

НЕЙРОСЕТЕВОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ КОНЦЕНТРАЦИИ ОКСИДА УГЛЕРОДА ОТ РЕЖИМОВ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ СТРОИТЕЛЬНЫХ УГЛЕРОДСОДЕРЖАЩИХ МАТЕРИАЛОВ

М. А. Ураксеев¹, И. Ю. Петрова², А. В. Николаев¹

*¹Уфимский государственный авиационный технический университет
(Россия)*

*²Астраханский государственный архитектурно-строительный
университет (Россия)*

Известные методы контроля стойкости режущих инструментов при механической обработке металлов позволяют с достаточной точностью контролировать остаточное время работы инструмента. Однако большинство из них основано на электропроводимости детали, что ограничивает их применимость к композиционным материалам. В связи с этим в работе рассматривается обобщенная структура информационно-измерительной и управляющей системы контроля стойкости режущего инструмента для станков с числовым программным управлением (ЧПУ) на основе метода газового анализа вблизи зоны резания. Показано, что в процессе механической обработки углеродсодержащих материалов с уменьшением остаточной стойкости инструмента происходит увеличение концентрации газов вблизи зоны резания. Также представлена экспериментальная зависимость концентрации оксида углерода от подачи и частоты вращения шпинделя. Результаты эксперимента представлены в виде диаграмм, на которых приведены значения режимов резания и соответствующие им концентрации газов, где отчетливо просматривается зависимость увеличения концентрации газов от уменьшения времени остаточной стойкости. Предложенная обобщенная структура информационно-измерительной и управляющей системы контроля стойкости режущего инструмента для станков с ЧПУ позволяет своевременно оценивать изменение концентрации газов и пересчитывать на основе этих данных остаточную стойкость инструмента.

Ключевые слова: *информационно-измерительная система, механическая обработка, концентрация газов в зоне резания, композиционные материалы, углеродсодержащие, стойкость инструмента, оксид углерода, газоанализатор, инструмент-дублер.*

Well-known cutting tool life control methods by the mechanical treatment of metals allow with the sufficient accuracy to test a remaining operating time of the tool. However the majority of them are based on the electro-conductivity of a detail that limits their applicability to composite materials. In connection with this the generalized structure of the information - measuring and operating- monitoring system of cutting tool life control system for machine tools with the numerical program control (CNC) on the basis of a method of the gas analysis near cutting zone is considered. It is shown, that during the mechanical treatment of carbon materials with the reduction of the tool life residual system there is an increase in the concentration of gases near the cutting zone. Also experimental dependence of the carbon oxide concentration from submission and frequency of rotation of a spindle is presented. Results of experiment are presented in the diagrams on which values of modes of cutting and concentration of gases, corresponding them, are shown. The dependence of increase in concentration of gases on reduction of time of residual stability is overviewed. The offered generalized structure of information - measuring and operating- monitoring system of tool life control system for

machine tools with numerical program control (CNC) allows to estimate the change of concentration of gases and to recalculate the tool life residual system on the basis of these data.

Keywords: *information-measuring system, machining, the gas concentration in the cutting zone, composite materials, carbon, tool life, carbon monoxide, a gas analyzer, a tool under study.*

Строительная индустрия, набирая обороты, предполагает использование самых новых и технологичных материалов при возведении сооружений любого назначения. К наиболее востребованным в строительстве эффективным современным материалам относятся композиты – созданные искусственным путем неоднородные материалы, состоящие из нескольких компонентов и имеющие четкую границу раздела. Большинство композитов обладают более прочными физическими характеристиками и механическими свойствами, чем составляющие его ингредиенты, и при этом обладают меньшим весом. Эта особенность позволяет использовать композитные материалы в строительстве, при этом существенно снизив вес конструкции и улучшив ее механические и прочностные показатели.

Композиты подразделяются на различные виды по типу армирующего вещества. Они бывают волокнистые, слоистые, наполненные, насыпные и скелетные. Свойства композитного материала обеспечиваются комбинацией механических и физических характеристик каждого из составляющих.

Например, при производстве канализационных насосных станций вместо ранее использовавшихся кирпича или бетонных колец для строительства емкости, в которой размещаются приборы контроля, погружные насосы, защитные сетки и клапаны, использование композитных материалов (стеклопластика) дает определенные преимущества в виде уменьшения веса изделия, увеличения его прочности, высокой коррозионной стойкости, хороших теплоизоляционных свойств. Кроме того, стеклопластики обладают отличными электроизоляционными свойствами, поэтому могут использоваться в качестве диэлектрика.

Поскольку материалы, применяемые для производства канализационных насосных станций, находятся во время эксплуатации в условиях высокой влажности, повышенного давления грунта на корпус емкости, в которой находятся погружные насосы, использование стеклопластика является отличным решением [1].

Из волокнистых композиционных материалов можно изготовить стандартные линейные элементы, например, двутавры, прутки и т. д. (рис. 1), применяющиеся в строительной промышленности, однако наиболее выгодно использовать композиционные материалы в конструкциях, обладающих жесткостью и прочностью благодаря своей форме. Примерами таких конструкций служат оболочки и гофрированные пластины. Оболочки имеют искривленную поверхность одинарной или двойной кривизны. При выборе формы оболочки ее пространственную конфигурацию следует рассматривать не только с точки зрения ее конструкционной эф-

фективности, но и с точки зрения ее пригодности для предполагаемого использования, огораживаемого ею пространства [2].

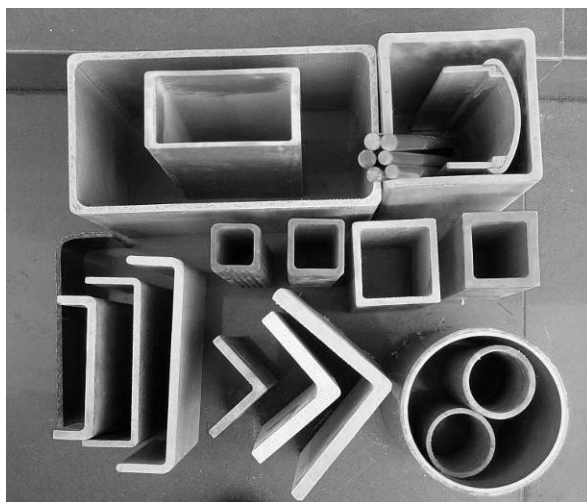


Рис. 1. Стеклопластиковые композитные профили

Удельная прочность и жесткость строительных конструкций из стеклопластиков и углепластиков значительно выше, чем конструкций, изготовленных из большинства традиционных материалов. Так, например, эти показатели у стеклопластиков типа СВМ в 7–10 раз выше, чем у стали; в 6–8 раз, чем у пиломатериалов; в 5–7 раз, чем у прессованной фанеры. Для увеличения жесткости и уменьшения расхода материала поперечные сечения изделий из стеклопластика выполняют коробчатой, лотковой или других форм.

Изделия из стеклопластика обладают столь же высокой прочностью на сжатие, на скручивание, на разрыв, как изделия из металла, но при прочих равных условиях имеют значительно меньший вес, чем металлические конструкции. Это свойство значительно расширяет область применения изделий из стекловолокна, и делает монтаж и транспортировку конструкций из композита более простыми. Открытые солнечные лучи, осадки, перепады температур, агрессивные химические среды не изменяют прочностных характеристик изделий из стеклопластика, поэтому материал может использоваться для возведения внутренних и наружных конструкций. Кроме того, композиты, в составе которых находится эпоксидная или полиэфирная смолы, или стекловолокно, блокируют распространение огня во время пожара. При сгорании стеклопластик не выделяет токсические вещества в воздух – он не дымит и не выделяет в процессе горения диоксид.

В основу производства стеклопластиковых композитных профилей положен традиционный способ изготовления стеклопластиков - размотка волокна, его подсушка, пропитка связующим, формирование профиля поперечного сечения, полимеризация связующего и механическая обработка. Исключительное значение приобретает повышение контроля над процессом резания путем введения систем диагностирования. Работа системы ди-

агностирования основана на контроле процессов, происходящих в зоне резания. Разработка составляющих системы диагностирования и их внедрение в технологическую систему, а также учет большинства ограничивающих факторов процесса резания позволяют избежать катастрофического износа отдельных элементов технологической системы, отказов РИ, распространения высоких температур в зоне резания и во всей технологической системе, снижения надежности работы оборудования в целом.

В качестве метода контроля износа инструмента предлагается использовать метод газового анализа. В процессе механической обработки углеродсодержащих материалов (стали, композиты, углепластики и т. д.) под действием сил резания происходит деформация и разрушение кристаллической решетки, которая сопровождается выделением большого количества тепла. Под действием высоких температур на поверхностях инструмента, детали и стружки протекают химические реакции. Результатом реакции является образование таких газов, как оксид углерода (СО), диоксид углерода (СО₂), углеводороды (СН) и другие [3–5].

На рис. 2 показана функциональная схема информационно – измерительной и управляющей системы контроля стойкости режущего инструмента для станков с ЧПУ. Работа системы осуществляется следующим образом: зонд 3 газоанализатора 4 производит забор газа вблизи зоны резания обрабатываемой детали 1 резцом 2. Цифровой сигнал о величине концентрации СО поступает с выхода газоанализатора на вход микроконтроллера 5 со встроенным микропроцессором, где в случае критического значения концентрации формируется сигнал на замену инструмента. Если оборудование не обладает устройством автоматической смены инструмента, то включается светозвуковая сигнализация, для оператора предупреждающая о необходимости замены инструмента. Если же станок имеет устройство автоматической смены инструмента, то формируется управляющий сигнал для системы ЧПУ станка и смена происходит автоматически, сигнализируя оператору о том, что произошла замена режущего инструмента дублером.

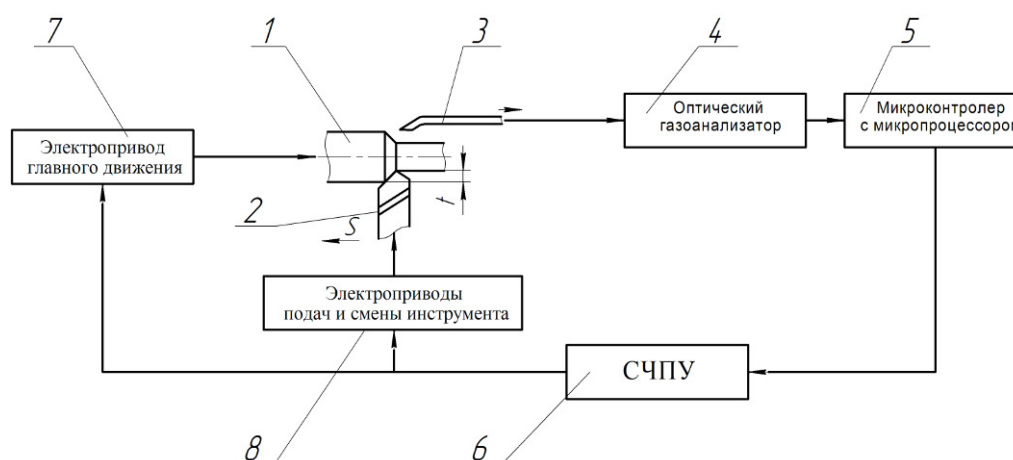


Рис. 2. Информационно-измерительная и управляющая система контроля стойкости режущего инструмента для станков с ЧПУ

В основе предложенной системы управления лежит модель объекта управления. В нашем случае нет необходимости в создании сложной модели, в которой имеется структурное соответствие, достаточно лишь, чтобы моделировалось поведение. Поэтому в качестве метода моделирования выбран метод нейросетевого моделирования.

Первым этапом в создании нейросетевой модели является сбор и подготовка исходных данных. Сбор исходных данных произведен в результате проведения эксперимента с реальной системой. В качестве металлорежущего оборудования выбран вертикально-сверлильный станок модели 2Н135. Обработка материала производилась сверлом диаметром 6 мм, материал режущей части Р6М5К5(НSS Со 5 %), период стойкости инструмента, заявленный производителем, $T = 25$ мин. Регистрация изменения концентрации газа вблизи зоны резания проводилась с помощью переносного мультигазового газосигнализатора серии ИГС-98 «КОМЕТА-М». Эксперимент проводился на двух заготовках сталь 45 и композитный материал.



Рис. 3. Экспериментальная установка для проведения исследования зависимости концентрации оксида углерода от подачи и частоты вращения шпинделя

Так как на процесс обработки резанием влияет большое количество входных параметров, было проведено ранжирование, выделив наиболее значимые факторы, подача, скорость резания и период стойкости инструмента.

Для наглядности и удобства очистки данных эксперимента построен трехмерный график зависимости концентрации оксида углерода от подачи и частоты вращения шпинделя представленный на рис. 4.

Для написания программы нейросетевого моделирования зависимости концентрации оксида углерода от режимов обработки углеродсодержащих материалов, разработан алгоритм работы программы, представленный на рис. 5.

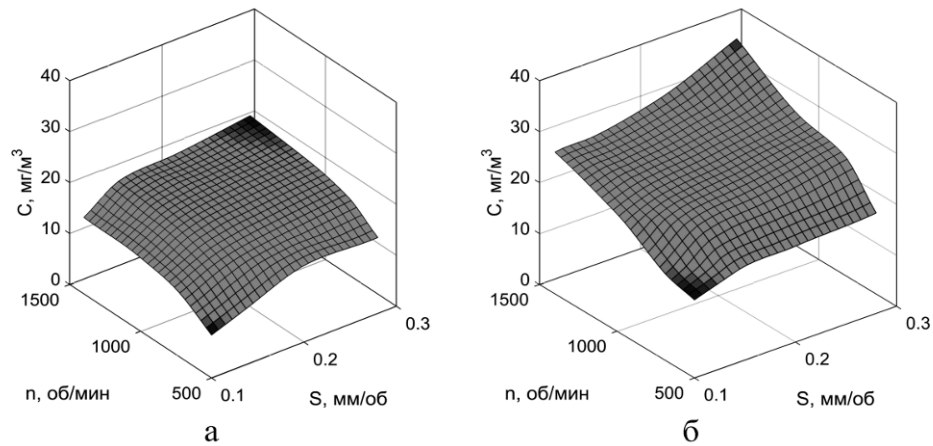


Рис. 4. График зависимости концентрации оксида углерода от подачи и частоты вращения шпинделя (а) в начале периода стойкости $T = 0$ мин, (б) в конце периода стойкости $T = 25$ мин

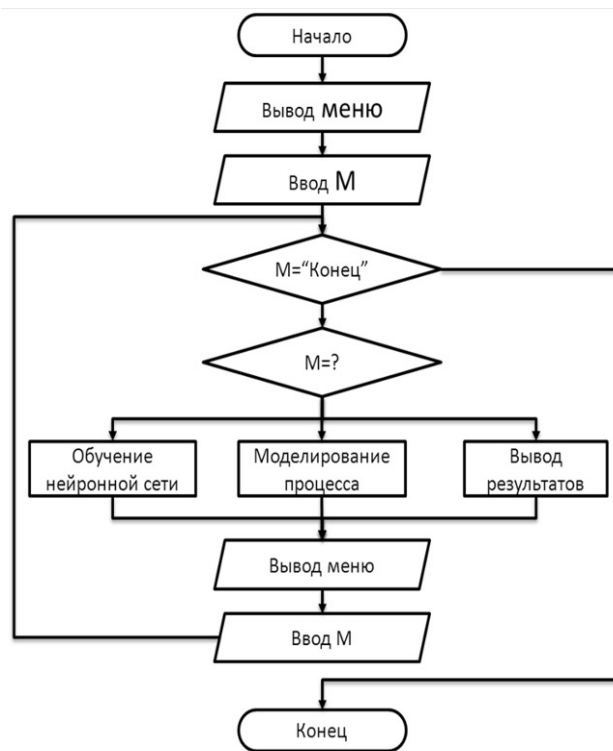


Рис. 5. Алгоритм работы программы

Перед началом обучения нейронной сети необходимо выполнить масштабирование данных в диапазоне $[0;1]$. Нормирование данных влияет на процесс обучения нейронной сети и качество синтезированной модели. Далее проводим обучение нейронной сети.

```

ss(1, :) = (b{1, 1} - mean([min(b{1, 1})
max(b{1, 1})])) / (max(b{1, 1}) - min(b{1, 1})) * 2;
ss(2, :) = (b{1, 2} - mean([min(b{1, 2})
max(b{1, 2})])) / (max(b{1, 2}) - min(b{1, 2})) * 2;
  
```

```

dd(1, :)=(b{1, 3}-mean([min(b{1, 3})
max(b{1, 3})]))/(max(b{1, 3})-min(b{1, 3}))*2;
net=newgrnn(ss, dd, spread); %Обучение

```

Далее для проверки адекватности обученной сети выполним моделирование и выведем на экран сообщение с результатом коэффициента корреляции.

```

exits=sim(net, ss);
ess=sum((dd- exits).^2);
ass=sum(dd.^2);
R=1-ess./ass;
mR=mean(R); %Проверка адекватности
xb={'Коэффициент корреляции R^2='; num2str(mr)};
msgbox(xb);

```

В результате обучения коэффициент корреляции составил $R^2 = 0.959$, показывая тем самым, что полученная нейросетевая модель зависимости концентрации оксида углерода от режимов обработки углеродсодержащих материалов, адекватно аппроксимирует поведение объекта управления. Это позволяет использовать полученную модель в системе управления процессом механической обработки углеродсодержащих материалов. На основе вышесказанного была написана программа на языке matlab и получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2016617847.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-38-50122 мол_нр.

Список литературы

1. Современные композитные материалы в строительстве. URL: <http://vladbmt.ru/subject/sovrjemjennyje-kompozitnyje-matjerialy-v-stroitjelstvje-kns.htm> (дата обращения: 01.10.2016).
2. Композитные материалы: Применение композитных материалов в строительстве. URL: <http://cy7.ru> (дата обращения: 01.10.2016).
3. Швецов И. В. Диагностирование состояния режущего инструмента на основе газоаналитического отображения процессов механической обработки : дис. ... д-ра техн. наук. Великий Новгород, 2004. С. 365.
4. Никуленков О. В. Повышение эффективности строгальных операций при обработке крупногабаритных деталей на основе оценки состояния газовой среды в зоне резания : дис. ... канд. техн. наук. Великий Новгород, 2005. С. 146.
5. Афанасьев К. В. Диагностирование зоны резания методами бесконтактного контроля при сверлении углеродсодержащих сплавов : дис. ... канд. техн. наук. М., 2012. С. 183.