

Системы микро- и нанорезания от конвенциональных отличаются тем, что их составляющими являются нанообъекты, размеры которых (или их элементов), принято измерять в нанометрах в пределах до 100 нм. Речь идет, прежде всего, о конструкционных и инструментальных наноматериалах (наноструктурированных, наноструктурных, нанокристаллических, наноматричных). Эти материалы обладают качественно иными физическими, химическими, механическими, биологическими, функциональными и эксплуатационными характеристиками.

Полному содержанию понятия системы нанорезания соответствует такая, у которой все ее составляющие могут быть отнесены к нанообъектам:

- наноструктурированный конструкционный материал;
- наноструктурированный инструментальный материал;
- наноразмерные геометрические параметры режущего лезвия (например,  $\rho$ );
- нанометрические параметры срезаемого слоя (например,  $a$ );
- технологическая среда, в том числе содержащая твердые наночастицы (например, нанопорошок алмаза).

Реализация процесса резания в размерном нанодиапазоне обеспечивается чрезвычайно высокой прецизионностью и жесткостью станков, инструмента, высокой точностью относительных перемещений в системе, управлением и измерениями. Любая система нанорезания должна располагать чрезвычайно острыми, как правило, алмазными режущими инструментами, шпинделями на воздушных подушках, пневматическими и гидравлическими направляющими, высоким разрешением регулирования точности подачи, нейтрализацией вибраций, контролем температуры и т.д. Станки устанавливаются на гранитном основании, помещенном на пневмоподвеску. Переключающиеся элементы станка приводятся в движение серводвигателями посредством гидростатических винтов или напрямую посредством линейных двигателей. Шпиндель обычно оснащен аэрозастычками или гидростатическими подшипниками. Новейшие ультрапрецизионные станки имеют четырех или пятикоординатное числовое программное управление с разрешающей способностью менее одного нанометра за один шаг.

Такую систему резания можно рассматривать как идеальную систему первого уровня. На практике такого сочетания нанообъектов в системе резания достигнуть достаточно сложно.

В тоже время значимыми могут оказаться и даже такие сочетания, когда в обычную систему резания входит хотя бы один или несколько нанообъектов.

77

Как системы нанорезания второго уровня можно рассматривать такие, которые содержат хотя и не полный, но все-таки преобладающий состав нанообъектов. Пример системы нанорезания второго уровня: наноструктурированный обрабатываемый материал, наноструктурированный инструментальный материал, нанометрические параметры срезаемого слоя, нанометрический размер радиуса округления режущей кромки  $r$ .

К системам нанорезания третьего уровня можно отнести такие, в составе которых нанообъекты присутствуют, но не преобладают. Пример наносистемы третьего уровня: только наноструктурированный обрабатываемый материал и СОТС с наноразмерными добавками; второй вариант – только наноструктурированное покрытие на режущем инструменте, а остальные объекты системы резания – традиционные (конвенциональные).

Эти и другие понятия с приставкой «нано» позволяют идентифицировать нанообъект по геометрическому параметру (толщина пленки, размер кластера, диаметр нанотрубки и т.д.).

Но эту приставку «нано» следует воспринимать как обобщенное отражение объектов исследования, прогнозируемых явлений, эффектов и способов их описания, а не только как характеристики протяженности базового структурного элемента.

Тем не менее для системы нанорезания принципиальное значение имеет именно размерный диапазон параметров нанообъектов и их составляющих. Так, например, при резании инструментом из монокристалла алмаза радиус округления нанолезвия составляет от 2 до 45 нм, а толщина срезаемого слоя – до 1 нм.

Важнейшей предпосылкой реализации процессов микро- и нанорезания является потенциал такого нанообъекта системы резания, как наноструктурированный инструментальный материал (покрытие) на режущей части лезвийных инструментов, на нанопорошках из сверхтвердых и абразивных материалов.

Нанотехнологии получения инструментальных материалов обеспечивают повышение их прочности, твердости, теплопроводности, износостойкости и, как следствие, увеличения скорости резания, производительности обработки, повышение точности и качества обработанной поверхности, а также экономии обрабатываемых материалов. Немаловажным является возможность минимизации и даже полного отказа от применения СОТС, в первую очередь, токсичных.

Дальнейшее развитие процессов микро- и нанорезания стимулируется в большей мере достижениями миниатюризации сложных изделий и производства в целом, разработкой и реализацией нанотехнологий как межотраслевой

78

области знаний и научно-производственного опыта. На основе анализа атомистических моделей контактного взаимодействия нанообъектов системы нанорезания, методов молекулярной динамики могут быть установлены закономерности процессов локального удаления обрабатываемого материала (на атомно-молекулярном уровне), износа режущих инструментов и конструирования высококачественной физической поверхности.

Переключение внимания исследователей на изучение нанообъектов, явлений и эффектов в нанодиапазоне взаимодействия режущего клина и обрабатываемого материала открывает новые возможности познания этого уникального по сути и сложного по структуре процесса и создания на этой основе фундамента для выявления путей и средств коренного повышения производительности, качества и высокой экономичности микро- и нанотехнологий изготовления сложных изделий.

**Список использованных источников:** 1. Балабанов В.И. Нанотехнологии. Наука будущего. Изво: ЭКСМО, 2009, 131с. 2. Bharat Bhushan (Ed.) – Handbook of Nanotechnology – Springer-Verlag / Berlin Heidelberg, 2010. – 1919 p. 3. Весткемпер Э. Введение в организацию производства [текст]: учеб. пособие / Весткемпер Э., Декер М., Эндоуби Л., Грабченко А.И., Доброскок В.Л.; пер. с нем.; под общ. ред. А.И. Грабченко. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2008 – 376 с. 4. Головин Ю.И. Введение в нанотехнику / Ю.И. Головин. – М: Машиностр., 2007. – 496 с. 5. Грабченко А.И. Интегрированные генеративные технологии: учеб. пособие для студ. выс. учеб. заведений / А.И. Грабченко, Ю.И. Внуков, В.Л. Доброскок, Л.И. Пуляк, В.А. Федеев; под ред. А.И. Грабченко – Харьков: НТУ «ХПИ», 2011. – 396с. На рус. яз. 6. Кобаяси Н. Введение в нанотехнологию / перев. с японского, 2-изд. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2008 – 134 с. 7. Ковшов А.Н., Назаров Ю.Ф., Ибрагимов И.М. Основы нанотехнологий в технике: Учебное пособие. – М.: Изво МГОУ, 2006. – 240 с. 8. Пул Ч. Нанотехнологии / Ч. Пул, Ф. Оуэне; пер. с англ. – М.: Техносфера, 2005 – 336 с. 9. Наноматериалы. Классификация, особенности свойств, применение и технологии получения: Учебное пособие / Б.М. Белоян, А.Г. Колмаков, М.И. Альмов и др. – М. АгроПресс-Дизайн, 2007. – 102 с. 10. Шевченко В.Я. О терминологии: наночастицы, наносистемы, наноконструкции, нанотехнологии / Микросистемная техника. № 9, 2004. – с. 2-4. 11. Валеев Р.З. Наноструктурные материалы, полученные интенсивной пластической деформацией. / Р.З. Валеев, И.В. Александров. – М.: Логос, 2000. – 272 с. 12. Гусев А.И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии / А.И. Гусев. – М.: Физматлит, 2005. – 416 с. 13. Азаренков Н.А. Наноматериалы, нанополы, нанотехнологии. / Н.А. Азаренков, В.М. Береснев и др. – Харьков: ХНУ им. В.Н. Каразина, 2009. – 209 с. 14. Davim J. Paulo, Jackson J. Mark – Nano and Micromachining. – ISTE – Wiley, London, 2009. – 312 p. 15. Клушин М.П. Оптимизация условий резания на технологической операции / М.П. Клушин // Оптимизация технологических процессов механосборочного производства: Сб. докладов Всесоюзной науч.-техн. конф. – М.: Станкин, 1978. – С. 17-23. 16. Мазур М.П. Основы теорії різання матеріалів: підручник [для виш. навч. закладів] / М.П. Мазур, Ю.М. Внуков, В.Л. Доброскок, В.О. Залоза, Ю.К. Новосолов, Ф.Я. Якубов; під заг. ред. М.П. Мазура – Львів: Новий Світ – 2000, 2010. – 422 с.

Поступила в редколлегию 15.06.2012

79

УДК 621.9.01

Деревянченко А.Г., д-р техн. наук, Бабилунга О.Ю., канд. техн. наук, Соценко А.О., Долинский А.О., Одесса, Украина

### НОВЫЙ ПОДХОД К РАСПОЗНАВАНИЮ СОСТОЯНИЙ КОНТАКТНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ РАБОТОСПОСОБНЫХ И ОТКАЗВШИХ ИНСТРУМЕНТОВ

*Приведены результаты разработок нового подхода к распознаванию состояний изношенных и отказавших режущих инструментов. Он основан на использовании нового метода определения классов важной составляющей состояния поверхности инструмента – ее текстуры – по комплексу признаков. Среди признаков текстур поверхностей инструментов впервые использованы марковские поля. Компьютерное моделирование соответствующей интеллектуальной системы подтвердило перспективность применения данного подхода для распознавания различных классов текстур поверхностей изношенных и отказавших инструментов.*

*Приведені результати розробок нового підходу до розпізнавання станів зношених і відмовивших режущих інструментів. Він заснований на використанні нового методу визначення класів важливої складової стану поверхні інструменту – її текстурі – по комплексу ознак. Серед ознак текстур поверхонь інструментів вперше використані марківські поля. Комп'ютерне моделювання роботи відповідної інтелектуальної системи підтвердило перспективність застосування даного підходу для розпізнавання різних класів текстур поверхонь зношених та відмовивших інструментів.*

*The results of developments of a new approach to recognition of worn-out and failed cutting tools are resulted. He is based on the use of a new method of recognition of classes of important part of tools surface state – its texture – on the complex of signs. Among the signs of texture tools surfaces the markovskie fields are first used. Computer design of the intellectual system work confirmed perspective of application of this approach for recognition of different classes of worn-out and failed cutting tools surfaces textures.*

При разработке систем автоматизированного и автоматического распознавания состояний режущих инструментов (РИ) прецизионной обработки широкое применение находят системы технического зрения (СТЗ) [1]. Регистрируемые СТЗ цифровые изображения контактных поверхностей РИ в работоспособных состояниях (режущая часть (РЧ) частично изношена) и состояниях отказов (пределный износ, множественные выкрашивания, сколы РЧ) обеспечивают формирование контуров зон дефектов, вычисление соответствующих признаков. При этом оценка типов (классов) текстур поверхностей является неотъемлемым элементом процесса многоуровневого распознавания состояний инструментов. Поэтому тематика данной статьи представляется актуальной.

**Анализ предыдущих исследований.** Составной частью комплекса для автоматического контроля, диагностики и прогнозирования остаточного ресурса РИ является система интеллектуального анализа изображений РЧ [1, 2]. Здесь распознавания классов текстур поверхностей РЧ выполнялось с ис-

80

пользованием оценок энергетических спектров Фурье и матриц смежности участков изображений. Однако многообразие механизмов изнашивания и отказов РИ обуславливает многообразие классов форм и текстур формирующихся при этом поверхностей РЧ, что требует расширения набора признаков и применения комплексного распознавания.

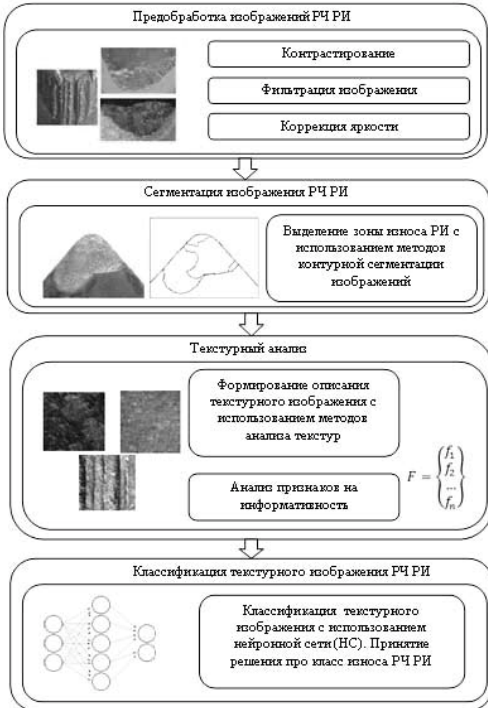


Рисунок 1 – Обобщенная схема обработки изображений активных зон РЧ РИ и классификации текстур зон износа

**Целью настоящей статьи является** изложение результатов нового подхода к распознаванию состояний изношенных и отказавших режущих инструментов. Он основан на использовании нового метода распознавания классов важной составляющей состояния поверхности инструмента – ее текстуры – по комплексу признаков, дополненному результатами анализа Марковских полей изображений.

**Рассмотрим основные результаты разработок.**

Общая структура процессов обработки изображений контактных поверхностей РЧ представлена на рис. 1.

Она включает модули предварительной обработки изображений, их сегментации (т.е. выделения на изображении информативных зон), текстурного анализа участков информативных зон, формирования вектора признаков, анализа информативности признаков, классификации класса текстуры анализируемого участка поверхности РЧ (т.е. причисления его к одному из классов текстур, предварительно сформированных). Для формирования расширенного набора признаков производились вычисления энергетических спектров Фурье [1], формирование матриц смежности [2] и вычисление Марковских полей (МП) изображений. Марковские поля обеспечивают возможность анализа локальные свойства текстурных изображений [3,4].

В качестве исходных данных использовались те же фрагменты текстурных изображений РЧ РИ, что и в работах [1, 2].

На рис. 2, 3 схематически представлены некоторые из блоков интеллектуальной системы распознавания классов текстур зон износа РЧ РИ.



Рисунок 2 – Фрагмент интеллектуальной системы распознавания классов текстур зон износа РЧ РИ

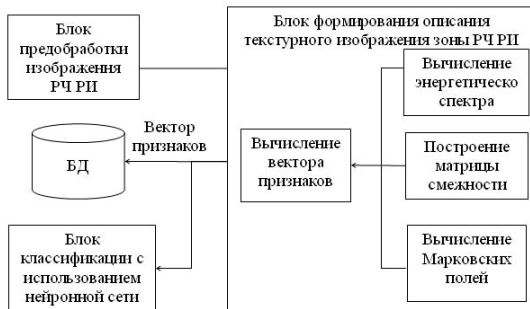


Рисунок 3 – Структурная схема блока формирования расширенного набора признаков классов текстур зон РЧ РИ.

Рассмотрим метод анализа Марковских полей изображений. Метод, основан на применении стохастической модели Марковского случайного поля [3, 4], расположенного на сетке размерностью  $N \times M$  и описываемого дискретной функцией  $p: p = (i, j)$ , где  $i \in [1, N]$ ,  $j \in [1, M]$  – размеры изображения. Каждый пиксель изображения описывается через базовую окрестность взаимодействия – систему соседних пикселей  $l$ -го порядка. Основной структурной единицей взаимодействия в данной модели является множество соседних пикселей (далее - соседней), один из которых является анализируемым, а остальные принадлежат к его системе соседней. Различают МП 1-го, 2-го и 3-го порядка (табл. 1)

Алгоритм реализации статистического подхода к формированию описания текстурных изображений зон износа на основе вычисления МП включает следующие этапы:

Этап 1. Квантование значений интенсивности оттенков серого на анализируемом изображении зоны РЧ РИ.

Этап 2. Вычисление признаков:

- 1) определение порядка области соседней -  $k = 3$ ;
- 2) вычисление вектора сумм соседней  $S$  в каждой области соседней 3-го порядка:

$$\begin{pmatrix} S_1 \\ S_2 \\ \dots \\ S_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} I(i-1, j) + I(i+1, j) \\ I(i, j-1) + I(i, j+1) \\ I(i-2, j) + I(i+2, j) \\ I(i, j-2) + I(i, j+2) \\ I(i+1, j-1) + I(i+1, j+1) \\ I(i-1, j+1) + I(i+1, j-1) \end{pmatrix}; \quad (1)$$

3) собственно вычисление вектора признаков  $\alpha$ :

$$\begin{pmatrix} \alpha_1 \\ \alpha_2 \\ \dots \\ \alpha_n \end{pmatrix} = \frac{\sum_{i=0}^M \sum_{j=0}^N I(i, j)}{\sum_{l=0}^M \sum_{m=0}^N S(l, m) \cdot S(l, m)^T}; \quad (2)$$

4) вычисление параметра  $\sigma$ :

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=0}^M \sum_{j=0}^N (I(i, j) - \sum_{l=1}^n \alpha_l \cdot S_l)}{M \cdot N} \quad (3)$$

Этап 3. Формирование вектора признаков:  $f = (\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4, \alpha_5, \alpha_6, \sigma)$ .

Параметр  $\alpha$  характеризует влияние соседних пикселей по всем направлениям на центральный пиксель, который анализируется, в частности - показывает насколько отличаются соседние пиксели от центрального пикселя. Произведение  $\alpha_i \cdot S_i$  характеризует математическое ожидание интенсивности в конкретном пикселе на изображении. Параметр  $\sigma$  характеризует дисперсию центрального пикселя относительно его соседней.

На основе вычисленных Марковских полей 3-го порядка для участков текстур изображений различных зон РЧ получали вектор признаков текстуры. Он подлежал анализу на информативность, который осуществлялся с учетом распределения значений признаков по классам текстурных изображений износа РИ. В результате анализа выбраны наиболее информативные признаки -  $\sigma, \alpha_4, \alpha_5$  (рис. 4).

Таблица 1 – Представление структур Марковских полей изображений разных порядков

Марковское поле	Структурная форма поля	Формула вычисления вектора сумм соседних элементов
1-го порядка	$\begin{matrix} & i-1, j & \\ i, j-1 & i, j & i, j+1 \\ & i+1, j & \end{matrix}$	$\begin{pmatrix} S_1 \\ S_2 \\ S_3 \\ S_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} I(i-1, j) + I(i+1, j) \\ I(i, j-1) + I(i, j+1) \\ I(i-1, j) + I(i, j) \\ I(i, j-1) + I(i, j) \end{pmatrix}$
2-го порядка	$\begin{matrix} i-1, j-1 & i-1, j & i-1, j+1 \\ i, j-1 & i, j & i, j+1 \\ i+1, j-1 & i+1, j & i+1, j+1 \end{matrix}$	$\begin{pmatrix} S_1 \\ S_2 \\ S_3 \\ \dots \\ S_8 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} I(i, j-1) + I(i, j+1) \\ I(i-1, j) + I(i+1, j) \\ I(i-1, j-1) + I(i+1, j+1) \\ I(i-1, j) + I(i+1, j) \\ I(i, j-1) + I(i, j+1) \\ I(i, j-1) + I(i, j) + I(i+1, j) \\ I(i, j-1) + I(i+1, j-1) + I(i, j) \\ I(i-1, j-1) + I(i-1, j) + I(i, j-1) \\ I(i-1, j) + I(i, j-1) + I(i, j) \end{pmatrix}$
3-го порядка	$\begin{matrix} & & i+2, j & & \\ & i-1, j-1 & i-1, j & i-1, j+1 & \\ i, j-2 & i, j-1 & i, j & i, j+1 & i, j+2 \\ & i+1, j-1 & i+1, j & i+1, j+1 & \\ & & i+2, j & & \end{matrix}$	$\begin{pmatrix} S_1 \\ S_2 \\ \dots \\ S_6 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} I(i, j-2) + I(i, j+2) \\ I(i+2, j) + I(i-2, j) \\ I(i, j-1) + I(i, j+1) \\ I(i-1, j) + I(i+1, j) \\ I(i-1, j-1) + I(i+1, j+1) \\ I(i-1, j-1) + I(i+1, j-1) \end{pmatrix}$

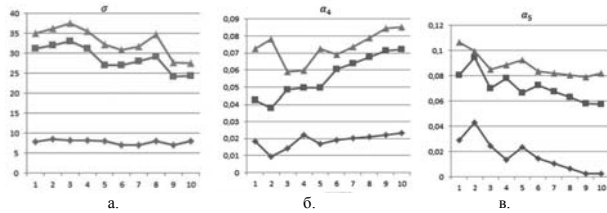


Рисунок 4 – Представление распределения значений информативных признаков текстур зон РЧ РИ, вычисленных по Марковским полям 3-го порядка (а -  $\sigma$ ; б -  $\alpha_4$ ; в -  $\alpha_5$ . На оси абсцисс каждого графика указаны номера анализируемых фрагментов текстурных изображений РЧ).

Компьютерное моделирование статистического подхода к формированию описания текстурных изображений зон износа РИ проведено на 4-х классах текстурных изображений зон износа РЧ РИ. Достоверность распознавания оценивалась по “проценту правильного распознавания” (ППР).

Установлено, что для ряда текстурных изображений РЧ РИ распознавание классов текстур, вычисленных по Марковским полям 3-го порядка, дает лучшие результаты – в сравнении с предыдущими разработками [1, 2]. В частности, следы нарушения целостности покрытия вследствие износа РЧ распознаны со следующими результатами: для метода использования матрицы смежности ППР=80%, для метода использования Марковских полей - 95%. Реализация системы распознавания зон износа РИ выполнена в среде программирования Microsoft Visual Studio 2010, на языке программирования C#. Программа имеет удобный интерфейс (рис. 5), который позволяет загрузить текстурное изображение анализируемой зоны РЧ РИ, улучшить его качество с помощью контрастирования, фильтрации. Выбор оптимальной обучающей выборки зависит от её размера и от сложности алгоритмов распознавания [5]. Исследования позволили определить оптимальный размер обучающей выборки – 30 текстурных изображений износа РИ. С позиций быстрейшего алгоритмов - время формирования признаков Марковскими полями на 50 мс больше, чем при построении матрицы смежности (25мс).

**Выводы.**

Приведены некоторые из результатов разработок нового подхода к распознаванию состояний изношенных и отказавших РИ, основанного на использовании нового метода определения классов текстур контактных поверхностей РИ. Среди признаков текстур поверхностей РИ впервые использованы признаки, вычисленные по Марковским полям изображений РЧ. Проведенные исследование по выбору порядка Марковского поля изображения показали, что наилучшие результаты распознавания текстур получены при  $n = 3$ .

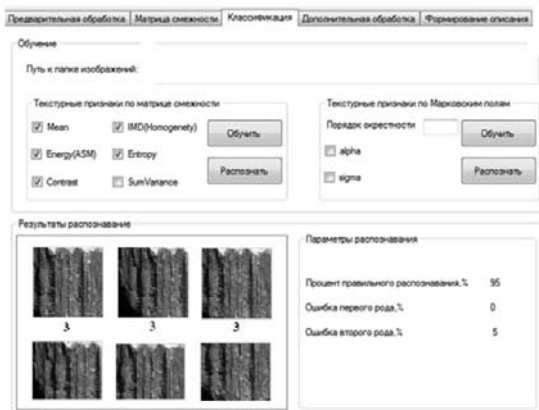


Рисунок 5 – Изображение одной из рабочих панелей программного комплекса для комплексного распознавания классов текстур инструментов

Распознавание текстур РЧ только по признакам, вычисленным по Марковским полям, повышает ППР для ряда классов текстур. Распознавание текстур РЧ по комплексу признаков, дополненному результатами анализа Марковских полей изображений, повышает ППР для всех исследованных классов текстур. Компьютерное моделирование соответствующей интеллектуальной системы подтвердило перспективность применения разработок для распознавания различных классов текстур РИ.

Список использованных источников: 1. Деревянченко А.Г. Система интеллектуального анализа изображений зон износа режущих инструментов/А.Г. Деревянченко, О.Ю. Бабилунга, Д.А. Кришны // Резание и инструмент в технологических системах. — Харьков: НТУ “ХПИ”. 2010. — Вып. 78. — С. 34 – 41. 2. Деревянченко А.Г. Подход к распознаванию состояний поверхностей режущей части инструментов с учетом результатов анализа их текстур./А.Г. Деревянченко, О.Ю. Бабилунга, А.О.Соценко//Резание и инструмент в технологических системах. - Харьков: НТУ “ХПИ”. 2011 — Вып. 80. — С. 68 – 75. 3. Chellappa R. Model based texture segmentation and classification/ Chellappa R., Kashyap R.L.//World Scientific – Singapore, 1992 – p.277-310. 4. Kashyap R.L. Estimation and choice of neighborhoods in spatial interaction models of images, IEEE Trans. Inf. Theory, 1983, p.60-72. 5. Каллан Р. Основные концепции нейронных сетей / Р. Каллан. — М.: Издательский дом «Вильямс», 2001.—291 с.

Поступила в редакцию 25.05.2012

УДК 621.922

Т.Г. Джугурян, д-р техн. наук, А.А. Новак, Одесса, Украина

**ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО КОНТРОЛЯ РАЗМЕРНОГО ИЗНОСА РАСТОЧНОГО ИНСТРУМЕНТА ОДНОСТОРОННЕГО РЕЗАНИЯ**

*Запропонований метод автоматизованого контролю ефективності роботи механізму самокомпенсації зношування роточного інструменту одностороннього різання.*

*Предложен метод автоматизированного контроля эффективности работы механизма самокомпенсации износа расточного инструмента одностороннего резания.*

*The method of the automated control of overall performance of the mechanism of self-compensation of wear of the boring instrument of unilateral cutting is offered.*

Одним из основных факторов влияющих на размерную точность обработки операций растачивания является износ рабочих элементов расточного инструмента одностороннего резания (РИОР).

Повышение эффективности обработки точных координированных отверстий связано с увеличением размерной стойкости инструмента на основе комплексного применения современных износостойких инструментальных материалов и механизмов самокомпенсации износа.

Для повышения размерной точности обработки отверстий РИОР предложены автономные механизмы самокомпенсации износа, основанные на кинематической связи режущего элемента и передаточного числа кинематической цепи больше единицы происходит радиальное выдвигание режущего элемента при изменении диаметра обрабатываемого отверстия. Таким образом, происходит частичная самокомпенсация износа инструмента. Непрерывно-периодическая самокомпенсация осуществляется за счет выполнения одного из трех направляющих в виде ограниченно подвижного упругого элемента и наличия компенсирующего звена в кинематической цепи. Применение механизмов непрерывно-периодической самокомпенсации износа позволяет повысить размерную стойкость комбинированных инструментов в 2 раза, гарантированно обеспечить 6 – 7 квалитет точности (в отдельных случаях IT5) растачивания отверстий диаметрами более 40 мм и относительной длиной не более 20 ( $l_0/d_0 \leq 20$ ) в стальных и чугуновых заготовках [1].

Недостатком использования РИОР с самокомпенсацией износа является то, что его предельный износ невозможно своевременно выявить на основе контроля диаметра обработанного отверстия. Следствием этого является не-