

Композитные технологии

2022/23 учебный год

Второй отборочный этап

ОСНОВЫ КОМПОЗИТОВ

Задача IV.1.1. (2 балла)

Темы: классификация композитов, матрицы.

Для изготовления композитной конструкции необходимо выбрать подходящий тип матричного материала.

Условие

Какого из перечисленных композиционных материалов не существует?

1. Полимерные.
2. Металломатричные.
3. Кероматричные.
4. Стекломатричные.

Ответ: 4.

Задача IV.1.2. (2 балла)

Темы: классификация композитов, волокна.

Для изготовления композитной конструкции необходимо выбрать подходящий тип армирующего материала.

Условие

Волокна из какого материала не применяются для армирования композиционных материалов на сегодняшний день?

1. Полимеры.
2. Металлы.
3. Керамика.
4. Стекло.
5. Углерод.
6. Базальт.

Ответ: 3.

Задача IV.1.3. (2 балла)

Темы: классификация композитов, полимеры.

При изготовлении композитов из полимерных связующих могут применяться разные методы отверждения. Один из методов — отверждение УФ-лампами, однако, полимеры такого типа непригодны для изготовления композитных конструкций.

Условие

Какой тип отверждения полимерных связующих не применяется в композитных технологиях на сегодняшний день?

1. Отверждение в сушильном шкафу.
2. Отверждение под ИК-лампами.
3. Отверждение под УФ-лампами.
4. Отверждение в автоклаве.
5. Отверждение при комнатной температуре.

Ответ: 3.

Задача IV.1.4. (2 балла)

Темы: классификация композитов, волокна.

Композиты — это очень большой класс материалов, отличающийся компонентами. Даже если рассматривать только волокнистые композиты — сами волокна могут быть разной формы и размера, и под каждый тип волокон пригодны лишь несколько технологий.

Условие

Какая из перечисленных технологий позволяет не изготавливать композитные конструкции из непрерывных волокон?

1. Напыление.
2. Намотка.
3. Пултрузия.
4. Экструзия.

Ответ: 1.

Производство композитов

Задача IV.2.1. (3 балла)

Темы: технологические процессы, модификация.

Композиты, как сложносоставные материалы, можно дополнительно модифицировать. Для этих целей применяются органические или неорганические частицы, порошки, жидкие составы. Один из популярных способов модификации — введение порошков металлов в полимерное связующее.

Условие

С какой целью применяют наполнители в виде порошков металлов в полимерах, используемых в качестве материалов для подшипников скольжения?

1. Увеличение теплопроводности.
2. Увеличение химической стойкости.
3. Увеличение износостойкости.
4. Увеличение прочности.
5. Снижение коэффициента линейного теплового расширения.
6. Увеличение электропроводности.
7. Увеличение массы.

Ответ: 1, 3, 5.

Задача IV.2.2. (4 балла)

Темы: технологические процессы, подготовка.

Один из наиболее часто встречающихся дефектов полимерных композитов — повышенная пористость. Однако, для нивелирования этого дефекта существуют определенные приемы.

Условие

Вы изготовили композитное изделие на основе полимерной эпоксидной матрицы и углеродной ткани плотностью 200 г/м². Изделие получилось пористым, и не отвечает требованиям технического задания. Какое действие вам необходимо предпринять, чтобы снизить пористость изделия?

Ответ: дегазация.

Задача IV.2.3. (5 баллов)

Темы: технологические процессы, подготовка.

Одна из основных задач финала — выбрать подходящие материалы для изготовления будущей конструкции.

Условие

Предложите материал(ы) наполнителя ПКМ для массового производства радиопрозрачных изделий подверженных интенсивным механическим нагрузкам?

Ответ: стеклянные волокна.

ИСПЫТАНИЯ КОМПОЗИТОВ

Задача IV.3.1. (10 баллов)

Темы: испытания, адгезия.

При разработке конструкции, в ходе финала, нужно будет корректно определить её прочность, чтобы она выдержала итоговые испытания.

Условие

Углеродное волокно диаметром 8 мкм испытали на универсальной испытательной машине методом пулл-аут (pull-out). Толщина слоя полимерной матрицы, в которую было погружено волокно, составляла 2 мм. Максимальная сила при вытягивании волокна составила 5 Н. Рассчитайте сдвиговую адгезионную прочность при вытягивании волокна из матрицы. Ответ привести в МПа и округлить до первого знака?

Решение

$$\tau = \frac{F}{\pi \cdot D \cdot l},$$

где τ — сдвиговая адгезионная прочность;

F — сила вытягивания волокна;

D — диаметр волокна;

l — толщина слоя матрицы.

Таким образом,

$$\tau = \frac{5}{\pi \cdot 8 \cdot 10^{-6} \cdot 0,002} = 99\,522\,293 \text{ Па} = 99,5 \text{ МПа}.$$

Ответ: 99,5 МПа.

Задача IV.3.2. (10 баллов)

Темы: испытания, прочность композита.

При разработке конструкции, в ходе финала, нужно будет корректно определить её прочность, чтобы она выдержала итоговые испытания.

Условие

Прочность образца в форме параллелепипеда из стеклопластика при трехточечном изгибе составляет 0,5 ГПа. Длина образца — 50 мм, ширина образца — 10 мм, толщина образца 3 мм. Какую нагрузку необходимо приложить, чтобы разрушить такой образец при трехточечном изгибе? Ответ привести в Н.

Решение

$$\sigma = \frac{3 \cdot F \cdot L}{2 \cdot b \cdot h^2},$$

где σ — напряжение;

F — нагрузка;

b — ширина образца;

L — длина образца;

h — толщина образца.

Таким образом,

$$F = \frac{2 \cdot \sigma \cdot b \cdot h^2}{3 \cdot L} = \frac{2 \cdot 500\,000\,000 \cdot 0,01 \cdot 0,000009}{3 \cdot 0,05} = 600 \text{ Н.}$$

Ответ: 600 Н.

Задача IV.3.3. (10 баллов)

Темы: испытания, прочность волокна, линейная плотность.

При разработке конструкции, в ходе финала, нужно будет корректно определить её прочность, чтобы она выдержала итоговые испытания.

Условие

Жгут из базальтовых волокон испытали на растяжение на универсальной испытательной машине. В результате испытания получили максимальную силу при разрушении жгута равную 800 Н. Какова будет линейная плотность жгута и его прочность при растяжении, если масса жгута длиной два метра равна 2,4 г? Объемную плотность базальтового волокна принять 2,7 г/см³. Ответ для линейной плотности привести в Текс. Все промежуточные значения округлять до 2-х знаков после запятой. Ответ для прочности привести в МПа, округлить до целого значения.

Решение

$$\rho_{\text{лин}} = \frac{m}{L},$$

где $\rho_{\text{лин}}$ — линейная плотность;

m — масса волокна (г);

L — длина волокна (км).

Таким образом,

$$\rho_{\text{лин}} = \frac{2,4}{0,002} = 1200 \text{ Текс.}$$

$$\sigma = \frac{F}{S},$$

где σ — напряжение;

F — сила;

S — площадь поперечного сечения.

Площадь поперечного сечения жгута:

$$S = \frac{\rho_{\text{лин}}}{\rho_{\text{об}}} = 0,44 \text{ мм}^2,$$

где $\rho_{\text{об}}$ — объемная плотность.

Таким образом,

$$\sigma = \frac{F}{S} = \frac{800}{0,44} = 1818 \text{ МПа.}$$

Ответ: 1200 Текс; 1818 МПа.

КОМПОЗИТНЫЕ КОНСТРУКЦИИ

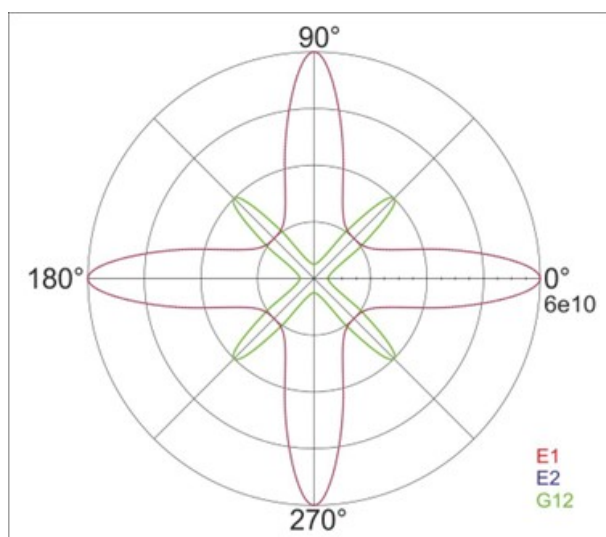
Задача IV.4.1. (10 баллов)

Темы: проектирование, композитные конструкции.

При разработке конструкции, в ходе финала, нужно будет корректно её спроектировать, т. е. определить габаритные размеры, толщины и т. д.

Условие

Мачта представляет собой тонкостенную трубу постоянного круглого сечения наружным диаметром 200 мм. Мачта испытывает сжимающую нагрузку в 80 кН, изгибающий момент 40 кН·м, крутящий момент 10 кН·м. Материал мачты — углепластик, состоящий из нескольких слоев с однонаправленным армированием и нескольких слоев с армированием $\pm 45^\circ$ с толщиной монослоя 0,2 мм. На диаграммах ниже приведены характеристики жесткости для однонаправленного и биаксиального монослоя. Определить минимально допустимую толщину оболочки мачты, если предельно допустимые деформации сжатия и сдвига составляют 0,5%. В расчетах рассматривать нормальные и касательные напряжения изолированно друг от друга. Ответ дать в мм с точностью до 2 знаков после запятой без указания единиц измерения.



Решение

Оптимальная схема армирования композиционной детали подбирается так, что все волокна в изделии по возможности оказываются равнонапряженными. При этом в случае простого напряженно-деформированного состояния растягивающие и сжимающие нагрузки (а также изгиб как их комбинация) преимущественно воспринимаются продольными волокнами (0° к оси), а сдвиговые (в частности, кручение) — волокнами, идущими под углом $\pm 45^\circ$. Однако, как показывает диаграмма зависимости модулей упругости и сдвига от угла армирования, продольные волокна частично воспринимают сдвиг, а диагональные — растяжение-сжатие.

Поскольку речь идет о регулярной зоне, краевые эффекты не учитываются. Нагрузка при этом создает усилия растяжения-сжатия (от суммарного действия сжимающей нагрузки и изгибающего момента) и усилия сдвига (от крутящего момента).

Вклад каждого слоя в каждую составляющую жесткости можно оценить по эффективной толщине монослоя. Она равна отношению модулей текущего и наиболее эффективного слоя, умноженному на толщину текущего слоя: $t = \frac{t_s \cdot E}{E_{max}}$, или $t = \frac{t_s \cdot G}{G_{max}}$, (в зависимости от типа нагрузки).

Толщина монослоя по условию составляет 0,2 мм. Модули упругости и сдвига однонаправленного и диагонально армированного монослоев, определяемые по диаграммам, приведены в таблице:

Направление армирования	Направление действия нагрузки — модуль
0° (растяжение-сжатие) — E , Па	$E_{ud_0} = E_{max} = 1, 20^{11}$
45° (сдвиг-кручение) — G , Па	$G_{ud_45} = 7, 50^9$
0° (однонаправленный)	$E_{diag_0} = 1, 5^{10}$
$\pm 45^\circ$ (диагональный)	$G_{diag_45} = G_{max} = 3, 00^{10}$

Определим по формуле эффективные толщины монослоя:

Направление армирования	Направление действия нагрузки — эффективная толщина, м
0°(растяжение-сжатие)	$t_{ud_0} = 2^{-4}$
45°(сдвиг-кручение)	$t_{ud_45} = 2^{-4} \cdot 7,50^9/3,00^{10} = 5^{-5}$
0°(однаправленный)	$t_{diag_0} = 2^{-4} \cdot 1,50^{10}/1,20^{11} = 2,5^{-5}$
±45°(диагональный)	$t_{diag_45} = 2^{-4}$

По условию задачи, сжимающая сила составляет $P_{comp} = 8^4$ Н, изгибающий момент $M_{bend} = 4^4$ Н, крутящий момент $M_{tors} = 1^4$ Н.

Внешний диаметр мачты равен $d_{ext} = 0,2$ м.

Предельное значение деформации составляет $eps_{max} = 0,005$.

Определим эффективные характеристики сечения для случая армирования $n_0 = 1$ однаправленным и $n_{45} = 1$ диагональным слоями. Суммарная толщина оболочки составит

$$t = t_s \cdot (n_0 + n_{45}) = 4 : -4 \text{ м.}$$

Эффективная толщина для восприятия продольной нагрузки составит

$$t_{0_sum} = t_{ud_0} \cdot n_0 + t_{diag_0} \cdot n_{45} = 2,25^{-4} \text{ м,}$$

для восприятия крутящей нагрузки:

$$t_{45_sum} = t_{ud_45} \cdot n_0 + t_{diag_45} \cdot n_{45} = 2,5^{-4} \text{ м.}$$

Эффективная площадь сечения на сжатие составит

$$F = \pi \cdot d_{ext} \cdot t_{0_sum} = 1,41^{-4} \text{ м}^2.$$

Эффективный момент сопротивления сечения при изгибе составит

$$W_{bend} = \pi \cdot d_{ext}^2 \cdot t_{0_sum}/4 = 7,07^{-6} \text{ м}^3.$$

Эффективный момент сопротивления сечения при кручении составит

$$W_{tors} = \pi \cdot d_{ext}^2 \cdot t_{45_sum}/2 = 1,57^{-5} \text{ м}^3.$$

Для случая армирования $n_0 = 1$ однаправленным и $n_{45} = 1$ диагональным слоями напряжение сжатия составит

$$\sigma_{comp} = P_{comp}/F = 5,66^8 \text{ Па,}$$

напряжение изгиба:

$$\sigma_{bend} = M_{bend}/W_{bend} = 5,66^9 \text{ Па,}$$

суммарное нормальное напряжение:

$$\sigma_0 = \sigma_{bend} + \sigma_{comp} = 6,22^9 \text{ Па.}$$

Поскольку

$$\sigma = E \cdot \varepsilon,$$

деформация сжатия составит

$$\varepsilon_0 = \sigma_0 / E_{max} = 5,19^{-2}.$$

Запас прочности по сжатию составляет

$$k_{comp} = \varepsilon_{max} / \varepsilon_0 = 9,64^{-2},$$

что меньше единицы. Напряжение сдвига составит

$$\tau_{tors} = M_{tors} / W_{tors} = 6,37^8 \text{ Па.}$$

Поскольку

$$\tau = G \cdot \varepsilon,$$

деформация сдвига составит

$$\varepsilon_{45} = \tau_{tors} / G_{max} = 2,12^{-2}.$$

Запас прочности по сдвигу составляет

$$k_{tors} = \varepsilon_{max} / \varepsilon_{45} = 2,36^{-1},$$

что также меньше единицы.

Дальнейшее решение сводится к подбору минимальных значений n_0 и n_{45} , при которых оба запаса прочности окажутся больше единицы. Проще всего это сделать с помощью электронных таблиц, либо макроса на любом языке программирования, используя приведенные выше формулы. Как показывает расчет, для $n_0 = 12$ и $n_{45} = 3$ запасы прочности составляют $k_{comp} = 1,06$, $k_{tors} = 1,13$. Суммарное количество слоев при этом составляет 15, а толщина оболочки — 3 мм.

Ответ: 3 мм.

Задача IV.4.2. (10 баллов)

Темы: проектирование, композитные конструкции.

При разработке конструкции, в ходе финала, нужно будет корректно её спроектировать, т. е. определить габаритные размеры, толщины и т. д.

Условие

Корпус спортивного снаряда представляет собой плоскую трехслойную балку с оболочками из стеклопластика толщиной по 2 мм с укладкой $[0/90^\circ, \pm 45^\circ]_n$. Размеры балки в плане $1 \times 0,26$ метра. Плотность пенозаполнителя 60 кг/м^3 , плотность стеклопластика 2000 кг/м^3 . Балку считать свободно опертой по узким концам, в центре балки действует сосредоточенная сила в 2 кН. Усредненный модуль упругости материала оболочки равен 20 ГПа. Балку считать тонкой, оболочки считать тонкими, собственной жесткостью пенозаполнителя и жесткостью боковых стенок пренебречь. Массой клея и ЛКП пренебречь. Определить минимальный вес корпуса, если максимально допустимый расчетный прогиб панели составляет 20 мм. Ответ дать целым числом в граммах без указания единиц измерения.

Решение

Масса стеклопластика:

$$m_{ст} = 2 \cdot t \cdot b \cdot l \cdot \rho_{ст},$$

где t — толщина балки;

b — ширина балки;

l — длина балки;

$\rho_{ст}$ — плотность стеклопластика.

Масса пенозаполнителя:

$$m_f = d \cdot b \cdot l \cdot \rho_f,$$

где $\rho_{ст}$ — плотность пенозаполнителя.

$$d = \sqrt{\frac{F \cdot l^3}{2 \cdot E \cdot b \cdot t \cdot w \cdot 48}},$$

где F — сосредоточенная сила;

E — модуль упругости материала оболочки;

w — допустимый прогиб.

Таким образом,

$$m = m_f + m_{gf} = 2236 \text{ г.}$$

Ответ: 2236 г.

Задача IV.4.3. (10 баллов)

Темы: проектирование, композитные конструкции.

При разработке конструкции, в ходе финала, нужно будет корректно её спроектировать, т. е. определить габаритные размеры, толщины и т. д.

Условие

Несущий стержень кабеля представляет собой стеклопластиковый прут круглого сечения диаметром 5 мм, получаемый методом пуллтрузии. Определить минимально допустимый радиус намотки прутка на катушку, если модуль упругости вдоль волокна составляет 45 ГПа, предел прочности на растяжение — 1,1 ГПа, на сжатие — 0,7 ГПа, коэффициент безопасности равен 3. Ответ дать целым числом в мм без указания единиц измерения.

Решение

$$r = \frac{E \cdot d \cdot k \cdot \sigma_c}{2} - \frac{d}{2},$$

где r — допустимый радиус намотки;

E — модуль упругости вдоль волокна;

k — коэффициент безопасности;
 d — диаметр сечения;
 σ_c — предел прочности на сжатие.
 Таким образом, $r = 480$ мм.

Ответ: 480 мм.

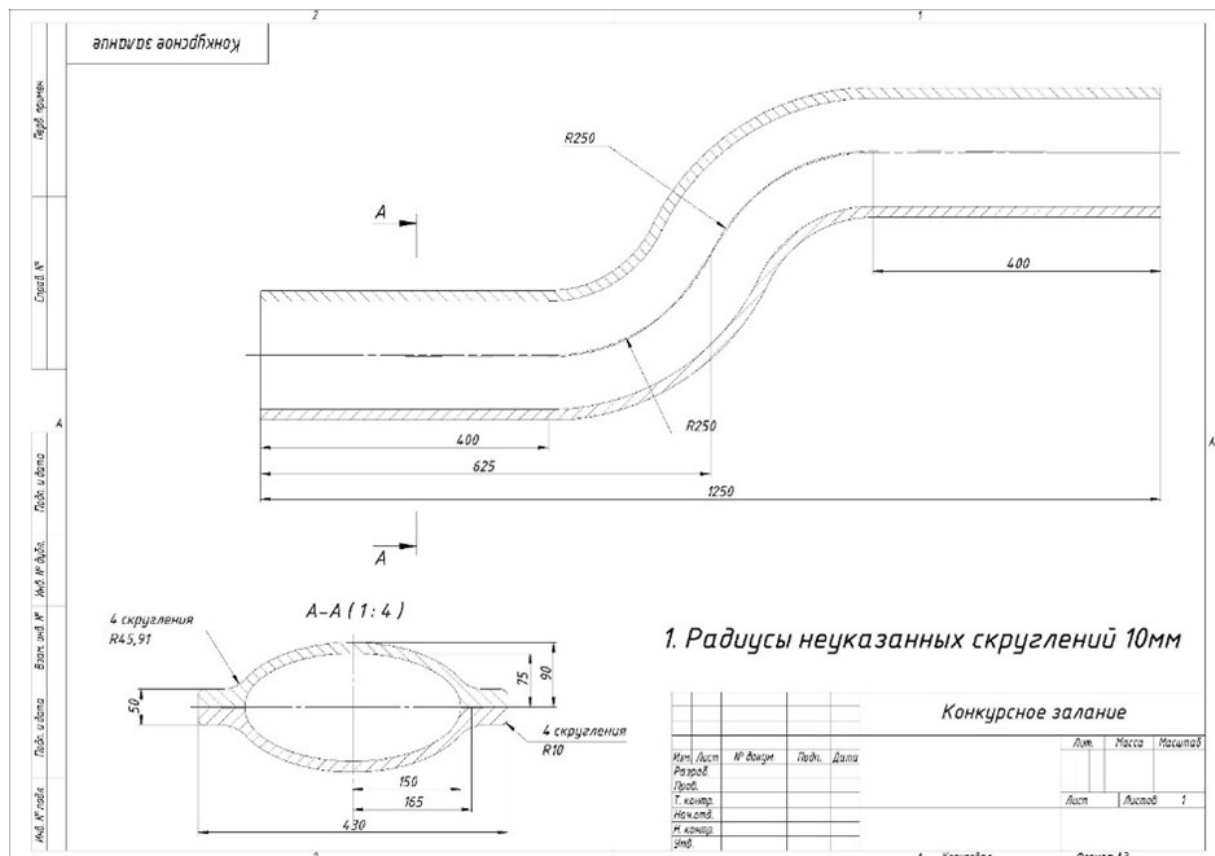
Проектирование

Задача IV.5.1. (10 баллов)

Темы: проектирование, композитные конструкции.

При разработке конструкции, в ходе финала, нужно будет корректно её спроектировать, т. е. определить габаритные размеры, толщины и т. д., а также грамотно оформить результаты своей конструкторской деятельности.

Условие



Вам предстоит разработать полый элемент трубопровода, выполненного из углепластика.

Вам дан чертеж трубопровода из углепластика. За время решения вам необходимо подготовить следующие данные:

-
1. Трёхмерная модель трубопровода, выполненная в Компас-3D. Трёхмерная модель должна представлять собой сборку, содержащую все необходимые элементы. Ко всем компонентам сборки должны быть присвоены текстуры/цвета, соответствующие материалу изделия.
 2. Техпроцесс изготовления трубопровода. Должна быть схематично описана последовательность изготовления, с указанием конкретной технологии (например: Контактное формование. 1. Очистка оснастки ацетоном; 2. Нанесение разделительного состава; и т. д.), а также применяемое оборудование и материалы (не забудьте описать материал и характеристики оснастки (например: валик, кисть, стеклоткань, смола эпоксидная, оснастка односторонняя из МДФ).

Результаты необходимо предоставить в виде одного файла формата .doc или .docx. Максимальный размер файла — 5 МБ. В данном файле должны содержаться ФИО участника, изображения разработанной трёхмерной модели/сборки (не менее пяти изображений в разных ракурсах, где отчетливо показаны все разработанные элементы) и текст с технологическим процессом изготовления.

Критерии оценивания

Участник получает максимальное количество баллов, если в файле формата .doc или .docx представлено:

1. Не менее 5 изображений модели с разных ракурсов.
2. Всем элементам присвоен цвет/свойства, соответствующие цвету реального материала.

Описана технология изготовления трубопровода. При этом, допускается использование технологии вакуумной инфузии, RTM, автоклавного формования, выкладки препрега. Корректность последовательности действий оцениваться не будет.

Решение

Пример оформления:

Оснастка

Модельная оснастка из пластика. Имеются две полуформы. Оснастка проста в обработке, имеет недорогую стоимость и небольшой вес. Такая оснастка будет удобна для среднесерийного производства, так как срок службы модельной оснастки из пластика довольно велик. Является стойкой к воздействию влаги растворителей, стабильный размер.

Техпроцесс

1. Надеть комплект СИЗ и подготовить все нужные материалы и оборудование.
2. Проверить работу вакуумной установки.
3. Подготовить оснастку: проверить полуформы оснастки на наличие дефектов; удалить видимые загрязнения.
4. Сделать шаблон для полуформы: на полуформу выложить клейкую ленту и после обозначить границы при помощи маркера.
5. На препреге маркером отметить раскройку с запасом.
6. Вырезать препрег по отмеченной раскройке.
7. Обработать поверхности имеющихся полуформ ацетоном.

8. Нанести на поверхности полуформ разделительный состав.
9. Выложить в первую полуформу вырезанный препрег и обрезать излишки по границе, а после переклеить их подложку для получения точного шаблона.
10. Раскроить слои препрега первой полуформы меньше; а для второй полуформы — больше точной раскройки на некоторые расстояния так, чтобы обеспечить шахматное перекрытие стыка. Полученные слои выложить в полуформы, используя прикаточный ролик и обеспечивая шахматное перекрытие.
11. Взять трубчатый вакуумный мешок с диаметром больше диаметра канала для устранения натягов при вакууме и уложить в одну из полуформ (саморазъемную пленку можно прикладывать к самой поверхности препрега без дополнительных слоев жертвенной впитывающей тканей).
12. До непосредственного закрытия полуформ нужно наклонить выступающие края препрега к центру, после совместить полуформы и закрепить, используя винты.
13. Для снижения риска прокола вакуумного мешка необходимо обернуть совмещенные полуформы во впитывающую ткань.
14. Отрезать вакуумную пленку с запасом для формирования полного мешка и приклеить слой герметизирующего жгута.
15. Соединить вакуумную трубку с пленкой. Установить фланцы для подключения вакуумных трубок. Закрывать вакуумный мешок и плотно прожать все места с соединением герметизирующего жгута.
16. Подключить вакуумную трубку.
17. Включить вакуумный насос, контролируя изменение положения вакуумного мешка и при необходимости поправляя его складывание во избежание натягов.
18. Выключить вакуумный насос и проверить герметичность на звук. Прожать места соединения герможгута там, где слышен шум. Если вакуумный мешок полностью герметичен, продолжить работу насоса.
19. Выключить насос. Перенести вакуумный мешок с оснасткой в печь, подключить вакуумную трубку и включить нагрев печи. Дождаться отверждения.
20. Достать вакуумный мешок из печи и переложить для охлаждения до комнатной температуры.
21. Расформовка вакуумного мешка. Необходимо разрезать вакуумную пленку, достать трубчатый вакуумный мешок.
22. Выкрутить винты и разделить две полуформы при помощи клиньев. Извлечь готовое изделие и произвести механическую обработку стыка.