

АЛЬТЕРНАТИВА ПРОКОЛОТОГО ОТВЕРСТИЯ – ПРОСВЕРЛЕННОМУ, ПРИ СОЕДИНЕНИИ КОНСТРУКЦИОННЫХ ИЗДЕЛИЙ ИЗ АРМИРОВАННЫХ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Василевич Ю.В.¹, Неумержицкая Е.Ю.², Скворцов К.Г.³, Федотов Д.А.³

- 1) Белорусский национальный технический университет, Минск,
- 2) Академия последиplomного образования, Минск, Республика Беларусь;
- 3) ОАО «Авангард» Сафоново, Российская Федерация.

Альтернативой просверленным отверстиям является формирование их методом прокалывания в еще неотвержденном полимерно-волокнистом материале конструкции. В процессе формирования отверстия с помощью заостренного стержня индентора происходит раздвигание нитей и нарушение регулярной структуры материала изделия. Однако силовое поле армирующих волокон не прерывается. Стенка отверстия из-за повышенного содержания волокон уплотняется.

В результате прокола нити теряют свое первоначальное прямолинейное положение, изгибаются и растягиваются. Наибольшему деформированию подвергаются нити, соприкасающиеся с поверхностью стержня. При этом образуется так называемая «стрелка раскола слоя», протяженность ее составляет несколько диаметров отверстия (рисунок 1). Осуществляют прокол отверстия на стадии, когда композиционный материал находится в состоянии препрега, т.е. когда полимерное связующее неотверждено и обладает минимальной величиной вязкости. В процессе прокола по мере продвижения конической части стержня увеличивается зона уплотнения материала и повышается внутрислойное давление, которое приводит к перетеканию вязкого связующего через пористую волокнистую арматуру материала. При достаточно медленном процессе прокалывания через некоторое время наступает равновесное состояние измененной структуры материала с внедренным в нее индентором.

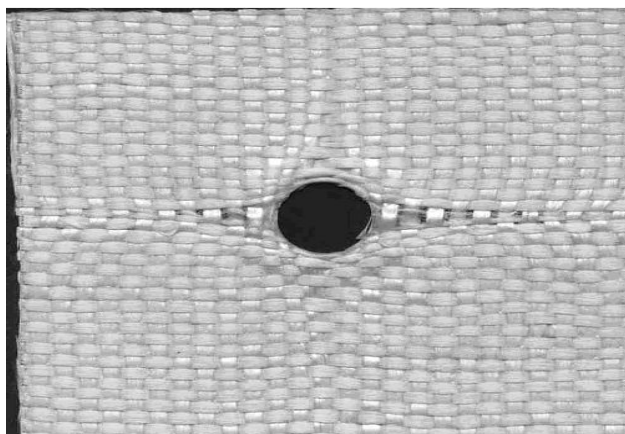


Рисунок 1 – Отверстие диаметром 20 мм, выполненное методом прокола в ткани TP-0,7-80

Несмотря на то, что при получении таких отверстий армирующие волокна остаются целыми, в них создаются растягивающие напряжения, которые могут, при определенных условиях, сохраниться в отвержденном материале в виде остаточных напряжений. В предельном состоянии крайние нити, соприкасающиеся со стержнем, могут даже разрушаться. Существуют технологические приемы снижения этих напряжений. Например, прокалывающий стержень должен иметь переменное сечение, нижняя часть которого имеет диаметр d_c , больше заданного d , а верхняя часть имеет диаметр d . Таким образом, вначале прокалывающий стержень под действием силы P оформляет отверстие диаметром d_c . Под действием этой же силы P стержень продолжает движение и фиксируется в положении, когда верхняя часть стержня диаметром d будет располагаться в отверстии. Образовавшийся зазор ($d_c > d$) вследствие упругих деформаций заполняется неотвержденным материалом, а отверстие уменьшается в размере до диаметра d . В результате напряжения в нитях композиционно-волокнистого материала уменьшаются. В районе отверстия их уровень можно снизить таким способом практически до нуля. При известном диаметре d необходимо знать только размер d_c .

Как видно из рисунка перемещения нитей препрега являются конечными в отличие от материала в твердом состоянии, перемещения точек у которого при нагружении намного меньше. Для препрегов такое отличие становится возможным по многим причинам. Во-первых, структура ткани создается путем переплетения нитей без жесткой связи в узлах переплетения. Во-вторых, гибкость нитей, состоящих из тонких параллельных волокон, движение которых ограничивается только трением между ними при деформировании, обеспечивает тканям свойства, аналогичные свойствам тела с подвижной структурой. В-третьих, для стеклотканей гладкого переплетения зависимость между напряжениями и деформациями описывается соотношениями [1]

$$\varepsilon_{11} = \frac{\sigma_{11}}{E_{11}} + \gamma_{11}, \quad \varepsilon_{22} = \frac{\sigma_{22}}{E_{22}} + \gamma_{22}, \quad \varepsilon_{12} = \frac{\sigma_{12}}{E_{12}} + \gamma_{12}, \quad \varepsilon_{21} = \frac{\sigma_{21}}{E_{21}} + \gamma_{21}\sigma_{11},$$

Где ε_{11} , ε_{22} и ε_{12} , ε_{21} , σ_{11} , σ_{22} и σ_{12} , σ_{21} – соответственно относительные деформации и напряжения семейств нитей утка и основы при растяжении и сжатии; E_{11} , E_{22} и E_{12} , E_{21} – модули упругости при растяжении и сжатии; γ_{11} , γ_{22} и γ_{12} , γ_{21} – неупругие составляющие при растяжении и сжатии. Присутствие в зависимостях неупругих составляющих значительно увеличивает величину относительных деформаций и существенно влияет на перемещения. Поэтому при снятии внешней нагрузки до нуля обратные деформации полностью не восстанавливают первоначальную форму препрегов. Экспериментально установлено, что для ткани Т-10-80 после прокола отверстия диаметром 10 мм после снятия нагрузки диаметр отверстия уменьшается, но не более чем на 1 мм. Установлено, что обратные деформации в этом случае состоят только из упругих перемещений.

1. Василевич Ю.В., Горелый К.А., Сахоненко В.М., Сахоненко С.В., Малютин Е.В. Механика препрегов – расчет изделий из армированных композиционных материалов // Минск: БНТУ, 2016. – 283 с. (Ч.2).