

УДК 621.983.34.014 (043.3)

# ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОПЕРАЦИЙ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОТВЕРСТИЙ В ДЕТАЛЯХ ИЗ СТЕКЛОПЛАСТИКА

*Н.И. МОЗГОВОЙ, канд. техн. наук,  
ст. преподаватель,  
А.М. МАРКОВ, доктор техн. наук, профессор,  
Я.Г. МОЗГОВАЯ, канд. техн. наук, доцент  
(АлтГТУ им. И.И. Ползунова, г. Барнаул)*

Статья поступила 16 февраля 2012 г.

**Мозговой Н.И.** – 656038, Барнаул, пр. Ленина, 46, Алтайский государственный  
технический университет, e-mail: nick\_3@mail.ru

Рассматривается процесс автоматизации проектирования технологических решений и управления обработкой отверстий. Предложены возможные варианты повышения качества обрабатываемых отверстий в деталях из стеклопластика.

**Ключевые слова:** проектирование, технологический процесс, обработка отверстий, качество поверхности, стеклопластик.

В настоящее время стеклопластик является перспективным материалом в машиностроении, так как в конструкциях машин он успешно заменяет черные и цветные металлы. Широкое применение он нашел в изготовлении деталей, к которым предъявляются требования высокой прочности, стабильности размеров во времени, повышенной влагостойкости, большой ударной вязкости. Это – лопасти вертолетов, корпуса ракет, магнитопрозрачные кожухи и корпуса геофизических приборов, топливные баки, высоковольтные электроизоляторы, трубы для нефтяных и газовых скважин, телескопические шахтные стойки, трубы для сетей питьевого водоснабжения и канализации, высокопрочные антенные мачты и др.

При обработке стеклопластиков инструмент в основном изнашивается по задней поверхности, что вызывает погрешности, определяемые его физико-механическими свойствами:

- анизотропией, которая вызывает постоянные колебания силы резания;
- низкими теплопроводностью и теплостойкостью, приводящими к нагреву режущего инструмента и нарушению структуры поверхностного слоя заготовки;

- высокими упругими характеристиками, вызывающими деформацию и сжатие отверстия после извлечения сверла;

- абразивным воздействием стеклянных волокон на режущий инструмент, снижающим его стойкость.

Обработка отверстий является более сложной, чем обработка наружных поверхностей вращения, так как во многих случаях жесткость инструмента лимитируется размерами отверстия, и увеличить ее не представляется возможным; затрудняется отвод стружки; поверхность обработки менее доступна для визуального контроля. Для обеспечения качества отверстий необходимо выдерживать следующие основные параметры: допуск на диаметр; шероховатость сечения; допуск круглости; допуск профиля продольного сечения; допуски расположения отверстия относительно других отверстий и базовых поверхностей.

При обработке отверстий станочник сталкивается с рядом проблем, таких как усадка отверстия, отклонение его от круглости, что вносит свои коррективы в дальнейший маршрут обработки. Возникает необходимость внедрения в технологический процесс следующих опера-

**Выходы процесса точения**

Выходы (результаты работы системы)	Параметры выхода		
	Наименование	Значение	Единица измерения
1. Обработанная поверхность	1.1. Отклонение от круглости	0,2	мкм
	1.2. Шероховатость $Ra$	6,3	мкм
2. Стружка	2. Вид стружки	2.1. Сливная 2.2. Элементная 2.3. Сегментная	– – –
3. Процесс резания	3.1. Изображение отверстия		
	3.2. Отслоение материала	Да / нет	–
	3.3. Прижоги	Да / нет	–

ций – рассверливание, досверливание и растачивание. Для данных процессов используется режущий инструмент, такой как сверла и резцы со сменными многогранными пластинками.

Однако использование современных научно-технических достижений позволяет прогнозировать и уменьшать воздействие вредных факторов на формирование поверхности отверстия. С этой целью были проведены исследования по установлению зависимости между режимами резания и отклонением от круглости, шероховатости, а также износом режущего инструмента и определены выходные параметры процесса механической обработки (см. таблицу). Принципиальная схема автоматизированного стенда сбора и обработки информации (АССОИ) включает в себя компьютер, станок вертикально-сверлильный 2А135, фотодатчики, набор спиральных сверл, профилограф-профилометр 250 (завод «Калибр»), большой инструментальный микроскоп (БИМ1).

Предварительно был проведен поисковый эксперимент для выбора диапазона варьирования режимов резания и геометрии инструмента. Нижние значения параметров ( $S = 0,1$  мм/об,  $n = 68$  об/мин) выбираются из условия обеспечения производительности обработки, верхние значения параметров  $n = 750$  об/мин и  $S = 0,71$  мм/об ограничиваются качеством обрабатываемой поверхности. Глубина резания  $t = 30$  мм ограничивается возможностью работать стандартным осевым инструментом без применения специальных приспособлений, предотвращающих его увод.

Для проведения исследований были выбраны спиральные сверла Р6М5 диаметром 9,0 мм со следующей геометрией: задний угол  $\alpha = 30^\circ$ , угол при вершине  $2\varphi = 120^\circ$  и круглые сплошные заготовки из стеклопластика (ВМ-1) диаметром 100 и толщиной 30 мм.

После изготовления партии образцов 40 отверстий были выборочно исследованы с помощью большого инструментального микроскопа (БИМ-1) и полученные данные обработаны методами математической статистики. Параметром для контроля точности изготовления отверстий было выбрано отклонение от круглости – наибольшее расстояние от точек реального профиля до прилегающей окружности. В результате была получена следующая математическая зависимость:

$$\Delta_{\text{круг}} = 0,58 S^{2,74} v^{1,13},$$

где  $\Delta_{\text{круг}}$  – отклонение от круглости;  $S$  – подача, об/мин;  $v$  – скорость вращения инструмента, м/мин.

Визуальный контроль на микроскопе позволяет получить зависимость и вносить коррективы уже после обработки в следующую партию изготовления деталей. Для оперативного предварительного контроля параметров отверстия предлагается получать изображение отверстия прямо из зоны резания в процессе механической обработки с помощью фотодатчиков, сигнал с которых поступает на компьютер, где изображения обрабатываются пакетом графических программ. Их использование позволяет автоматически выделять отверстие и получать монохромный

профиль. Точность формы определяется путем наложения двух концентрических окружностей (ГОСТ 24462-83).

Для апробации описанной методики был проведен контроль отверстий, вид одного из которых представлен на рис. 1, *а*. Далее после обработки пакетом графических программ отверстие преобразуется в монохромный вид (рис. 1, *б*), что позволяет производить расчет показателей точности, например отклонения от круглости. На рис. 2 показано соотношение реального профиля отверстия и его идеальной формы (двух концентрических окружностей). С помощью тарировочного графика определяются коэффициенты искажения и неперпендикулярности полученных изображений, а также реальные размеры отверстия.

С использованием методики планирования эксперимента была получена математическая модель, адекватность которой была проверена по критериям Фишера и Кохрена:

$$\Delta_{\text{круг}} = 0,52 S^{2,82} v^{1,20}.$$

Погрешность получения данных графическим способом не превышает 5 % от тради-

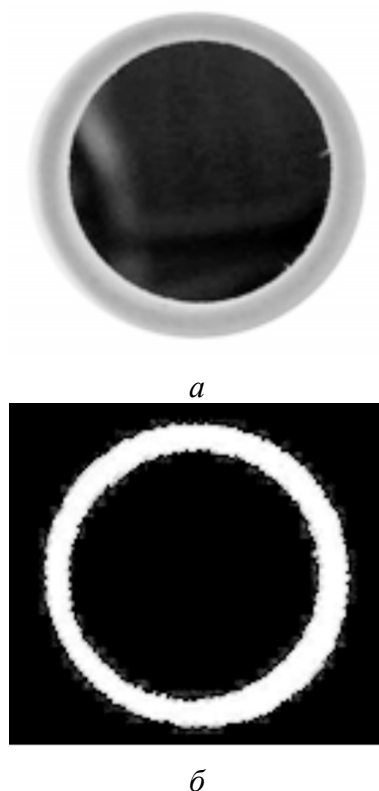


Рис. 1. Профили контролируемого отверстия: *а* – реальный профиль; *б* – монохромный профиль

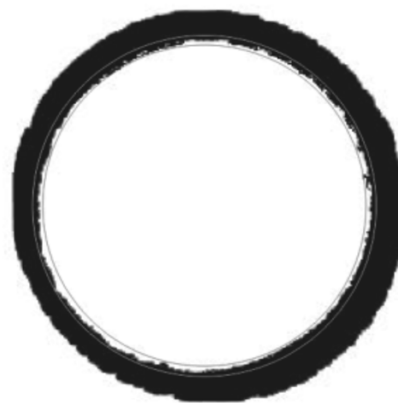


Рис. 2. Наложение двух концентрических окружностей

ционного измерения, что позволяет судить об адекватности модели. Однако преимущество последнего метода в том, что при установлении обратной связи с системой СПИД можно вносить коррективы в процесс обработки отверстий, что позволяет значительно сократить процент получения брака и вовремя совершать замену изношенного инструмента.

Качество поверхности стеклопластиков существенно влияет на различные эксплуатационные показатели изделий, в частности, на прочность, водопоглощение, поэтому следующим фактором, который контролировался, являлась шероховатость. На ее величину оказывают влияние следующие факторы – свойства обрабатываемого материала, в частности, схемы армирования стеклопластика, режимы резания, геометрические параметры режущего инструмента, износ инструмента, вид обработки, вибрации при резании и др. Учет влияния всех перечисленных факторов сложен. При обработке конкретного материала инструментом определенной геометрии на выбранном оборудовании количество факторов, определяющих уровень параметров шероховатости, можно ограничить режимами резания, степенью износа резца, геометрическими параметрами инструмента:

$$Ra = 9,88 S^{0,25} v^{0,34},$$

где  $Ra$  – шероховатость внутренней поверхности отверстия.

Правильность полученных данных проверялась по результатам исследований, проведенных в лабораторных условиях. Проводя

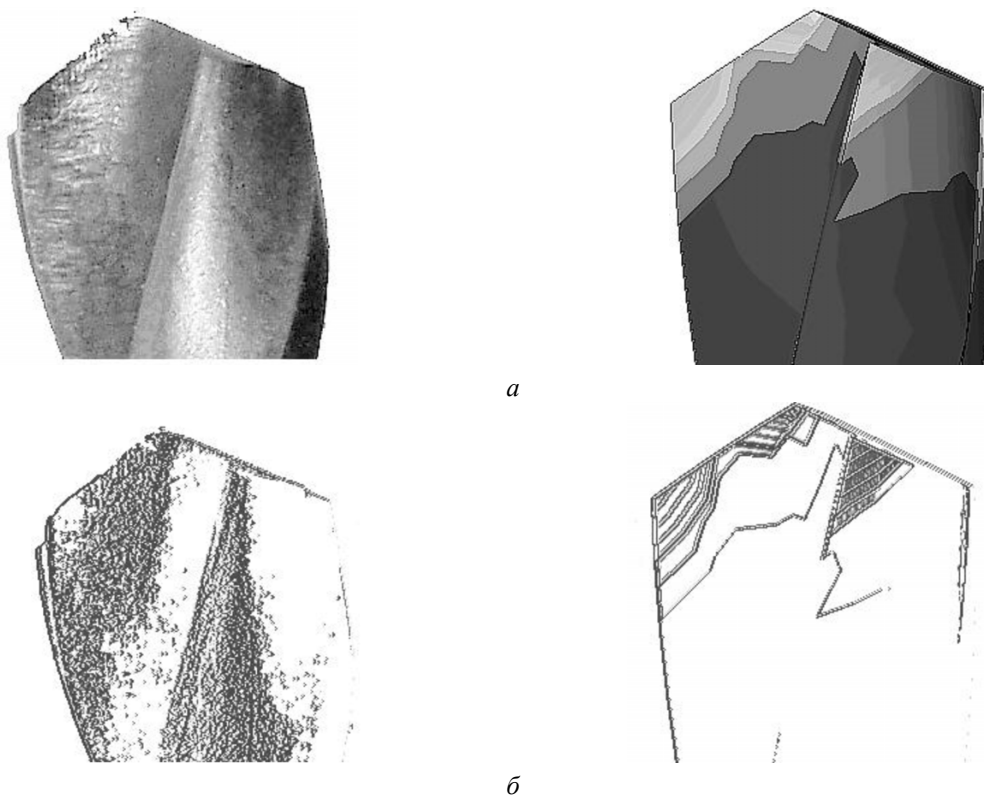


Рис. 3. Сравнение полученных результатов:

*a* – напряжения; *б* – интенсивность

сравнение износа инструмента, было установлено, что характерный износ по задней поверхности сверл, возникающий при обработке стеклопластиков, наблюдается как при моделировании, так и в условиях эксперимента (рис. 3). Разница в интенсивности износа, определенного по экспериментальному образцу и математической модели, связана со сделанными допущениями.

Изучение характера структуры обрабатываемого материала является необходимым условием получения правильного представления о механизме износа режущих инструментов. В микроструктуре стеклопластиков отчетливо видны стекловолокна и промежутки между ними, заполненные связующим. Прочностные характеристики связующего по сравнению со стекловолокном меньше примерно в 30 раз. Стекловолокнам, как и стеклу, присущи высокие истирающие свойства. Из-за чередования стекловолокон и пустот, заполненных связующим, воздействие стеклопластика на материал сверла будет подобно работе инструмента, имеющего огромное количество режущих кромок, т. е. шлифовальному кругу. Отсюда следует один

из типичных случаев абразивного износа, который сводится к большому числу элементарных процессов царапания.

По наблюдениям интенсивность абразивного воздействия пластика на материал инструмента в основном зависит от вида стеклонаполнителя и его процентного содержания. На материал инструмента наиболее интенсивно воздействуют пластики, имеющие в качестве наполнителя стекловолокно.

В отдельных случаях содержание стекловолокна влияет на истирающую способность пластика в большей степени, чем характер наполнителя.

С учетом этого в процессе обработки данных была установлена зависимость износа режущей кромки инструмента от режимов резания:

$$l_{\text{изн}} = 0,43 S^{2,35} v^{1,20},$$

где  $l_{\text{изн}}$  – длина износа по задней поверхности сверла.

В результате проведенных исследований была разработана методика проектирования маршрута обработки отверстий в деталях из стеклопластика и построен алгоритм автома-

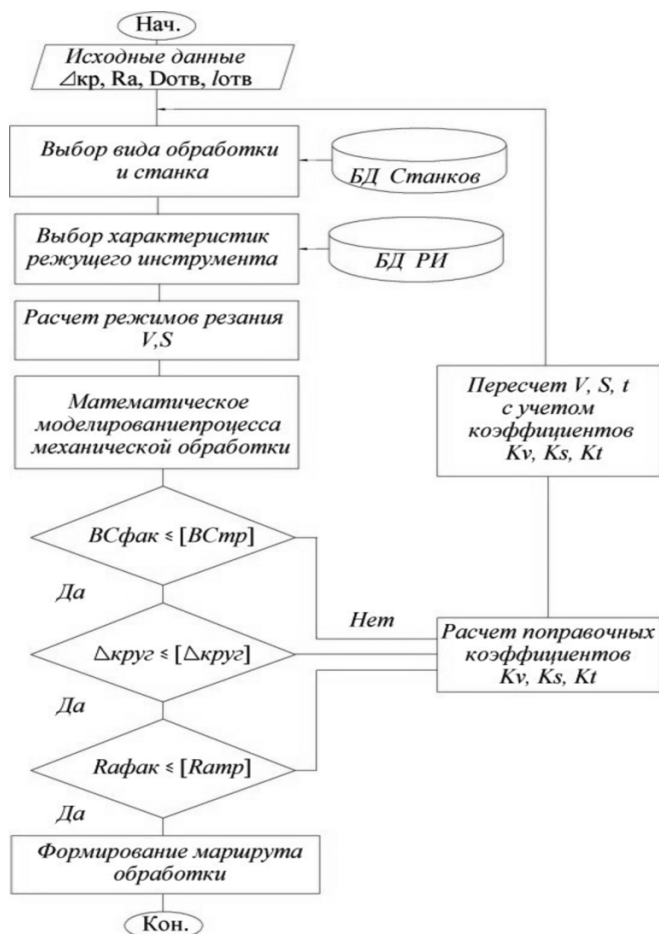


Рис. 4. Алгоритм автоматизированной системы выбора характеристик инструмента и режимов резания и формирования маршрута обработки

тизированного проектирования операций обработки (рис. 4), позволяющий выбрать оборудование и назначить рациональные режимы обработки в зависимости от требуемых показателей качества обработанной поверхности,

а также управлять процессом стружкообразования для снижения воздействия на человека и окружающую среду вредных производственных факторов [1, 2].

Предложенный алгоритм позволяет сформировать маршрут обработки отверстий в деталях из стеклопластика и повысить производительность механической обработки за счет оптимизации процесса проектирования технологической операции для деталей из стеклопластика [3], а также применения новых технологических решений, направленных на повышение эффективности процесса изготовления отверстия в заготовках из этих материалов, и уменьшения процента брака.

### Список литературы

1. Режимы резания при механической обработке стеклопластика (РРМОС): свидетельство об официальной регистрации базы данных № 2007620118 / Н.И. Мозговой, Е.Б. Бондарь, А.М. Марков, М.В. Доц. – 2007620030; заявл. 29.01.07; зарегистрировано 22.03.07.
2. Мозговой Н.И. Моделирование процесса сверления стеклопластиков в среде Cosmosworks / Н.И. Мозговой, А.М. Марков, П.В. Лебедев // Обработка металлов. – 2007. – № 4. – С. 19–23.
3. Мозговой Н.И. Исследование процесса формирования показателей качества отверстий в деталях из стеклопластика / Н.И. Мозговой, А.М. Марков // Ползуновский вестник. – 2009. – № 2. – С. 23–27.

### Design of manufacturing operations, the holes in the details made of composites

N.I. Mozgovoy, A.M. Markov, Y.G. Mozgovaya

The article discusses how to automate the design decisions and managing the processing of holes. Proposed options to improve the quality of processed holes in fiberglass are offered.

**Key words:** design, process, processing of holes, surface quality, composites.