

ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ВНУТРЕННЕЙ РЕЗЬБЫ В ДЕТАЛЯХ ИЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

А.М. Марков, П.В. Лебедев, В.Б. Маркин

В работе приводятся полученные авторами соотношения, связывающие параметры качества резьбового соединения и технологические параметры операции нарезания внутренней резьбы в деталях из высокопрочных полимерных композиционных материалов. Приведены результаты использования полученных соотношений на этапе проектирования операции резьбонарезания в условиях реального производства.

Ключевые слова: внутренняя резьба, композиционные материалы, метчик, качество изготовления.

Показатели качества резьбовых соединений (статическая прочность, усталостная прочность, стопорящие свойства и их стабильность) в значительной степени определяются параметрами качества внутренней резьбы (отклонение от круглости диаметров резьбы, отклонение шага резьбы, шероховатость), формируемыми на стадии изготовления. Обеспечение этих параметров при изготовлении зависит, как от свойств обрабатываемого материала, так и от технологических параметров операций изготовления резьбы.

Одной из основных причин, сдерживающих широкое применение резьбовых соединений в изделиях из высокопрочных композиционных полимерных материалов (ВКПМ), является сложность обеспечения требуемых параметров качества резьбового соединения, обусловленная отсутствием формализованной методики проектирования операции резьбонарезания. Ограниченная применимость существующих прогнозных моделей, устанавливающих взаимосвязь между технологическими параметрами процесса механической обработки и параметрами качества изготавливаемой внутренней резьбы, не позволяет сформировать единый подход к проектированию технологических процессов изготовления внутренней резьбы в композиционных материалах с различными видами армирования, а так же физико-механическими свойствами полимерного связующего и армирующих волокон.

Исходя из вышесказанного, возникает необходимость в разработке методики проектирования технологических процессов изготовления внутренней резьбы, позволяющей стабильно обеспечивать комплекс параметров качества витков резьбы, в зависимости от функционального назначения резьбового соединения и физико-

механических свойств обрабатываемого материала.

Таким образом, для обеспечения качества изготовления внутренней резьбы в деталях из ВКПМ необходимо разработать комплексную методику проектирования процесса изготовления внутренней резьбы, с учетом формирования погрешностей наружного и внутреннего диаметров резьбы на операциях сверления отверстия под нарезание резьбы и нарезания внутренней резьбы, на основе оптимизации режимов резания с учетом влияния физико-механических свойств обрабатываемого материала и режимных характеристик процесса на статическую прочность резьбового соединения.

Анализ литературы и ряд поисковых экспериментов [2] показали, что, помимо скорости резания, геометрии метчика и свойств обрабатываемого материала, значительное влияние на параметры качества нарезаемой резьбы оказывает линейный износ по задней поверхности метчика, определяющий, помимо величины отклонений от круглости диаметров резьбы, наличие специфического для обработки ВКПМ брака – деструкции полимерного связующего.

Для определения величины линейного износа использовалось численное моделирование процесса резьбонарезания методом конечных элементов. Преимуществом предложенной методики определения линейного износа инструмента является сравнительная простота адаптации полученных зависимостей к различным композиционным материалам, отличающихся от исследуемых видом армирования и т. д. В принятой конечноэлементной модели (в Лагранжевой постановке) износ режущего инструмента определялся зависимостью [1]:

$$w = \mu \frac{K}{H} \sigma^m V_{rel}^n \exp^{-Q/RT}, \text{ мм}, \quad (1)$$

где μ – коэффициент трения; K – коэффициент линейного износа, определяющий скорость изменения формы поверхности в направлении нормали к ней за счет изнашивания; H – твердость, HRC; σ – нормальные напряжения, Н/м²; V_{rel} – относительная скорость скольжения, м/сек; Q – энергия активации, Дж/моль; R – универсальная газовая постоянная Дж/(моль⁰С); T – температура в зоне резания, °С.

Процесс удаления припуска с обрабатываемой детали моделировался использованием критерия разрушения материала (критерий Оуэна) [1]:

$$\int \left(\frac{\sigma_m}{\sigma} + B \right) \varepsilon dt \geq C, \quad (2)$$

где σ_m – среднее значение напряжений, Н/м²;

σ – действующие напряжения по Мизесу, Н/м²; ε – величина пластических деформаций, мм; C – пороговая величина, определяющая возможность разрушения материала; B – постоянная материала, описывающая величину гидростатического давления.

Величина линейного износа метчика оценивалась по задней поверхности. Пределы варьирования параметров: диаметр инструмента $D_{min}=7$ мм, $D_{max}=12$ мм, частота вращения $n_{min}=600$ мин⁻¹, $n_{max}=1800$ мин⁻¹, количество режущих перьев $N_{min}=3$, $N_{max}=4$.

В результате моделирования (ПФЭ 2⁴) процесса нарезания резьбы в композиционном материале, изготовленного из стеклонити ВМ и эпоксидного связующего ЭДИ методом косослойной продольно-поперечной намотки, получена зависимость линейного износа по задней поверхности от режимных параметров операции (3):

$$w = 4 \cdot 10^{-7} D^{1,4861} n^{0,4963} N^{0,1866} t^{0,4995}, \text{ мм}, \quad (3)$$

где w – линейный износ по задней поверхности, мм; D – диаметр инструмента, мм; n – частота вращения, мин⁻¹; N – количество режущих перьев; t – время работы, мин.

На основании полученных результатов установлена зависимость периода стойкости инструмента от скорости резания (рисунок 1).

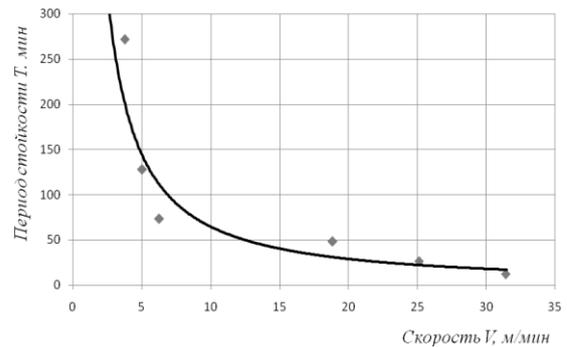


Рисунок 1 – Зависимость периода стойкости метчика от скорости резания

Помимо износа метчика, статическая прочность резьбового соединения определяется величиной отклонения от круглости наружного и внутреннего диаметров резьбы. В свою очередь, указанные параметры точности формируются на этапе изготовления резьбы и зависят, как от свойств обрабатываемого материала, так и от режимных параметров операции резбонарезания.

В результате проведенных экспериментальных исследований были получены соотношения, связывающие величину отклонения от круглости наружного и внутреннего диаметров резьбы с технологическими параметрами операции [3]:

$$\Delta d_1 = 0,7792 n^{0,0099} \cdot S^{-0,0104} \cdot d_{св}^{1,0683}, \text{ мм}, \quad (4)$$

$$\Delta d = 1,0994 n^{0,0062} \cdot d_{мет}^{1,9443}, \text{ мм}, \quad (5)$$

где Δd_1 – отклонение от круглости внутреннего диаметра резьбы, мм; Δd – отклонение от круглости наружного диаметра резьбы, мм; n – частота вращения, мин⁻¹; S – подача, мм/об; $d_{св}$ – диаметр сверла, мм; $d_{мет}$ – диаметр метчика, мм.

При проведении экспериментов начальный диаметр отверстия под нарезание резьбы выбирался согласно ГОСТ 19257-73 и в дальнейшем увеличивался по стандартному ряду диаметров сверл ГОСТ 885-77. Диаметр резьбы назначался по ГОСТ 24705 – 2004.

Для определения влияния отклонений от круглости диаметров резьбы на величину статической прочности соединения, методом конечных элементов выполнено численное моделирование процесса нагружения резьбового соединения, в результате которого установлено влияние погрешности изготовления витков внутренней резьбы на величину статической прочности соединения.

Анализ полученных данных показал, что при увеличении диаметра отверстия под нарезание резьбы (внутренний диаметр резьбы)

ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ВНУТРЕННЕЙ РЕЗЬБЫ В ДЕТАЛЯХ ИЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

происходит уменьшение напряжений, возникающих в соединении, при действии одной и той же силы. Такой эффект обусловлен тем, что максимальные напряжения концентрируются во впадине витка внутренней резьбы, а уменьшение высоты витка увеличивает его жесткость.

$$F = -35,24 \cdot 10^3 \Delta d_1^2 + 4,84 \cdot 10^5 \Delta d_1 - 16,48 \cdot 10^5, H, \quad (6)$$

где F – сила, вызывающая разрушение соединения, Н; Δd_1 – отклонение от круглости внутреннего диаметра резьбы, мм.

В ходе оценки влияния диаметра отверстия под нарезание резьбы на статическую прочность соединения (6) установлено, что увеличение диаметра отверстия под нарезание резьбы, по сравнению с рекомендуемыми по ГОСТ 19257-73 диаметрами отверстий, позволит повысить статическую прочность резьбового соединения.

Кроме приведенного выше соотношения, в результате экспериментальных исследований установлена зависимость статической прочности соединения от наружного диаметра внутренней резьбы:

$$F = 153,1 \Delta d^2 - 1640,69 \Delta d + 13854,21, H, \quad (7)$$

где F – сила, вызывающая разрушение соединения, Н; Δd – отклонение от круглости наружного диаметра резьбы, мм.

Подставляя в полученные зависимости (6) и (7) соотношения (4) и (5), определены соотношения описывающие зависимость статической прочности соединения от режимов резания операций сверления (рисунок 2) (8) и резьбонарезания (9):

$$F = -21,396 \cdot 10^3 n^{9,8 \cdot 10^{-5}} \cdot S^{1,3 \cdot 10^{-4}} \cdot d_{св}^{1,165} + 3,77 \cdot 10^5 n^{9,9 \cdot 10^{-3}} \cdot S^{-1,14 \cdot 10^{-2}} \cdot d_{св}^{1,0795} - 16,48 \cdot 10^5, H, \quad (8)$$

$$F = n^{0,38} \cdot d_{мет}^{3,8} + 14,99 \cdot 10^8 n^{6,2 \cdot 10^{-3}} \cdot d_{мет}^{1,94} + 10,6 \cdot 10^3, H, \quad (9)$$

где F – сила, вызывающая разрушение соединения, Н; n – частота вращения, мин^{-1} ; S – подача, мм/об; $d_{мет}$ – диаметр метчика, мм; $d_{св}$ – диаметр сверла, мм.

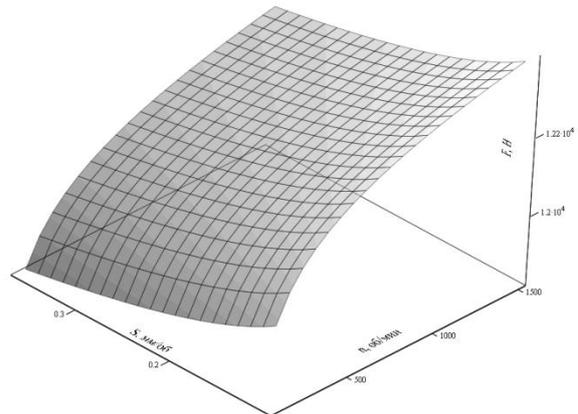


Рисунок 2 – Зависимость статической прочности соединения от режимов резания

Полученные зависимости (8), и (9), были использованы при разработке программно-алгоритмического комплекса проектирования операций изготовления внутренней резьбы в деталях из ВКПМ. Применение данного программно-алгоритмического комплекса обеспечивает достижение заданного качества обрабатываемых поверхностей и увеличение статической прочности резьбового соединения. Это достигается за счет оптимизации выбора режущего инструмента, назначения режимных параметров и применения технологических решений, направленных на повышение эффективности операции резьбонарезания.

Исходными данными для проектирования технологических операций изготовления внутренней резьбы (изготовление и последующая обработка отверстия, нарезание резьбы) являются физико-механические свойства материала детали, в которой нарезается внутренняя резьба, требуемые величина статической прочности и точность соединения.

Применение разработанного программно-алгоритмического комплекса в производственных условиях обеспечивает повышение производительности операции нарезания резьбы метчиками в деталях из ВКПМ, по сравнению с базовым вариантом технологического процесса на 15...20%. Статическая прочность внутренней резьбы, изготовленной с применением разработанной методики проектирования операции, возросла на 20%.

При этом были отмечены следующие технические преимущества: уменьшение основного времени обработки отверстий детали «стойка дугогасительной камеры» с 0,54 мин до 0,46 мин (на 14,3%), уменьшение основного времени нарезания резьбы с 0,35 мин до 0,23 (на 34%).

Таким образом, предлагаемая методика позволяет обеспечить требуемые параметры качества изготовления внутренней резьбы, при увеличении статической прочности соединения, производительности и снижении себестоимости механической обработки.

Полученные зависимости позволяют решить актуальную задачу повышения производительности изготовления внутренней резьбы в деталях из ВКПМ путем назначения оптимальных режимов резания на основе анализа влияния технологических параметров процесса на качество резьбового соединения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Marc User's Guide. – U.S.A.: MSC.Software Corporation, 2010. – 624 p. 2. Марков А.М., Лебедев П.В. Износ режущего инструмента при нарезании резьбы в высокопрочных полимерных композиционных материалах // Проблемы повышения эффективности металлообработки в промышленности на современном этапе: Тез. докл. междунар. науч. – техн. конф. – Новосибирск, 2010. – С. 45-47.

3. Мозговой Н.И., Марков А.М., Лебедев П.В. Контроль точности формы отверстий // Проблемы повышения эффективности металлообработки в промышленности на современном этапе: материалы 6-й Всерос. науч.-практ. конф., 28 марта 2008 г. / Новосиб. гос. техн. ун-т. – Новосибирск, 2008. – С. 41-43.

Марков А.М., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой. МТ, декан ФИТМ,
тел. +7(3852) 29-08-55,

E-mail: andmarkov@inbox.ru,

Лебедев П.В., аспирант,

Маркин В.Б., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой ФиТКМ, декан ЕНФ,
ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный
технический университет им. И.И. Ползунова»