

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕЛИЧИНЫ КРУТЯЩЕГО МОМЕНТА ПРИ НАРЕЗАНИИ РЕЗЬБЫ

А. М. Марков, П. В. Лебедев

Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова, г. Барнаул, Россия

Качество резьбовых соединений в деталях из высокопрочных полимерных композиционных материалов (ВКПМ) является комплексным показателем, формирующимся на протяжении периодов проектирования, технологической подготовки и производства жизненного цикла изделия. Таким образом, проектирование и изготовление резьбовых соединений без учета особенностей механической обработки и физико-механических свойств материала может негативно сказаться на качестве (и несущей способности, являющейся интегральным показателем качества резьбового соединения) изготавливаемого изделия.

Нарезание является наиболее применяемым способом изготовления резьбы. Но кинематика процесса нарезания резьбы метчиками имеет свои особенности и закономерности, без рассмотрения которых невозможно получить реальную теоретическую оценку выходных параметров (надежности, точности, производительности и т. д.).

Поскольку при нарезании резьб одним из основных факторов, влияющих на условия работы инструмента и качество изготавливаемой резьбы, являются действующие силы резания, рассмотрим схему сил, возникающих при нарезании резьбы метчиком. Согласно теории резания (Мерчанта Ф. и Зворыкина К. А.) расчет сил резания, действующих на стружку со стороны передней поверхности и плоскости сдвига, основывается на условиях их равновесия, а так же на определении угла наклона плоскости стружкообразования.

При нарезании резьбы метчиком радиальные силы резания направлены к оси метчика и уравнивают друг друга (т. к. инструмент симметричен относительно оси вращения), а направление действия осевой силы резания остается неизменным при прямом резании, переменное значение имеет лишь крутящий момент.

Крутящий момент на метчике при резании определяется суммированием крутящих моментов, соответствующих всем одновременно работающим режущим зубьям инструмента. Поскольку необходимым условием при рассмотрении процесса резания с точки зре-

ния статики является равновесное состояние системы, то к метчику должен быть приложен крутящий момент, уравнивающий момент  $M_{кр}$ , возникающий при резании.

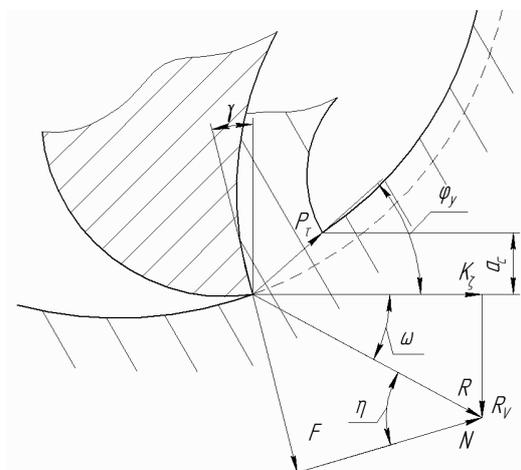


Рисунок 1 – Схема сил в плоскости стружкообразования:

$R$  – сила стружкообразования, Н;  
 $R_V$  – проекция силы стружкообразования на передней поверхности на ось  $y$ , Н;  
 $F$  – нормальная составляющая силы  $R$ ;  
 $a_c$  – толщина среза, мм;  
 $N$  – касательная составляющая силы  $R$ ;  
 $w$  - угол действия силы стружкообразования, °;  
 $K_z$  – удельная сила стружкообразования;  
 $\eta$  – угол трения, °;  
 $\gamma$  – передний угол, °;  
 $P_T$  – касательная составляющая силы стружкообразования, Н;  
 $\phi_y$  – угол наклона условной плоскости стружкообразования (сдвига), °.

С учетом схемы сил (рисунок 1), и полагая момент резания равным произведению тангенциальной составляющей силы резания на половину наружного диаметра нарезаемой резьбы, формула для несвободного резания имеет вид [1]:

$$M_{кр} = K_z \cdot S_b \cdot \cos \lambda \cdot \sum_{i=1}^m (S_i \cdot r_i) + \mu \cdot \sigma_b \cdot h_s \cdot \cos \psi \cdot \sum_{i=1}^m (B_i \cdot r_i), \text{ Нм}$$

где  $K_z$  – безразмерная удельная сила резания;

$S_b$  – действительный предел прочности при растяжении,  $H/M^2$ ;  
 $\lambda$  – угол наклона режущей кромки,  $^\circ$ ;  
 $S_i$  – площадь сечения срезаемого слоя,  $mm^2$ ;  
 $r_i$  – расстояние от режущей кромки до оси инструмента,  $mm$ ;  
 $\mu$  – коэффициент трения;  
 $\sigma_b$  – условный предел прочности при растяжении,  $H/M^2$ ;  
 $h_3$  – высота профиля резьбы,  $mm$ ;  
 $B_i$  – суммарная длина режущих кромок  $i$ -го лезвия,  $mm$ ;  
 $\psi$  – угол подъема резьбы,  $^\circ$ .

Однако, полученные в работе [1] зависимости, несмотря на относительную простоту и наглядность, не могут быть использованы, поскольку известны не все исходные данные. Определение касательного напряжения в условной плоскости сдвига аналитически представляется весьма сложной задачей, поэтому для расчета значений напряжений авторами использовался метод численного моделирования конечными элементами, подробно описанный в работе [2].

Таким образом, задача определения крутящего момента при резании сводится к определению числа одновременно работающих режущих лезвий метчика, суммарного сечения срезаемого слоя, суммарной длины режущих кромок и определению переменного расстояния режущей кромки от оси метчика.

Оптимальным способом определения величины суммарного сечения срезаемого слоя является предлагаемый авторами метод, основанный на описании геометрии режущего инструмента, при котором геометрия режущих лезвий описывается уравнениями прямых, их образующих. При таком подходе суммарная площадь среза будет определяться исходя из координат пересечения прямых, образующих профили режущих зубьев. Таким образом, в отличие от существующих методов определения площади срезаемого слоя, предлагаемые соотношения позволяют адекватно описать приращение крутящего момента на метчике с корригированными зубьями (наиболее применимы при обработке ВКПМ) и учесть влияние износа на величину крутящего момента.

Задача определения площади срезаемого слоя сводится к определению уравнений прямых наклона заборного конуса и боковых профилей режущих зубьев. Для того чтобы определить уравнение прямой необходимо знать как минимум координаты одной точки, через которую она проходит, и угол наклона прямой относительно оси  $x$ . В данном случае за точку, через которую проходит прямая вы-

бирается произвольная точка  $T_1(x_1; y_1)$ . Координата  $x_1$  численно равна шагу режущих зубьев метчика. Координата  $y_1$  равна произведению шага режущих зубьев на тангенс угла наклона заборного конуса.

При определении уравнений прямых наклона боковых профилей зубьев метчика следует учесть, что координаты профилей зубьев метчика для  $m$ -го пера будут отстоять от точки начала координат на расстояние  $l_{дп}$  (кроме зубьев первого пера, для которого координаты режущих зубьев будут отсчитываться от начала координат).

В полученных уравнениях координата  $x$  пересечения боковых профилей режущих зубьев с прямой наклона режущего конуса равна:

для левой стороны режущего зуба:

$$x_n = \frac{tg \alpha \left( \left( \frac{\pi d_2 (m-1)}{4} tg \psi \right) + P(n-1) \right)}{tg \alpha - tg \varphi}$$

для правой стороны режущего зуба:

$$x_n = \frac{tg \delta \left( \left( \frac{\pi d_2 (m-1)}{4} tg \psi \right) + l + P(n-1) \right)}{tg \delta - tg \varphi}$$

координата  $y$ :

для левой стороны режущего зуба:

$$y_n = tg \varphi \left[ \frac{tg \alpha \left( \left( \frac{\pi d_2 (m-1)}{4} tg \psi \right) + P(n-1) \right)}{tg \alpha - tg \varphi} \right]$$

для правой стороны режущего зуба:

$$y_n = tg \varphi \left[ \frac{tg \delta \left( \left( \frac{\pi d_2 (m-1)}{4} tg \psi \right) + l + P(n-1) \right)}{tg \delta - tg \varphi} \right]$$

где  $P$  – шаг резьбы,  $mm$ ;

$\varphi$  – угол наклона заборного конуса,  $^\circ$ ;

$d_2$  – средний диаметр резьбы,  $mm$ ;

$\alpha$  – угол наклона бокового профиля зуба,  $^\circ$ ;

$\delta = 180 - \alpha$ .

Отсюда получаем соотношение, определяющее площадь сечения срезаемого слоя каждым зубом метчика:

$$S = \frac{1}{2} \left( \frac{x_{1n} - x_{1n}}{\cos \varphi} + \frac{x_{2n} - x_{2n}}{\cos \varphi} \right) \left( \frac{y_2 - y_1}{\cos \alpha} \right) \cos(30 + \varphi)$$

Таким образом, суммарная длина режущих кромок  $B_i$  определяется как:

$$B_i = \frac{y_{2n} - y_{1n}}{\cos \alpha} + \frac{y_{2n} - y_{1n}}{\cos \alpha} + \frac{x_{2n} - x_{2n}}{\cos \varphi}$$

Расстояние от режущей кромки до оси метчика принимаем равным средней высоте режущих кромок зуба:

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕЛИЧИНЫ КРУТЯЩЕГО МОМЕНТА ПРИ НАРЕЗАНИИ РЕЗЬБЫ

$$r = \frac{y_{1n} + d_1}{2}$$

На основании вышеизложенных уравнений получена зависимость, описывающая приращение крутящего момента на зуб метчика при резбонарезании.

Для проверки адекватности разработанных в ходе теоретических исследований зависимостей изменения крутящего момента при резании был проведен полный факторный эксперимент  $2^3$ . Экспериментальная установка для анализа силовых характеристик процесса нарезания резьбы (рисунок 2), включала в себя: вертикально сверлильный станок 2Н135, обеспечивающий требуемую точность обработки и интервалы варьирования режимных параметров процесса, тензостанцию УТ4-1, позволяющую контролировать изменение величины момента резания, многофункциональную плату ввода/вывода аналогово-цифрового преобразователя L-780М и компьютер, обеспечивающий сбор и обработку экспериментальных данных в автоматизированном режиме.

Для определения интервалов варьирования факторов была проведена серия предварительных экспериментов. Интервал варьирования частоты вращения  $n = 100 \dots 750$  м/мин, подачи  $S = 0,06 \dots 0,36$  мм/об, диаметра инструмента  $d_{св} = 5 \dots 8,5$  мм,  $d_{мет} = 6 \dots 10$  мм. Нижние границы интервалов варьирования определяются минимальной производительностью, верхние – качеством обработанной поверхности.

В результате проведенных экспериментов установлено, что погрешность между теоретическими и экспериментальными значениями крутящего момента не превышает 10%, что позволяет использовать предлагаемую методику расчета силовых характеристик процесса резбонарезания в деталях из ВКПМ.

Полученные уравнения по расчету момента резания, геометрии режущих зубьев и площади срезаемого слоя устанавливают взаимосвязь между основными параметрами, характеризующими процесс нарезания резьбы метчиками. Кроме того, использование представленных выше соотношений позволит управлять процессом нарезания резьбы как с помощью изменения режимных параметров процесса резбонарезания, так и изменением геометрических параметров режущего инструмента.

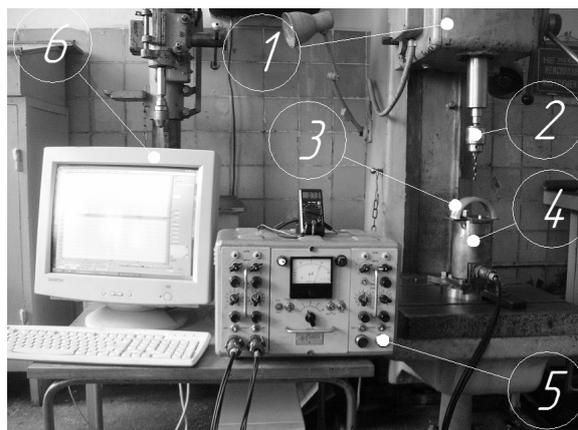


Рисунок 2 – Общий вид экспериментальной установки для измерения крутящего момента. 1 – вертикально-сверлильный станок 2Н135, 2 – режущий инструмент, 3 – экспериментальный образец, 4 – установка для измерения крутящего момента, 5 – тензостанция УТ4-1, 6 – ЭВМ с аналого-цифровым преобразователем L-780М.

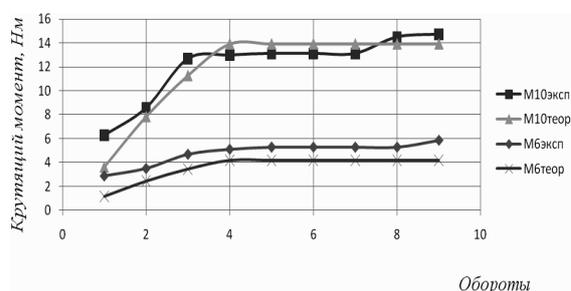


Рисунок 3 – Сравнение теоретических и экспериментальных результатов определения величины крутящего момента при резбонарезании

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Евстегнеева О. Н. Повышение надежности работы метчиков при нарезании резьб в глухих отверстиях конструкционно-технологическими методами. Диссертация на соискание ученой степени к. т. н. М.: 2003 г.
- Лебедев П. В. Моделирование процесса сверления стеклопластика в среде CosmosWorks. / Марков А. М., Мозговой Н. И. // Обработка металлов. -2007. - № 4 – с. 19 – 23.