

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ ОБРАБОТКИ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

М.В. Доц, Е.Б. Бондарь, А.М. Марков, В.Б. Маркин

*Приведены результаты экспериментальных исследований композиционных материалов твердосплавным инструментом с неперетачиваемыми пластинами. Разработан алгоритм проектирования операции токарной обработки композиционных материалов с использованием искусственных нейронных сетей.*

*Ключевые слова: композиционные материалы, нейросетевые технологии, автоматизация*

Современные машиностроительные предприятия сталкиваются с необходимостью повышения конкурентных преимуществ выпускаемой продукции. Достижение этой цели возможно за счет ужесточения требований к качеству деталей, сокращения периодов технической подготовки производства и изготовления продукции, а также, в некоторых случаях, за счет применения современных композиционных материалов, например стеклопластиков, успешно заменяющих черные и цветные металлы в конструкциях и не уступающих им по физико-механическим свойствам.

Многообразие типов наполнителей и связующих, видов ориентации волокон и методов изготовления, позволяет создавать стеклопластики, обладающие различной степенью обрабатываемости. Стеклопластики, являющиеся одной из перспективных групп композиционных материалов, не достаточно изучены с точки зрения их механической обработки: рекомендуемых инструментальных материалов, геометрии режущего инструмента, а также режимов резания, обеспечивающих заданные параметры точности и качества обработанной поверхности. К особенностям механической обработки стеклопластиков можно отнести анизотропию свойств материала, низкую теплопроводность и теплостойкость, высокие абразивные свойства наполнителя, деструкцию связующего, зависимость процесса стружкообразования от технологических режимов. Кроме того, характерной особенностью резания стеклопластиков является интенсивный износ режущей кромки, а, следовательно, необходимость частых переточек инструмента, что снижает производительность обработки за счет уве-

личения времени на его замену и настройку станка на размер после смены инструмента. В связи с этим, применение модульной оснастки и режущего инструмента со сменными многогранными пластинами в автоматизированном производстве деталей, более предпочтительно.

Исследования, проведенные ранее в этой области Степановым А.А., Штучным Б.П., Рудневым А.В., Королевым А.А., Егоровым С.В., Ящерицыным П.И. и др., дают рекомендации по использованию узкого круга инструментальных материалов и геометрии режущих инструментов, как правило, с напайными пластинами, а также по назначению режимов резания для групп пластмасс, разделенных по степени обрабатываемости. Однако подобные методики не автоматизированы, имеют общий характер и не могут учесть всё многообразие физико-механических свойств новых марок композиционных материалов, а также параметры технологических систем, влияющие на стружкообразование и показатели точности получаемой поверхности.

Анализ номенклатуры выпускаемых деталей из стеклопластика, показывает, что большая часть технологических операций приходится на токарную обработку поверхностей вращения.

Отсутствие автоматизированных методик проектирования параметров механической обработки для деталей из стеклопластика приводит к увеличению времени технологической подготовки производства (ТПП) до 30-40% от общей трудоемкости. Период ТПП становится соизмеримым со сроком нахождения изделия в производстве, а иногда и превышает его.

Таким образом, для повышения эффективности проектирования операции точения стеклопластика, необходимы исследования, позволяющие установить зависимости между показателями качества поверхности (шероховатость поверхности -  $Ra$ , величина дефектного слоя -  $\Delta h$ ), видом стружки, величиной силы резания и типом сменных многогранных пластин, их конструктивно-геометрическими параметрами (КПП), а также режимами резания.

Одним из перспективных направлений совершенствования ТПП является использование автоматизированных систем, построенных с помощью искусственных нейронных сетей (ИНС). Принцип работы ИНС основан на массовой параллельной обработке большого объема информации и способности к самообучению системы по примерам обучающей выборки. Отличительной особенностью архитектуры таких вычислительных устройств является упрощение процессорного элемента однородной структуры до уровня нейрона, у которого резко усложнены связи между элементами и программирование перенесено на изменение весовых коэффициентов связей между вычислительными ячейками [1].

Преимуществом ИНС является способность обучаться решению задач, для которых у человека не существует формализованных, быстрых или работающих с приемлемой точностью алгоритмов решения. Применение в составе автоматизированной системы проектирования технологической операции оптимизационных алгоритмов с варьируемыми критериями оптимальности, построенных с помощью ИНС, позволит повысить эффективность принятия проектных технологических решений, минимизировать срок длительности ТПП, а также обеспечит возможность приспосабливать базовый вариант системы к производственным и хозяйственным условиям конкретного предприятия.

Для построения нейросетевых моделей, описывающих процессы формо- и стружкообразования деталей из стеклопластика необходимы таблицы обучающей и тестирующих выборок. В связи с этим были проведены экспериментальные исследования влияния режимов операции, КПП режущего инструмента на качественные показатели обработанной поверхности (рисунок 1) и тип стружки.

В качестве экспериментальных образцов взяты трубы из стеклопластика КППН (косо-слоиная продольно-поперечная намотка) длиной 1200 мм, диаметром 120 мм и толщиной стенки 10 мм. Изучение процесса формообразования поверхности деталей из стеклопластика осуществлялось путем целенаправленного изменения входных параметров в соответствии с методикой проведения полного факторного эксперимента и регистрации выходных характеристик технологической системы (ТС). Состояние ТС в каждый момент времени характеризуется сочетанием ряда входных параметров, а поведение системы - набором ее состояний во времени.

Были выделены следующие входные параметры процесса механической обработки заготовок из стеклопластика: режимы резания ( $v$ ,  $t$ ,  $s$ ), геометрия ( $\alpha$ ,  $\gamma$ ,  $\phi$ ,  $\phi 1$ ,) и тип сменной многогранной пластины из твердого сплава BK8.

В качестве выходных характеристик процесса регистрировались: вид получаемой стружки, наличие прижогов и отслоений, величина дефектного слоя  $\Delta h$ , шероховатость обработанной поверхности  $Ra$ , составляющая силы резания  $P_z$ .

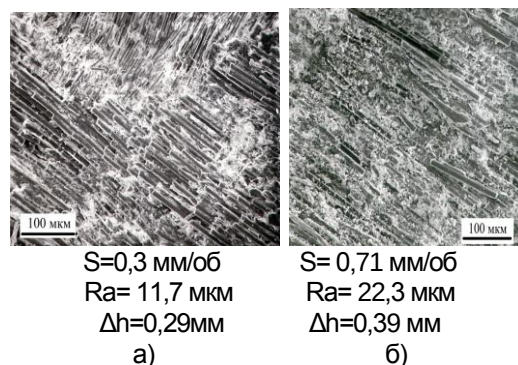


Рисунок 1 – Величина дефектного слоя  $\Delta h$  при обработке стеклопластика

Результаты проведенного исследования точения стеклопластика твердосплавными пластинами разных типов позволили построить математические модели процесса формирования дефектного поверхностного слоя  $\Delta h$ , шероховатости обрабатываемой поверхности  $Ra$ , силы резания  $P_z$  (таблица 1) [2].

Кроме того, выявлено влияние на тип образующейся стружки режимов резания и КПП инструмента.

Таблица 1 – Эмпирические математические модели процесса обработки стеклопластика для разных типов пластин

| Тип пластины | Математические модели для определения $\Delta h$ , мм и $Ra$ , мкм, $Pz$ , Н |
|--------------|------------------------------------------------------------------------------|
| HNUM         | $\Delta h = 0,8714 V^{0,0208} S^{0,353} t^{0,001}$                           |
|              | $Ra = e^{(0,77+0,14 \ln V + 1,72 S)}$                                        |
|              | $Pz = 253 S^{0,64} t^{0,97}$                                                 |
| HNUA         | $\Delta h = 0,4669 V^{0,214} S^{0,4311} t^{0,08}$                            |
|              | $Ra = e^{(0,76+0,12 \ln V + 1,63 S)}$                                        |
|              | $Pz = 276 S^{0,68} t^{1,04}$                                                 |
| PNUM         | $\Delta h = 0,5934 V^{0,1896} S^{0,2776} t^{0,054}$                          |
|              | $Ra = e^{(1,14+0,12 \ln V + 2,09 S)}$                                        |
|              | $Pz = 239 S^{0,66} t^{1,02}$                                                 |
| PNUA         | $\Delta h = 0,5415 V^{0,2487} S^{0,7386} t^{0,1063}$                         |
|              | $Ra = e^{(0,7+0,15 \ln V + 2,27 S)}$                                         |
|              | $Pz = 277 S^{0,76} t^{1,05}$                                                 |

В процессе точения стеклопластика может образовываться сливная стружка, которая наматывается на заготовку, что делает невозможной дальнейшую обработку, а также пылевидная стружка, состоящая из частиц стекла и связующего. Пылевидная стружка во взвешенном состоянии распространяется по производственному помещению, оказывая вредное воздействие на здоровье человека и загрязняя окружающую среду, поэтому требуется обязательное оснащение рабочей зоны элементами приточно-вытяжной вентиляции.

Проведенные исследования позволили составить базу данных «Операция точения заготовок из стеклопластика» [4], содержащую информацию о типе и геометрии сменных многогранных пластин, операционных режимах резания, а также прогнозируемые значения силы резания, величины дефектного слоя, шероховатости обработанной поверхности, вид стружки.

Для построения нейросетевых моделей процесса точения заготовок из стеклопластика применялась программа NeuroPro\_0\_25. В программе реализованы градиентные методы обучения ИНС. Весовые коэффициенты

адаптивных связей при создании нейросетевой модели принимают случайные значения и при обучении могут изменяться в диапазоне [-1,1]. В качестве нелинейного элемента нейрона используется нелинейный сигмоидный преобразователь.

Построение нейросетевых моделей происходило в соответствии с разработанным алгоритмом моделирования процесса точения деталей из стеклопластика (рис.2) с помощью искусственных нейронных сетей.

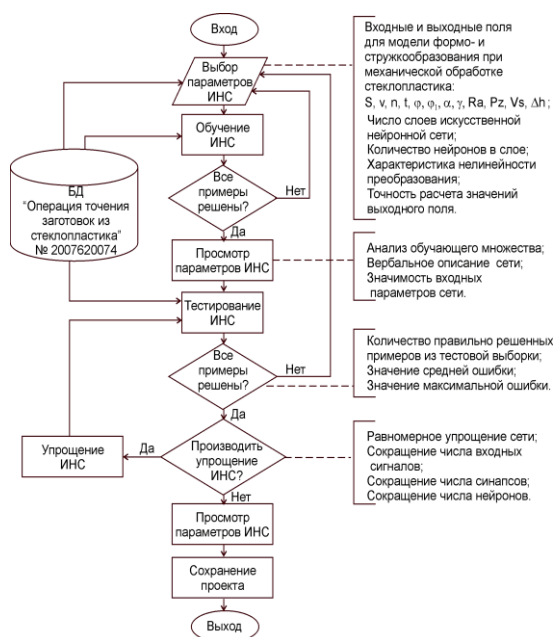


Рисунок 2 – Алгоритм построения нейросетевых моделей

Полученные математические модели, характеризующие процессы взаимодействия инструмента и обрабатываемой поверхности заготовки позволяют провести проверку предложенных нейронных сетей, что определяет их применимость и адекватность в условиях, существенно отличающихся от базовых.

Используя полученные результаты, предложен алгоритм автоматизированного проектирования токарной операции для деталей из стеклопластиков, на основе нейросетевых моделей формо- и стружкообразования (рис.3), обеспечивающий достижение заданного качества обрабатываемых поверхностей и требуемую производительность, за счет оптимизации выбора режимных параметров и КГП режущего инструмента [3].

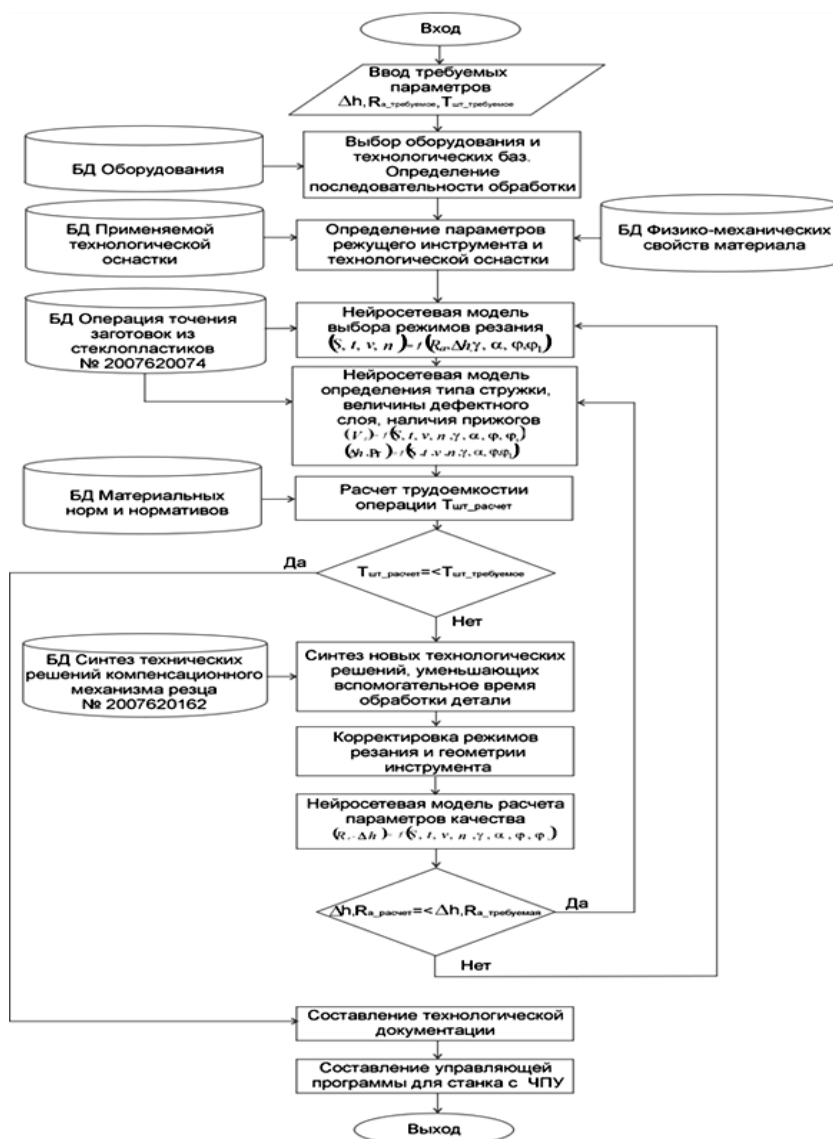


Рисунок 3 – Алгоритм проектирования технологической операции для деталей из стеклопластиков, построенного на основе нейросетевых моделей

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пятковский О.И. Разработка программного комплекса адаптивного нейропрограммирования/ Пятковский О.И., Авдеев А.С. //Программные продукты и системы. Научно-практическое издание. №1 (89) – 2010. – С. 106–109.
2. Доц М.В. Экспериментальные исследования точения стеклопластика / М.В. Доц, А.М. Марков, Е.Б. Бондарь // Современные технологические системы в машиностроении СТМС – 2005 /Изд-во АлтГТУ – Барнаул, 2005 - С.133-135.
3. Доц М.В. Применение искусственных нейронных сетей в составе автоматизированной системы управления подготовкой производства / М.В. Доц, А.М. Марков, Е.Б. Бондарь // Современные технологические системы в машиностроении СТМС – 2006 /Изд-во АлтГТУ – Барнаул, 2006 - С.11-14.
4. «Операция точения заготовок из стеклопластика» (ОТС) Свидетельство об официальной регистрации базы данных №2007620074 от 08.02.07г.

**Доц М.В.**, к.т.н., доцент каф. МТ,  
тел. +7(3852) 29-09-43, E-mail: marinadoc1@mail.ru  
**Бондарь Е.Б.**, к.т.н., доцент каф. ТМиММ,  
тел. +7(3852) 29-08-85, E-mail: dgek\_bond@mail.ru  
**Марков А.М.**, д.т.н., профессор, зав. каф.  
МТ, декан ФИТМ, тел. +7(3852) 29-08-55,  
E-mail: andmarkov@inbox.ru  
**Маркин В.Б.**, д.т.н., профессор, зав.  
каф. ФиТКМ, декан ЕНФ,  
ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова»