

РАСЧЕТ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ МЕТЧИКА СО ВСТРЕЧНО РАСПОЛОЖЕННЫМИ ВИНТОВЫМИ СТРУЖЕЧНЫМИ КАНАВКАМИ

А.В. Никонов

Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, Россия

С распространением изделий из волоконно-армированных композитов (ВК) в различных отраслях промышленности все актуальнее становится вопрос их эффективной сборки. Наиболее распространенные методы соединений деталей из ВК, к которым относятся склеивание, клепка и применение различных вставок, обладают рядом существенных недостатков, обуславливающих необходимость поиска новых более эффективных решений.

Одним из наиболее перспективных методов сборки деталей из ВК является применение резьбовых соединений, которые получили широкое распространение в виде металлических и полимерных вставок. Однако ряд технологических ограничений, накладываемых на процесс установки данных вставок, вынуждает обратиться к резьбам, полученным в самих композитах. При этом получение резьб возможно как на этапе формовки неотвержденных изделий, что накладывает ограничения на их форму и размеры, так и методами лезвийной обработки, которые в настоящее время мало изучены.

Процесс механической обработки заготовок из ВК значительно отличается от обработки гомогенных материалов. Специфические дефекты обработанных поверхностей, которые свойственны только ВК, обуславливают необходимость разработки специальных инструментов, учитывающих особенности различных видов композитов.

Анализ результатов предварительных экспериментальных исследований по нарезанию резьб традиционными метчиками показал, что наибольшее влияние на качество нарезаемой резьбы в заготовках из ВК оказывают углы резания на вспомогательных режущих кромках, образованных боковыми сторонами профиля резьбы. Для обеспечения благоприятных условий резания на данных участках разработана конструкция специального метчика со встречными винтовыми стружечными канавками.

Для данной конструкции подготовлена методика расчета углов резания на вспомогательных режущих кромках, позволяющая подготовить конструкцию данного метчика под обработку конкретного вида ВК за счет обеспечения оптимальных углов резания, взятых из литературных источников или полученных по итогам натурных экспериментов.

Ключевые слова: волоконно-армированные композиты (ВК), резьба, метчик.

Введение

Волоконно-армированные композиты (ВК) открывают новый подход к изготовлению различных изделий. Путем сочетания в себе свойств минимум двух разнородных материалов удается достичь показателей, недоступных гомогенным материалам.

Наиболее широкое распространение ВК получили в авиакосмической отрасли [1, 2], где особое внимание уделяется легкости и прочности конструкций, которые напрямую влияют на такие важные показатели, как дальность полета, расход топлива, тяговооруженность и т. д. Многочисленные разработки в данной области способствовали распространению КМ в других отраслях, что привело к неуклонному росту изготовления изделий из КМ во многих промышленно развитых странах [3].

В связи с этим актуальной стала задача повышения эффективности технологий изготовления изделий из ВК, и в частности процесса лезвийной обработки. Отсутствие рекомендаций вследствие специфики структуры ВК по сравнению с традиционными гомогенными материалами [4] и особенностей обработки резанием заготовок из ВК [5], а также недостаточный объем накопленных данных приводят к необходимости проведения глубоких исследований в данной области.

Качество деталей из ВК после операций механической обработки напрямую влияет на процесс их последующей сборки. Среди существующих типов соединений наибольшее распростра-

нение в случае с полимерными ВК получили неразъемные (склеивание и клепка) и разъемные, в особенности болтовые, соединения. Оба типа обладают существенными недостатками. Так, клеевое соединение характеризуется значительным снижением прочности при циклических нагрузках [6], а болтовое влечет значительное увеличение массы готовых изделий. Таких недостатков лишены резьбовые соединения, к тому же данный вид соединения характеризуется простотой исполнения и малыми осевыми размерами [7]. Обычным подходом к реализации подобного типа соединений являются металлические и полимерные вставки, которым свойственно явление гальванической эрозии (в случае с металлическими вставками), значительное распространение отслаиваний при использовании посадок с натягом, вибрационные повреждения, возникающие вследствие ударных нагрузок и вибраций при установке, а также в целом высокая трудоемкость процесса установки [8].

Решением указанных проблем может стать получение резьб непосредственно в композитных деталях. В последнее время появляется все больше исследований, посвященных изучению прочностных характеристик резьб в композитах [9]. Также появляются работы, посвященные выбору оптимального профиля резьбы [10]. Помимо этого встречаются работы, направленные на изучение процесса нарезания резьб стандартным лезвийным инструментом [11, 12]. Все это говорит о высокой актуальности данной тематики.

При этом возможны различные варианты получения резьб. Так, достаточно хорошо известны такие технологии получения резьб в неотвержденных заготовках, как литье [13], намотка [14], прессование [15] и формовка с помощью закладных оправок [16]. Описанные методы подразумевают применение дополнительной оснастки, использование специальных связующих и необходимость в точной ориентации волокон, что делает их применимыми для получения резьб в некоторых типовых малогабаритных изделиях, таких как метизы. Для остальных случаев данные методы недостаточно эффективны, так как требуют применения специализированной оснастки для каждого отдельного случая, что значительно увеличивает затраты на изготовление и в целом снижает гибкость производственного процесса. Альтернативой им может стать получение резьб методами лезвийной обработки.

Как уже было сказано ранее, лезвийная обработка ВК имеет ряд особенностей, выделяющих их в особую группу труднообрабатываемых материалов. Так при нарезании резьб в заготовках из ВК традиционными методами происходит значительное снижение прочности резьбового соединения вследствие проявления таких дефектов, как расслаивание, выкрашивание и отрывы армирующих волокон. Как видно из рис. 1, дефектные зоны могут составлять до 50 % поверхности резьбы.

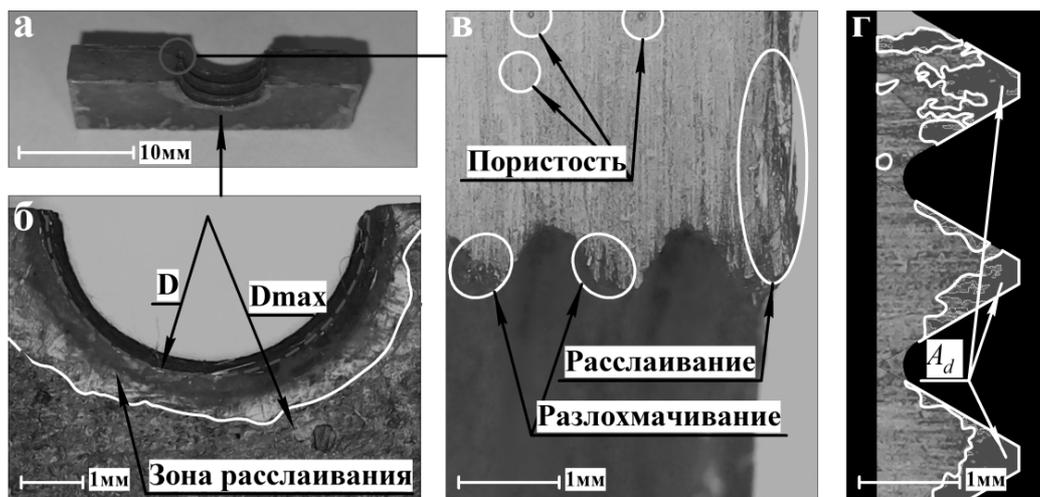


Рис. 1. Дефекты резьбы, нарезанной традиционным метчиком, в образце из стекловолоконного полимерного композита (а – образец, б – вид со стороны поверхности выхода инструмента, в – увеличенное изображение резьбы, г – общие дефектные зоны)

Среди многочисленных факторов процесса лезвийной обработки наибольшее влияние на процесс перерезания волокон, а следовательно, и на качество обработанных поверхностей оказы-

вает геометрия режущих лезвий [17–19], в особенности передние и задние углы. Существующие исследования в области механической обработки ВК в большинстве своем посвящены проблеме обеспечения высокого качества обработанных поверхностей при фрезерной и сверлильной обработке, тогда как публикаций, посвященных резьбонарезанию, крайне мало. Существующие конструкции резьбонарезного РИ для обработки ВК не учитывают специфику структуры обрабатываемых материалов. Таким образом, на основании вышеизложенного можно утверждать, что разработка специального инструмента для нарезания резьб в заготовках из ВК является актуальной научно-технической задачей.

Раннее проведенные предварительные экспериментальные исследования показали, что наименее благоприятные условия резания при обработке метчиком наблюдаются на вспомогательных режущих кромках, образованных боковыми сторонами профиля резьбы, так как данные участки характеризуются малыми, а в некоторых случаях и положительными углами резания, в частности, нормальным передним углом γ_H , что является крайне нежелательным для обработки заготовок из ВК. Для преодоления указанных недостатков разработана конструкция специального метчика для нарезания резьб в деталях из ВК (рис. 2) [20], особенностью которого являются две пары встречно-направленных винтовых стружечных канавок, а также поочередная подрезка половины профиля резьбы с целью дробления припуска на обрабатываемой заготовке на правую и левую части.

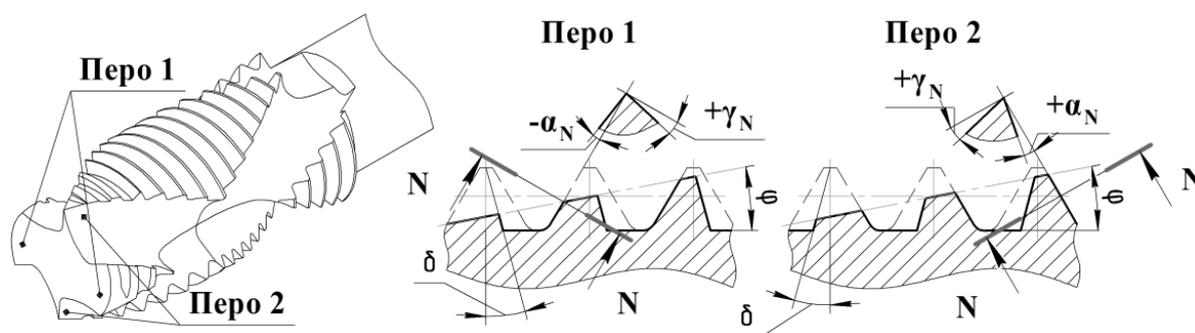


Рис. 2. Общий вид на метчик для нарезания резьб в заготовках из ВКМ (слева) и профиль резьбы на режущей части (справа)

В предложенной конструкции за счет применения винтовых стружечных канавок и подрезки половины профиля, что позволяет исключить из работы наименее благоприятные с точки зрения условий резания участки режущих кромок, достигается постоянство положительного переднего угла γ_H , как для правой, так и для левой стороны профиля резьбы. Предполагается, что данная конструкция позволит снизить величину дефектов поверхностного слоя, вызванных изгибом и отрывом армирующих волокон, что приведет к повышению качества нарезаемой резьбы.

Для предварительной оценки эффективности метчика, а также для поиска возможностей по улучшению предложенной конструкции необходимо разработать методику расчета основных геометрических параметров. Зачастую расчеты геометрических параметров режущих метчиков ограничиваются определением углов резания на главной режущей кромке, образованной вершиной резьбы, в частности переднего угла [21] и заднего, получаемого в результате затылования по задней поверхности [22]. Существующие методики расчета углов резания на вспомогательных режущих кромках [23, 24] применимы только для метчиков с прямыми стружечными канавками. Схожая задача также возникала при анализе геометрии режущей части спиральных сверл [25–27], однако описанные методики не позволяют полностью учесть особенности предлагаемой конструкции, в частности не учитывают угол подъема резьбы, что делает задачу поиска углов на вспомогательных режущих кромках вновь актуальной. Кроме того, разрабатываемая методика должна связать параметры основных конструктивных элементов с геометрическими параметрами данного метчика. Таким образом, **целью** данного этапа работы является расчет геометрических параметров вспомогательных режущих кромок метчика, образованных боковыми сторонами профиля резьбы. Методика расчета указанных параметров рассматривается в первом разделе статьи. Во втором разделе приводятся цифровые данные для метчиков по полученной методике и в последнем разделе приводятся результаты и выводы по работе.

1. Методика расчета основных геометрических параметров

1.1 Расчет конструктивных параметров метчика

Первоначально перейдем к определению базовых конструктивных параметров, необходимых для последующих расчетов. Шаг винта стружечной канавки метчика определяется по известной формуле [28]:

$$P_k = 2 \cdot \pi \cdot \frac{r}{tg(\omega_k)}, \tag{1}$$

где r – радиус метчика; ω_k – угол наклона стружечной канавки.

Для определения центрального угла пера метчика ψ_n первоначально запишем уравнения пространственных винтовых линий со следующими начальными точками (рис. 3): т. 1 – точка, лежащая на режущей кромке; т. 2 – точка на периферии спинки пера метчика:

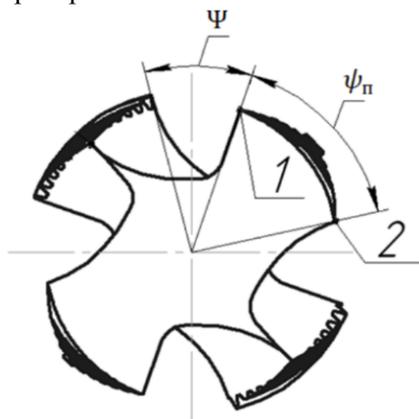


Рис. 3. Схема к определению параметров стружечных канавок

$$\begin{cases} x(t) = r \cdot \cos(t) \\ y(t) = r \cdot \sin(t) \\ z(t) = t \cdot b \end{cases} \begin{cases} x(t) = r \cdot \cos(\psi_n - t) \\ y(t) = r \cdot \sin(\psi_n - t) \\ z(t) = t \cdot b \end{cases}, \tag{2}$$

где $x(t)$, $y(t)$, $z(t)$ – соответствующие уравнения точек пространственных винтовых линий; b – параметр винта стружечной канавки, который определяется по следующей формуле:

$$b = \frac{P_k}{2 \cdot \pi}, \tag{3}$$

Далее определим центральный угол пера метчика ψ_n (см. рис. 3) из условия равенства длины заборной части l_n координате z точки пересечения двух винтовых линий с началом в точках 1 и 2. Таким образом, $z(t) = l_n$ и отсюда из выражения (2) получим:

$$t = \frac{l_n}{b}. \tag{4}$$

Далее из условия равенства координат в точке пересечения и подставляя выражение (4) для определения параметра t в уравнение координаты x (2), получим:

$$r \cdot \cos\left(\frac{l_n}{b}\right) = r \cdot \cos\left(\psi_n - \frac{l_n}{b}\right). \tag{5}$$

Отсюда определим величину ψ_n :

$$\psi_n = \frac{2 \cdot l_n \cdot 180}{b \cdot \pi}. \tag{6}$$

1.2. Расчет геометрических параметров вспомогательных режущих кромок

Далее перейдем к определению угла наклона режущей кромки в произвольной точке λ переднего γ_N^n и заднего α_N^n углов на вспомогательных режущих кромках, образованных боковыми сторонами профиля резьбы на правом пере метчика. Сперва определим угол наклона стружечной канавки метчика в рассматриваемой точке режущей кромки ω_k^x [25]:

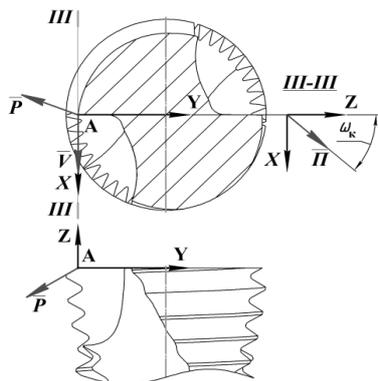


Рис. 4. Схема с указанием единичных векторов и СК XYZ

$$\omega_k^x = \arctg\left(\frac{R_x}{R} \cdot tg(\omega_k)\right), \tag{7}$$

где R – радиус метчика; R_x – расстояние от оси метчика до текущей точки; ω_k – угол наклона стружечной канавки.

Угол наклона винта резьбы определяется по формуле:

$$\omega_p = 90^\circ - \arctg\left(\frac{\pi \cdot D}{P_p}\right), \tag{8}$$

где D – диаметр метчика; P_p – шаг резьбы.

Определим угол наклона режущей кромки в произвольной точке режущей кромки λ . Свяжем с рассматриваемой точкой систему координат XYZ (рис. 4).

По вспомогательной режущей кромке направим единичный вектор \bar{P} и составим выражение для его определения с учетом схемы, представленной на рис. 5:

$$\bar{P} = -\bar{i} \cdot \cos(\varphi_p^n) \cdot \sin(\theta_n) - \bar{j} \cdot \cos(\varphi_p^n) \cdot \cos(\theta_n) - \bar{k} \cdot \sin(\varphi_p^n) \cdot \cos(\theta_n), \tag{9}$$

где φ_p^n и θ_n – вспомогательные углы для правой стороны профиля резьбы.

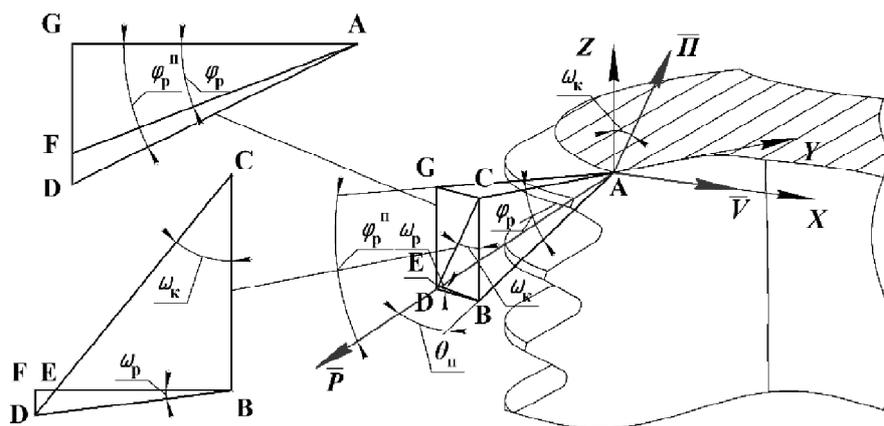


Рис. 5. Схема к расчету вспомогательных углов φ_p'' и θ_n для правой стороны профиля резьбы

Единичный вектор скорости резания \bar{V} в рассматриваемой точке:

$$\bar{V} = \bar{i}. \quad (10)$$

С учетом кинематики движений и по определению между векторами \bar{P} и \bar{V} будет угол $(90^\circ + \lambda)$ [25]. Тогда:

$$\bar{P} \cdot \bar{V} = |\bar{P}| \cdot |\bar{V}| \cdot \cos(90^\circ + \lambda) = -\cos(\varphi_p'') \cdot \sin(\theta_n) = -\sin(\lambda). \quad (11)$$

Преобразуя выражение (11), получим:

$$\lambda = \arcsin(\cos(\varphi_p'') \cdot \sin(\theta_n)). \quad (12)$$

Далее, перейдем к определению вспомогательных углов φ_p'' и θ_n . Для этого сперва рассмотрим треугольник ΔABC (см. рис. 5), у которого определим величину катета BC :

$$BC = AC \cdot \operatorname{tg}(\varphi_p), \quad (13)$$

где φ_p – половина угла при вершине резьбы.

Далее, по теореме синусов получим величину стороны BD :

$$BD = \frac{h \cdot \operatorname{tg}(\varphi_p) \cdot \sin(\omega_k)}{\sin(90^\circ - \omega_k - \omega_p)}. \quad (14)$$

Из треугольника ΔABD определим величину угла θ_n , равного углу $\angle DAB$:

$$\angle DAB = \theta_n = \operatorname{arctg}\left(\frac{\operatorname{tg}(\varphi_p) \cdot \sin(\omega_k) \cdot \cos(\varphi_p)}{\sin(90^\circ - \omega_k - \omega_p)}\right). \quad (15)$$

Затем перейдем к определению вспомогательного угла φ_p'' с учетом угла наклона винта резьбы ω_p . Зная значение длины отрезка BD из треугольника ΔBFD , найдем величину катета FD :

$$FD = \frac{h \cdot \operatorname{tg}(\varphi_p) \cdot \sin(\omega_k) \cdot \sin(\omega_p)}{\sin(90^\circ - \omega_k - \omega_p)}. \quad (16)$$

Из треугольника ΔACG выразим величину катета AG :

$$AG = \frac{AC}{\cos(\theta_n)}. \quad (17)$$

Рассматривая треугольник ΔAFG и зная угол $\angle GAF$, равный половине угла при вершине резьбы φ_p , найдем катет FG :

$$FG = AG \cdot \operatorname{tg}(\varphi_p) = \frac{AC \cdot \operatorname{tg}(\varphi_p)}{\cos(\theta_n)}. \quad (18)$$

В треугольнике ΔAGD определим величину угла φ_p'' . Приняв величину катета GD , равную сумме FD и FG , а также учитывая выражения (16), (17) и (18), получим:

$$\operatorname{tg}(\varphi_p'') = \frac{GD}{AG} = \frac{FD + FG}{AG} = \frac{\frac{AC \cdot \operatorname{tg}(\varphi_p) \cdot \sin(\omega_k) \cdot \sin(\omega_p)}{\sin(90^\circ - \omega_k - \omega_p)} + \frac{AC \cdot \operatorname{tg}(\varphi_p)}{\cos(\theta_n)}}{\frac{AC}{\cos(\theta_n)}}. \quad (19)$$

Упростив выражение (19), получим формулу для определения вспомогательного угла φ_p'' :

$$\varphi_p'' = \operatorname{arctg}\left(\frac{\cos(\theta_n) \cdot \operatorname{tg}(\varphi_p) \cdot \sin(\omega_k) \cdot \sin(\omega_p)}{\sin(90^\circ - \omega_k - \omega_p)} + \operatorname{tg}(\varphi_p)\right). \quad (20)$$

По аналогии с выше представленными расчетами получим формулы для определения вспомогательных углов θ_n и φ_p'' для левой стороны профиля резьбы:

$$\theta_{\alpha} = \arctg \left(\frac{tg(\varphi_p) \cdot \sin(\omega_k) \cdot \cos(\varphi_p)}{\sin(90^\circ - \omega_k + \omega_p)} \right), \tag{21}$$

$$\varphi_p^n = \arctg \left(tg(\varphi_p) - \frac{\cos(\theta_n) \cdot tg(\varphi_p) \cdot \sin(\omega_k) \cdot \sin(\omega_p)}{\sin(90^\circ - \omega_k + \omega_p)} \right). \tag{22}$$

Далее, перейдем к определению переднего γ_N^n и заднего α_{III}^n углов на вспомогательных режущих кромках, образованных боковыми сторонами профиля резьбы (рис. 6). Введем вектор \bar{P} (см. рис. 4):

$$\bar{P} = \bar{i} \cdot \sin(\omega_k^x) + \bar{k} \cdot \cos(\omega_k^x). \tag{23}$$

В соответствии с методикой, изложенной в [25], величина переднего угла γ_N^n вычисляется по следующей формуле:

$$tg(\gamma_N^n) = \frac{\bar{N}_P \cdot \bar{N}_{II}}{|\bar{N}_P \times \bar{N}_{II}|}, \tag{24}$$

где \bar{N}_P – вектор, перпендикулярный векторам \bar{P} и \bar{V} ; \bar{N}_{II} – вектор, перпендикулярный векторам \bar{P} и \bar{P} .

Найдем данные векторы и соответствующие скалярные и векторные произведения:

$$\begin{aligned} \bar{N}_P = \bar{P} \times \bar{V} &= \begin{vmatrix} \bar{i} & \bar{j} & \bar{k} \\ -\cos(\varphi_p^n) \cdot \sin(\theta_n) & -\cos(\varphi_p^n) \cdot \cos(\theta_n) & -\sin(\varphi_p^n) \cdot \cos(\theta_n) \\ 1 & 0 & 0 \end{vmatrix} = \\ &= -\bar{j} \cdot \sin(\varphi_p^n) \cdot \cos(\theta_n) + \bar{k} \cdot \cos(\varphi_p^n) \cdot \cos(\theta_n). \end{aligned} \tag{25}$$

$$\begin{aligned} \bar{N}_{II} = \bar{P} \times \bar{II} &= \begin{vmatrix} \bar{i} & \bar{j} & \bar{k} \\ -\cos(\varphi_p^n) \cdot \sin(\theta_n) & -\cos(\varphi_p^n) \cdot \cos(\theta_n) & -\sin(\varphi_p^n) \cdot \cos(\theta_n) \\ \sin(\omega_k^x) & 0 & \cos(\omega_k^x) \end{vmatrix} = \\ &= -\bar{i} \cdot \cos(\varphi_p^n) \cdot \cos(\theta_n) \cdot \cos(\omega_k^x) + \bar{j} \cdot (\cos(\varphi_p^n) \cdot \sin(\theta_n) \cdot \cos(\omega_k^x) - \\ &- \sin(\omega_k^x) \cdot \sin(\varphi_p^n) \cdot \cos(\theta_n)) + \bar{k} \cdot \sin(\omega_k^x) \cdot \cos(\varphi_p^n) \cdot \cos(\theta_n). \end{aligned} \tag{26}$$

$$\begin{aligned} \bar{N}_P \times \bar{N}_{II} &= \begin{vmatrix} \bar{i} & \bar{j} & \bar{k} \\ 0 & -\sin(\varphi_p^n) \cdot \cos(\theta_n) & \cos(\varphi_p^n) \cdot \cos(\theta_n) \\ -\cos(\varphi_p^n) \cdot \cos(\theta_n) \cdot \cos(\omega_k^x) & \cos(\varphi_p^n) \cdot \sin(\theta_n) \cdot \cos(\omega_k^x) - \sin(\omega_k^x) \cdot \sin(\varphi_p^n) \cdot \cos(\theta_n) & \sin(\omega_k^x) \cdot \cos(\varphi_p^n) \cdot \cos(\theta_n) \end{vmatrix} = \\ &= -\bar{i} \cdot \cos^2(\varphi_p^n) \cdot \sin(\theta_n) \cdot \cos(\theta_n) \cdot \cos(\omega_k^x) - \bar{j} \cdot \cos^2(\varphi_p^n) \cdot \cos^2(\theta_n) \times \\ &\times \cos(\omega_k^x) - \bar{k} \cdot \cos(\varphi_p^n) \cdot \cos^2(\theta_n) \cdot \cos(\omega_k^x) \cdot \sin(\varphi_p^n). \end{aligned} \tag{27}$$

$$\bar{N}_P \cdot \bar{N}_{II} = -\sin(\varphi_p^n) \cdot \cos(\theta_n) \cdot \cos(\varphi_p^n) \cdot \sin(\theta_n) \cdot \cos(\omega_k^x) + \sin(\omega_k^x) \cdot \cos^2(\theta_n). \tag{28}$$

$$|\bar{N}_P \times \bar{N}_{II}| = \cos(\varphi_p^n) \cdot \cos^2(\theta_n) \cdot \cos(\omega_k^x) \cdot \sqrt{\cos^2(\varphi_p^n) \cdot \sin^2(\varphi_p^n) + 1}. \tag{29}$$

Подставляя (28) и (29) в (24) и упростив полученное выражение, получим:

$$\gamma_N^n = \arctg \left(\frac{\sin(\omega_{kx}) \cdot \cos(\theta_n) - \sin(\varphi_p^n) \cdot \cos(\varphi_p^n) \cdot \sin(\theta_n)}{\cos(\varphi_p^n) \cdot \cos(\theta_n) \cdot \cos(\omega_{kx}) \cdot \sqrt{1 + \cos(\varphi_p^n)^2 \cdot \sin(\varphi_p^n)^2}} \right). \tag{30}$$

Определим задний угол α_{III}^n при его измерении в концентрическом цилиндрическом сечении, ось которого совпадает с осью метчика:

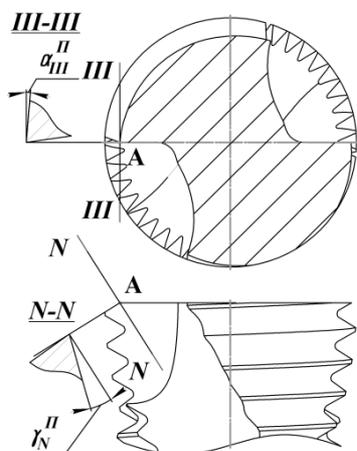


Рис. 6. Передний γ_N^n и задний α_{III}^n углы на вспомогательной режущей кромке

$$tg(\alpha_{III}^n) = \frac{R}{R_x \cdot tg(\omega_p)}. \tag{31}$$

Преобразуя уравнение (32), получим:

$$\alpha_{III}^n = \text{arcctg} \left(\frac{R_x}{R} \cdot ctg(\omega_p) \right). \tag{32}$$

Далее, перейдем к определению переднего γ_N^n и заднего α_N^n углов на вспомогательных режущих кромках, образованных левыми боковыми сторонами профиля резьбы. По аналогии с расчетами для правой стороны профиля получим следующие выражения для вычисления соответствующих углов:

$$\gamma_N^n = \arctg \left(\frac{\sin(\omega_{kx}) \cdot \cos(\theta_n) - \sin(\varphi_p^n) \cdot \cos(\varphi_p^n) \cdot \sin(\theta_n)}{\cos(\varphi_p^n) \cdot \cos(\theta_n) \cdot \cos(\omega_{kx}) \cdot \sqrt{1 + \cos(\varphi_p^n)^2 \cdot \sin(\varphi_p^n)^2}} \right) \tag{33}$$

$$\alpha_{III}^n = \text{arcctg} \left(\frac{R_x}{R} \cdot ctg(-\omega_p) \right) \tag{34}$$

2. Пример расчета конструкции метчика по разработанной методике

С целью проверки предложенной методики расчета выполним оценку геометрических параметров специального метчика со следующими исходными данными: $\varphi_p = 30^\circ$ – половина угла при вершине резьбы; $\omega_k = 30^\circ$ – угол наклона стружечной канавки; $D = 2r = 16$ мм – диаметр метчика; $H_p = 1$ мм – высота резьбы; $P_p = 1$ мм – шаг резьбы; $l_z = 7$ мм – длина заборной части метчика; $l_p = 50$ мм – длина рабочей части метчика; $\chi = 60^\circ$ – центральный угол стружечной канавки.

Графики изменения углов при переходе от впадины зуба до вершины представлены на рис. 7. Из данных графиков видно, что величина переднего угла γ_N для вспомогательных кромок, расположенных на правой и левой сторонах профиля резьбы, принимает значения более 20° , что соответствует рекомендуемому [18], однако величина заднего угла α_{III}^n на вспомогательной режущей кромке, соответствующей левой стороне профиля резьбы, принимает отрицательные значения, что обуславливает необходимость выполнения операции затылования по профилю резьбы.

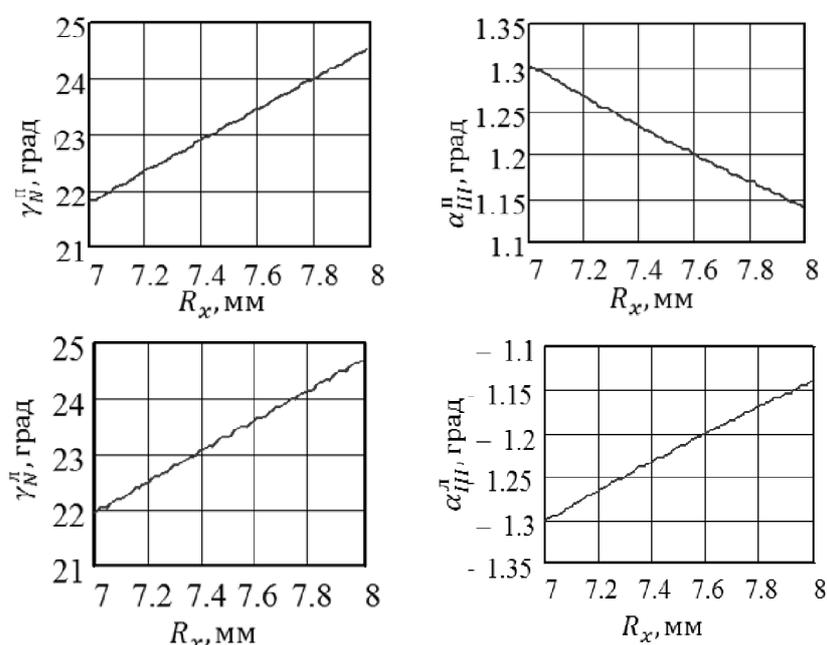


Рис. 7. Графики передних и задних углов для правой и левой сторон профиля резьбы

Для сравнения выполним расчет переднего угла γ_N^n в точке, расположенной со стороны впадины зуба для различных углов наклона стружечной канавки ω_k при постоянных исходных данных. Результаты данного расчета представлены на рис. 8. Далее по данному графику можно выбрать соответствующую конфигурацию, обеспечивающую оптимальный угол для конкретного ВК.

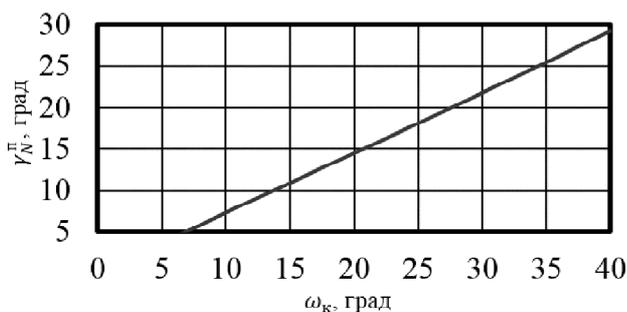


Рис. 8. График изменения величины переднего угла γ_N^n в зависимости от угла наклона стружечной канавки ω_k

Выводы

1. Анализ результатов предварительных экспериментальных исследований по нарезанию резьб в образцах из ВК позволил выявить наименее благоприятные с точки зрения условий резания участки режущих кромок метчиков. Ими являются вспомогательные режущие кромки, образованные боковыми сторонами профиля резьбы. Таким образом, в качестве основных геометрических параметров лезвий метчика приняты передний и задний углы на правой и левой вспомогательных режущих кромках.

2. Разработанная методика расчета основных геометрических параметров лезвий метчика со встречными винтовыми стружечными канавками является достаточной для проектирования рациональной конструкции такого метчика под обработку конкретного вида ВК.

3. Оптимизация конструкции под обработку конкретного вида ВК осуществляется путем вычисления по разработанной методике основных геометрических параметров лезвий на вспомогательных режущих кромках и их последующее сравнение с рекомендуемыми значениями, взятыми из литературных источников или полученных по результатам натуральных экспериментов. Корректирование общих конструктивных параметров нового метчика с целью обеспечения его наиболее рациональных геометрических параметров лезвий достижимо на основе сравнения полученных по методике расчета значений со справочными данными.

Таким образом, предложенная конструкция специального метчика для обработки ВК позволит повысить качество нарезаемых резьб за счет минимизации величины дефектов их обработанных поверхностей.

Литература

1. Полимерные композиционные материалы в конструкциях летательных аппаратов / Г.М. Гуняев, В.В. Кривонос, А.Ф. Румянцев, Г.Ф. Железина // *Конверсия в машиностроении*. – 2004. – № 4. – 16 с.
2. Каблов, Е.Н. *Авиационное моделирование в XXI веке. Перспективы и задачи* / Е.Н. Каблов // *Все материалы. Энциклопедический справочник*. – 2007. – № 1.
3. Каблов, Е.Н. *Композиты: сегодня и завтра* / Е.Н. Каблов // *Металлы Евразии*. – 2016. – С. 36–39.
4. Sheikh-Ahmad, J.Y. *Machining of polymer composites* / J.Y. Sheikh-Ahmad // Springer. – 2009. – 315 p.
5. Teti, R. *Machining of Composite Materials* / R. Teti // *CIRP Annals – Manufacturing Technology*. – 2002. – Vol. 1, iss. 51. – № 2. – P. 611–634.
6. Zemann, R. *Preparation of Bonding Surfaces at FRP Parts* / R. Zemann // *Jahrbuch Oberflächentechnik*. – 2014. – Vol. 70 – P. 115–124.
7. *Справочник по композиционным материалам: в 2-х кн. Кн. 2* / под ред. Дж. Любина; пер. с англ. А.Б. Геллера и др., под ред. Б.Э. Геллера. – М.: Машиностроение, 1988. – 584 с.
8. Shur-Lok *Advanced Composites Catalog*. – http://www.shurlok.com/salesapp/product_dls/Advance_Composites.pdf (дата обращения: 25.09.20).
9. Meram, A. *Experimental investigation of screwed joints capabilities for the CFRP composite laminates* / A. Meram, A. Can // *Composites Part B*. – 2019. – Vol. 176. – P. 107142.
10. Unal, E. *The Effect of Different Tread Profiles on Pullout Strength of Glass Fiber Reinforced Polymer Composite Materials* / E. Unal // *Cumhuriyet Science Journal*. – 2018. – Vol. 39, no. 2. – P. 550–556.
11. *Experimental investigation of tapping in CFRP with analysis of torque-tension resistance* / S.A. Freitas, J.T. Vieira, S.L.M.R. Filho, L.C. Brandao // *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. – 2019. – 104. – P. 757–766.
12. Zeman, R. *Manufacturing of threads direct into a carbon fibre reinforced polymer* / R. Zeman // *Materials Today: Proceedings 3*. – 2016. – P. 1226–1229.
13. US Patent 2009/0110901. *Composite fasteners containing multiple reinforcing fiber types* / O.G. Kevin, A.R. Randall. – 2009. – 12 p.
14. Патент RU № 2071915C1, 20.01.1997. *Способ формования наружной резьбы на трубах из полимерного материала* / В.Н. Киневский, З.И. Милославский, К.Г. Панченко и др.

15. Патент RU 2068341C1, 27.10.1996. Способ изготовления изделий с резьбой из армированного длинномерными волокнами пластического материала / Б.Р. Беренцевейг, С.И. Белых, А.Б. Давыдов.
16. Патент RU 2680513C1, 30.01.2018. Способ получения резьбы в неотвержденном композиционно-волокнутом материале / В.М. Сахоненко, К.Г. Скворцов, Д.А. Федотов.
17. *Delamination formation, evaluation and suppression during drilling of composite laminates: A review* / Geng Daxi, Liu Yihang, Shao Zhenyu et al. // *Composite Structures*. – 2019. – 216. – P. 168–186.
18. Hocheng, H. *Machining technology for composite materials* / H. Hocheng. – Cambridge: Woodhead Publishing, 2012. – 472 p.
19. Henerichs, M. *Machining of carbon fiber reinforced plastics: Influence of tool geometry and fiber orientation on the machining forces* / M. Henerichs, R. Voß, F. Kuster, K. Wegener // *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*. – 2015. – Vol. 9. – P. 136–145.
20. Патент RU 2725582C1, 2020.07.02. Метчик для обработки волоконно-армированных композитных материалов / И.А. Щуров, А.В. Никонов.
21. Дибнер, Л.Г. *Справочник молодого заточника металлорежущего инструмента* / Л.Г. Дибнер. – М.: Высш. шк. – 1984. – 160 с.
22. Матвеев, В.В. *Нарезание точных резьб* / В.В. Матвеев. – М.: Машиностроение, 1968. – 117 с.
23. Древаль, А.Е. *Краткий справочник металлиста* / А.Е. Древаль; под. общ. ред. А.Е. Древаля, Е.А. Скороходова. – М.: Машиностроение, 2005. – 960 с.
24. *Металлорежущие инструменты: учебник для вузов по специальностям «Технология машиностроения», «Металлорежущие станки и инструменты»* / Г.Н. Сахаров, О.Б. Арбузов, Ю.Л. Боровой и др. – М.: Машиностроение, 1989. – 328 с.
25. Родин, П.Р. *Геометрия режущей части спирального сверла*. / П.Р. Родин. – Киев: Изд-во «Техника», 1971. – 135 с.
26. Родин, П.Р. *Металлорежущие инструменты* / П.Р. Родин. – Киев: Издательское объединение «Вища школа», 1974. – 400 с.
27. Катаев, Ю.П. *Расчет параметров заточки спиральных сверл* / Ю.П. Катаев, А.В. Салин // *Вестник КГТУ им. А.Н. Туполева*. – 2007. – № 2. – С. 14–16.
28. Семенченко, И.И. *Проектирование металлорежущих инструментов* / И.И. Семенченко, В.М. Матюшин, Г.Н. Сахаров. – М.: Машигиз, 1963. – 956 с.

Никонов Александр Владимирович, аспирант кафедры «Технология автоматизированного машиностроения», Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, nikonov.av39@gmail.com.

Поступила в редакцию 11 ноября 2020 г.

DOI: 10.14529/engin210106

CALCULATION OF THE GEOMETRIC PARAMETERS OF A CUTTING TAPS WITH OPPOSITE-SHEARED SCREW CHIP GROOVES

A.V. Nikonov, nikonov.av39@gmail.com

South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation

With the spread of products made of fiber-reinforced composites (FRC) in various industries, the issue of their efficient assembly is becoming increasingly important. The most common methods of joining parts from FRC, which include bonding, riveting and the use of various inserts, have a number of significant disadvantages, which necessitate the search for new, more effective solutions.

One of the most promising methods for assembling parts from FRC is the use of threaded connections, which are widely used in the form of metal and polymer inserts. However, a number of technological restrictions imposed on the process of installing these inserts force us to turn to the threads obtained in the composites themselves. In this case, the production of threads is possible both at the stage of forming uncured products, which imposes restrictions on their shape and size, and by methods of blade processing, which are currently little studied.

The process of mechanical processing of workpieces from FRC is significantly different from the processing of homogeneous materials, which does not allow directly using the existing recommendations for metal processing. Specific defects of treated surfaces, which are inherent only to FRC, necessitate the development of special tools that take into account the peculiarities of various types of composites.

The analysis of the results of preliminary experimental studies on threading with traditional taps showed that the cutting angles on the auxiliary cutting edges formed by the lateral sides of the thread profile have the greatest influence on the quality of the threads being cut in FRC workpieces. To ensure favorable cutting conditions in these areas, the design of a special tap with opposite-sheared screw chip grooves has been developed.

For this design, a method has been prepared for calculating the cutting angles on auxiliary cutting edges, which makes it possible to prepare the design of this tap for processing a specific type of FRC by ensuring the optimal cutting angles taken from literature sources or obtained from experiments.

Keywords: fiber-reinforced composites (FRC), screw thread, cutting tap.

References

1. Guniaev G.M., Krivonos V.V., Rumiantsev A.F., Zhelezina G.F. *Polimernye kompozitsionnye materialy v konstruktsiakh letatelnykh apparatov* [Polymer composite materials in aircraft structures]. *Konversia v mashinostroyeni* [Conversion in mechanical engineering], 2004, no. 4, pp. 1–16.
2. Kablov E.N. *Aviatsionnoe modelirovanie v XXI veke. Perspektivy i zadachi* [Aviation modeling in the XXI century. Prospects and challenges]. Polymer Science. Series D, 2007, no. 1.
3. Kablov E.N. *Kompozity: segodnia i zavtra* [Composites today and tomorrow], Metals of Eurasia, 2016, pp. 36–39.
4. Sheikh-Ahmad J.Y. *Machining of polymer composites*, Springer, 2009, 315 p.
5. Teti R. *Machining of Composite Materials*, CIRP Annals – Manufacturing Technology, 2002, vol. 1, iss. 51, no. 2, pp. 611–634.
6. Zemann R. *Preparation of Bonding Surfaces at FRP Parts*, Jahrbuch Oberflächentechnik, 2014, vol. 70, pp. 115–124.
7. Lubin G. *Handbook of composites*. Moscow, Mashinostroyeni, 1988. 584 p.
8. Shur-Lok Advanced Composites Catalog. Available at: http://www.shurlok.com/salesapp/product_dls/Advance_Composites.pdf (accessed: 25 September 2020)
9. Meram A., Can A. *Experimental investigation of screwed joints capabilities for the CFRP composite laminates*. *Composites Part B*, 2019, vol. 176, p. 107142.
10. Unal E. *The Effect of Different Tread Profiles on Pullout Strength of Glass Fiber Reinforced Polymer Composite Materials*. *Cumhuriyet Science Journal*, 2018, vol. 39, no. 2, pp. 550–556.
11. Freitas S.A., Vieira J.T., Filho S.L.M.R., Brandao L.C. *Experimental investigation of tapping in CFRP with analysis of torque-tension resistance*. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2019, no. 104, pp. 757–766.
12. Zeman R. *Manufacturing of threads direct into a carbon fibre reinforced polymer*. *Materials Today: Proceedings 3*, 2016, pp. 1226–1229.
13. Kevin O.G., Randall A.R. *Composite fasteners containing multiple reinforcing fiber types*. Patent US, no. 0110901, 2009. 12 p.
14. Kinevskii V.N. et al. *Sposob formovaniia naruzhnoi rezby na trubakh iz polimernogo materiala* [Method of forming external threads on pipes made of polymer material]. Patent RU, no. 2071915C1, 1997.
15. Berentsveig B.R. et al. *Sposob izgotovleniia izdelii s rezboi iz armirovannogo dlinnomernymi voloknami plasticheskogo materiala* [A method of manufacturing products with a thread from a plastic material reinforced with long fibers]. Patent RU, no. 2068341C1, 1996.

16. Sakhonenko V.M. *Sposob polucheniia rezby v neotverzhennom kompozitsionno-voloknistom materiale* [A method for producing a thread in an uncured composite fiber material]. Patent RU, no. 2680513C1, 2018.
17. Daxi Geng, et al. Delamination formation, evaluation and suppression during drilling of composite laminates: A review. *Composite Structures*, 2019, no. 216, pp. 168–186.
18. Hocheng H. *Machining technology for composite materials*. Cambridge: Woodhead Publishing, 2012, 472 p.
19. Henerichs M., Voß R., Kuster F., Wegener K. Machining of carbon fiber reinforced plastics: Influence of tool geometry and fiber orientation on the machining forces. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*. 2015, no. 9, pp. 136–145.
20. Shchurov I.A., Nikonov A.V. *Metchik dlia obrabotki volokonno-armirovannykh kompozitnykh materialov* [Fiber Reinforced Composite Material Tap]. Patent RU 2725582C1, 2020.
21. Dibner L.G. *Spravochnik mladogo zatochnika metallovezhushchego instrumenta* [Handbook of a young sharpener of metal cutting tools]. *Vysshaia shkola* [High school], 1984. 160 p.
22. Matveev V.V. *Narezanie tochnykh rezb* [Cutting precise threads]. Moscow, Mechanical engineering, 1968. 117 p.
23. Dreval' A.E., Skorohodov E.A. *Kratkii spravochnik metallista* [Metalworker's quick reference]. Moscow, Mechanical engineering, 2005. 960 p.
24. Sakharov G.N., et al. *Metallovezhushchie instrumenty: uchebnik dlia vuzov po spetsialnostiam "Tekhnologiya mashinostroeniia" "Metallovezhushchie stanki i instrumenty"* [Metal-cutting tools: Textbook for universities in the specialties "Mechanical engineering technology" "Metal-cutting machines and tools"]. Moscow, Mechanical engineering, 1989. 328 p.
25. Rodin P.R. *Geometriia rezhushchei chasti spiralnogo sverla* [Twist drill bit geometry]. Kiev, *Tekhnika* Publ., 1971. 135 p.
26. Rodin P.R. *Metallovezhushchie instrumenty* [Metal cutting tools]. Kiev, *Vishcha shkola* Publ., 1974. 400 p.
27. Kataev Yu.P., Salin A.V. *Raschet parametrov zatochki spiralnykh sverl* [Calculation of parameters for sharpening twist drills]. *Bulletin of KSTU named after A.N. Tupolev*, 2007, no. 2, pp. 14–16.
28. Semenchenko I.I., Matiushin V.M., Sakharov G.N. *Proektirovanie metallovezhushchikh instrumentov* [Design of metal cutting tools]. Moscow, *Mashgiz*, 1963. 956 p.

Received 11 November 2020

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Никонов, А.В. Расчет геометрических параметров метчика со встречно расположенными винтовыми стружечными канавками / А.В. Никонов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Машиностроение». – 2020. – Т. 21, № 1. – С. 58–68. DOI: 10.14529/engin210106

FOR CITATION

Nikonov A.V. Calculation of the Geometric Parameters of a Cutting Taps with Opposite-Sheared Screw Chip Grooves. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Mechanical Engineering Industry*, 2020, vol. 21, no. 1, pp. 58–68. (in Russ.) DOI: 10.14529/engin210106.