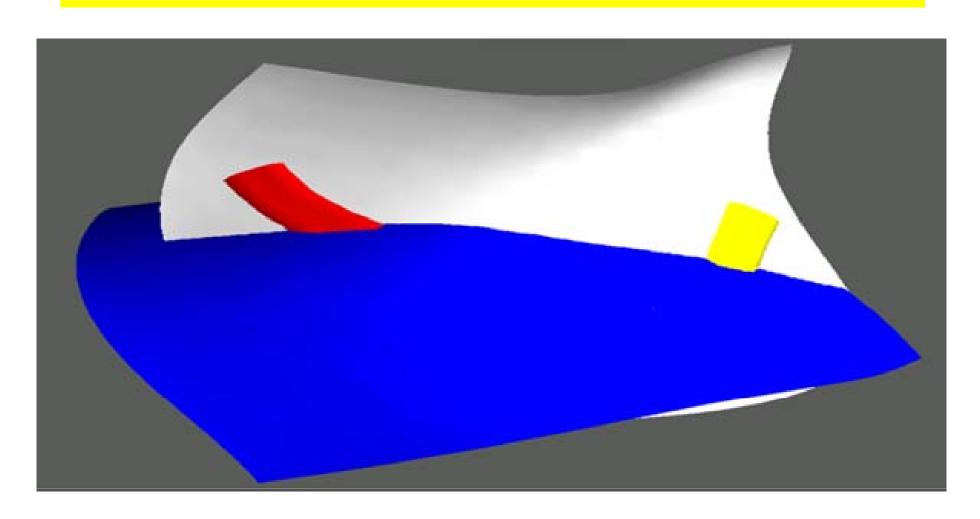
#### Модель армированной полосы на ФП



#### Очередные поверхности укладки



## Обрезка полос внешней поверхностью конструкции



#### Итоги

- 1. АТ позволяют изготавливать 2.5Dармирование неслоистые конструкции с заданным армированием с использованием промышленных систем укладки
- 2. Процессы конструкторского и технологического проектирования 2.5D-армированных конструкций имеют сильные связи
- 3. Методы и средства разработки конструкций с 2.5D-армированием являются перспективными, инновационными и соответствуют концепции «Индустрия 4.0»