

лазерного спекания порошков), ионной имплантации поверхностного слоя, избирательного нанесения нанопорошков и композиционных покрытий и др. в ближайшее время позволит решить эту задачу.

В заключение необходимо заметить, что предложенный в данной работе подход к оптимальному проектированию конструкций инструмента применим к любым функционально нагруженным деталям машин, их соединениям, а также к машине в целом. Для изделий со сложной конфигурацией могут отсутствовать теоретические модели для расчета НДС, температур, жесткости, коррозии, износа и других характеристик. Поэтому целесообразно применять численные методы конечных и граничных элементов, реализованные в виде пакетов прикладных программ в «тяжелых» САПР. При этом данные программные продукты должны быть дополнены итерационными циклами выравнивания эксплуатационных свойств во всех частях и зонах изделия в соответствии с изложенными принципами.

Литература.

1. Кабалдин Ю. Г. Принципы конструирования композиционных и инструментальных материалов с повышенной работоспособностью. - Владивосток.: Изд. института машиноведения и металлургии, 1990. - 58 с.
2. Петрушин С. И. Оптимальное проектирование рабочей части режущих инструментов. – Томск, Изд. ТПУ. – 2008. – 195 с.
3. Ретюнский О.Ю. Исследование прочностных и режущих свойств резцов с композиционными сменными многогранными пластинами. Дисс... канд. техн. наук: 05.03.01 (Рук. – Петрушин С.И.). – Юрга, 2000. - 151 с.
4. Дуреев В. В. Повышение работоспособности составных композиционных сменных многогранных пластин для режущих инструментов. – 05.03.01. (Рук. – Петрушин С. И.) – Дисс... канд. техн. наук. – Томск, 2010. – 179 с.
5. Петрушин С. И. Техноэкономика. Оптимизация жизненного цикла изделий машиностроения. – Томск: Изд. ТПУ, 2010. – 139 с.
6. Петрушин С. И. Экономически обоснованный срок службы режущих инструментов. // Вестник машиностроения. – 2007, №4. – С. 40 – 46.
7. Petrushin S.I. Calculation of thermal residual stresses in multilayer composite materials //Applied Mechanics and Materials Vol.379 (.2013) pp. 95 – 100.

#### **НАГРУЖЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ В ПРОЦЕССЕ НЕСТАЦИОНАРНОГО РЕЗАНИЯ И МОДЕЛИ ОТКЛОНЕНИЙ ИХ РАСПОЛОЖЕНИЯ**

*У.С. Путилова\**, к.т.н., доц., *Ю.И. Некрасов\**, д.т.н., проф., *А.А. Ласуков\*\**, к.т.н., доц.

*\*Тюменский государственный нефтегазовый университет  
625000, г. Тюмень, ул. Володарского, 38, тел. (3452)-41-24-65  
E-mail: syncler@mail.ru*

*\*\* Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского  
Томского политехнического университета  
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26, тел. (38451)62248  
E-mail: lasukow@rambler.ru*

В процессе точения характерных для авиастроения фасонных деталей, имеющих, как правило, пониженную жесткость, доля их деформаций и отклонений расположения сложных поверхностей вращения (СПВ) деталей даже при относительно высокой жесткости станков с ЧПУ зачастую значительно превышает все остальные деформации и перемещения в ТС вместе взятые. В связи с этим необходимо решить задачу создания комплекса диагностических устройств для определения составляющих силы резания во взаимосвязи с деформациями и отклонениями расположения нагружаемых в процессе точения заготовок и других элементов ТС с целью обеспечения последующего ввода коррекций в процесс обработки на станках с ЧПУ, компенсирующих погрешности обработки, выявленные при диагностике. При этом в соответствии с формируемой моделью компенсирующих коррекций траекторий движения ИРО станков с ЧПУ их ввод должен компенсировать погрешности, связанные с переменными деформациями, отличающимися по величине при точении каждого фасонного конструктивного элемента заготовки [2, 3, 5].

С учетом назначения и функциональных возможностей комплекса элементов диагностической системы в работе реализована конструктивная проработка компоновочных решений в привязке к

базе токарного станка ЧПУ мод. 16K20Ф3 с использованием метода 3D-моделирования, что позволило сформировать модель измерительного модуля.

Разработанная конструкция в ходе выполнения работы реализована в виде специализированного станочного диагностического модуля (рис. 1). Станочный диагностический модуль оснащен высокоточным индикатором перемещений 1 мод. ЛИР-17, обеспечивающим точность измерения до 0,1 мкм, а также шаговым приводом 2, управляемым от PCNC. Индикатор перемещений установлен в каретке 2 с возможностью ее точных перемещений в направлениях осей  $OX$ ,  $OZ$  по задаваемой управляющей программе. Модуль включает блок цифровой индикации результатов измерений БЦИ, при этом обеспечивается возможность передачи данных измерений и их регистрация на жесткий диск PCNC.

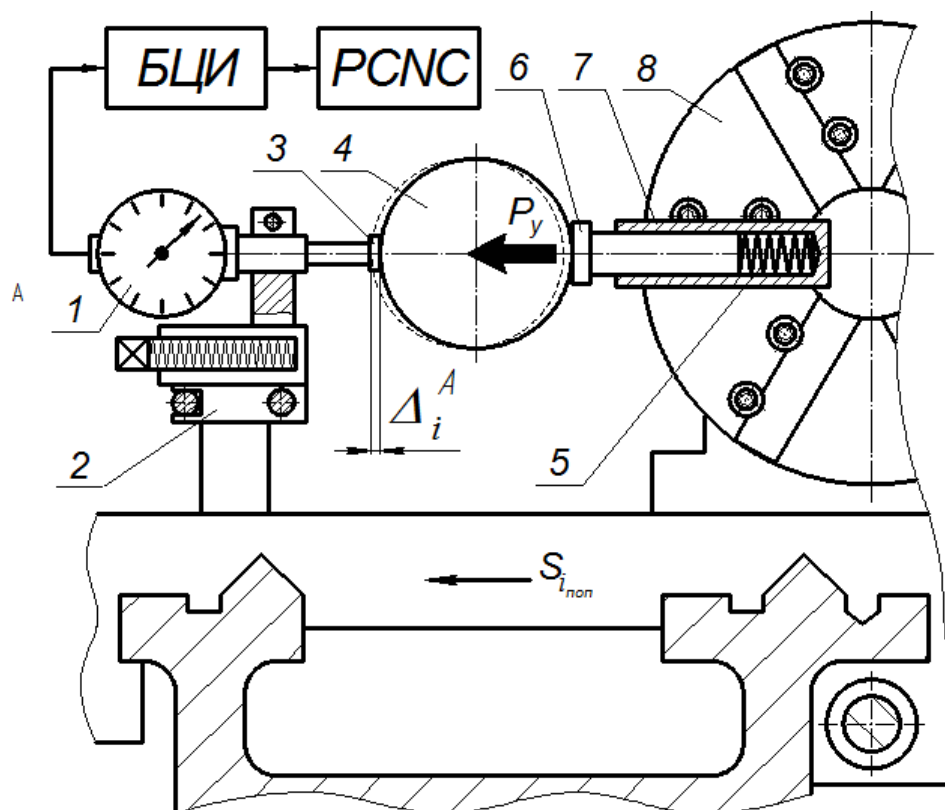


Рис. 1. Модель нагружения и диагностики отклонений  
расположения детали при использовании нагрузочного устройства:

- 1 - индикатор перемещений; 2 - каретка диагностического модуля; 3 - измерительный стержень;  
4 - элемент детали; 5 - пружина; 6 - нажимной элемент; 7 - нагрузочное устройство; 8 - инструментальная головка станка

Работа с диагностическим модулем предусматривает следующую последовательность операций. В процессе предварительной диагностики конкретной технологической наладки перед обработкой первой заготовки в партии, в соответствии с количеством конструктивных элементов обрабатываемой заготовки, устанавливается совокупность  $A_i, B_i, \dots, F_i$  зон приложения нагрузки  $P_{xj}, P_{yj}$  к отдельным конструктивным элементам детали 4 (для которых технолог прогнозирует изменение размеров и формы сечения среза по принятой им схеме выполнения технологических переходов). При этом измерительный стержень 3 индикатора 1, перемещаемого в технологическом пространстве наладки с управлением от PCNC, последовательно взаимодействует с поверхностями  $A_i, B_i, \dots, F_i$  конструктивных элементов фасонной детали 4.

Иллюстрации наладок станочной диагностики нагружения и измерения отклонений расположения детали на участках траектории движения ИРО станка с ЧПУ, соответствующих обработке ее отдельных конструктивных элементов  $A_i, B_i, C_i, \dots, F_i$  представлены на рис. 2.

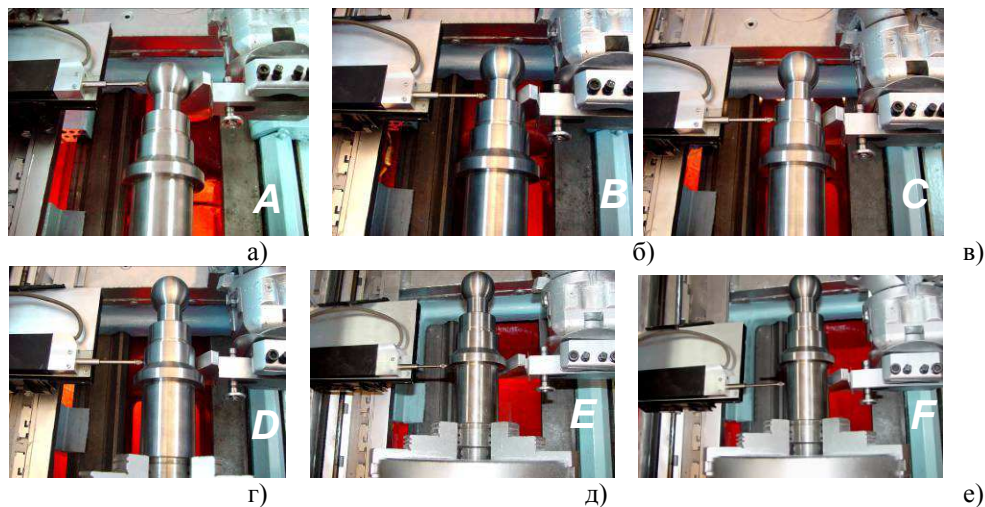


Рис. 2. Иллюстрации наладок станочной диагностики нагружения и деформирования детали силами резания:

- а – нагружение на участке  $A_i$ ; б – нагружение на участке  $B_i$ ;  
 в – нагружение на участке  $C_i$ ; г – нагружение на участке  $D_i$ ;  
 д – нагружение на участке  $E_i$ ; е – нагружение на участке  $F_i$

Для реализации представленной выше схемы диагностики разработаны алгоритмы управления процессами нагружения деталей и измерения отклонений расположения элементов ТС с использованием системы диагностических модулей, оснащенных шаговыми приводами исполнительных механизмов с управлением от PCNC. Управление от PCNC процессом диагностики реализовано в полуавтоматическом режиме с использованием разработанного программно-аппаратного комплекса, обеспечивающего согласованные перемещения исполнительных устройств диагностического и нагрузочного модулей с «привязкой» к системе координат  $XOY$  станка с ЧПУ [4, 6]. Конструктивная привязка диагностического и нагрузочного модулей к базе токарного станка с ЧПУ мод.  $16K20\Phi3$  в работе выполнена с использованием  $3D$ -моделирования.

При предварительно настроенной и отлаженной системе электроавтоматики станка в процессе диагностики (см. рис. 1) включением поперечной подачи суппорта  $S_{non}$  нажимное устройство 7, установленное в инструментальной головке 8 токарного станка с ЧПУ, приводится во взаимодействие с закрепленной в патроне деталью 4, имитируя ее нагружение в направлении технологической составляющей  $P_{y_j}$  силы резания. Нажимным устройством 7, при включении поперечной подачи  $S_{non} = const$ , в установленных точках ( $A_i, B_i, \dots, F_i$ ) осуществляется нагружение заготовки силой  $P_{y_j}$ . В процессе последовательного нагружения каждого конструктивного элемента детали постепенное сжатие пружины 5, обеспечивает плавное возрастание нагрузки  $P_{y_j}$ . Данные об изменяющихся отклонениях расположения  $\Delta_i^{qi}$  конструктивных элементов  $A_i, B_i, \dots, F_i$  детали и определяемых аппаратно соответствующих изменениях величины рассогласования положения  $\Delta\omega_i^{qi}$  в следящем приводе поперечных подач станка при этом синхронно регистрируются на жесткий диск PCNC.

В результате диагностики [1] в PCNC формируется система данных соответствия величин отклонений расположения отдельных конструктивных элементов детали  $\Delta\omega_i^{qi}$  величинам рассогласования положения  $\Delta\omega_i^{qi}$  в следящих приводах подач станков с ЧПУ.

Сформированная система данных соответствия  $\Delta_i^{qi} = f(\Delta\omega_i^{qi})$  преобразуется к виду  $\Delta_i^{qi} = f(P_{xiy_i})$ , что позволяет получить адекватные модели отклонений расположения каждого конструктивного элемента конкретной детали при её нагружении в конкретной ТС и на этой основе реализовать в режиме «реального времени» определение и ввод соответствующих коррекций в траектории движения ИРО станка с системой ЧПУ класса PCNC.

Таким образом, разработана и реализована система предварительной и оперативной диагностики процессов нагружения и деформирования элементов ТС при обработке на станках, оснащенных системами ЧПУ класса PCNC, которая обеспечивает возможность измерения и регистрации величин составляющих силы резания и соответствующих деформаций фасонных деталей. При этом обеспечивается регистрация системы параметров диагностики на жесткий диск ПЭВМ с целью даль-

нейшего их использования при определении величин и вводе коррекций в траектории движения ИРО станков для компенсации погрешностей обработки, выявленных при диагностике.

Представленные выше системы диагностики, программное обеспечение и аппаратные ресурсы станков с ЧПУ, а также базы данных диагностики позволяют формировать в PCNC математические модели нагрузочных характеристик приводов и модели отклонений расположения элементов ТС при их нагружении и, тем самым, реализовать комплексную диагностику процессов обработки на станках с ЧПУ.

Диагностику процессов нагружения элементов ТС и приводов станков с ЧПУ, как было показано выше, целесообразно разделять на предварительную и оперативную, что обеспечивает снижение трудоемкости наладки конкретных ТС и соответствует требованиям, предъявляемым к реализации гибких технологий обработки. На этапе предварительной диагностики необходимо установление нагрузочных характеристик конкретных приводов станков (при удовлетворительном состоянии систем электроавтоматики технологического оборудования) целесообразно проводить 2 - 3 раза в течение календарного года при двухсменной эксплуатации станков с ЧПУ.

В результате проведения диагностики при последовательном нагружении элементов  $q_i$  детали на отдельных участках регистрируются величины отклонений расположения конструктивных элементов детали  $\Delta^{q_i}$  под действием сил  $P_x, P_y$  и устанавливаются зависимости вида

$$\Delta_{X_n}^{q_i} = D_{X_n} \cdot \left[ \Delta\omega_{X_n}^{q_i S_{X_n}} \right]^2 + E_{X_n} \left[ \Delta\omega_{X_n}^{q_i S_{X_n}} \right] + F_{X_n}, \quad (1)$$

$$\Delta_{Z_m}^{q_i} = D_{Z_m} \cdot \left[ \Delta\omega_{Z_m}^{q_i S_{Z_m}} \right]^2 + E_{Z_m} \left[ \Delta\omega_{Z_m}^{q_i S_{Z_m}} \right] + F_{Z_m}, \quad (2)$$

где  $\Delta_{X_n}^{q_i}; \Delta_{Z_m}^{q_i}$  – величины отклонений расположения элемента  $q_i$  детали при его нагружении в направлениях осей координат  $XOZ$ ;

$D_{X_n}; E_{X_n}; F_{X_n}; D_{Z_m}; E_{Z_m}; F_{Z_m}$  – коэффициенты аппроксимирующего полинома (по данным тарирования);

$\Delta\omega_{X_n}^{q_i S_{X_n}}; \Delta\omega_{Z_m}^{q_i S_{Z_m}}$  – величины рассогласования положения вследящих приводах ИРО станка по осям  $OX, OZ$ .

Полученные данные автоматически регистрируются на жестком диске PCNC с целью их дальнейшего использования в процессе обработки для оперативного ввода коррекций в траектории движения ИРО станков с ЧПУ и режимы резания с учетом величин задаваемой минутной подачи ИРО станка  $S_{q, \text{мин}}$  и текущих значений  $\Delta x, \Delta z$  перемещений ИРО станка.

Разработанная система диагностики деформаций и перемещений элементов ТС, включающая нагрузочные устройства, динамометрическую аппаратуру и диагностические модули, реализует определение технологических составляющих силы резания при точении по рассогласованию положения в следящих приводах станков, управляемых системами ЧПУ класса PCNC. Это позволяет в сочетании с использованием разработанной модели взаимосвязей параметров деформирования и нагружения элементов ТС формировать в PCNC базы данных диагностики для дальнейшего определения и ввода коррекций в управляющие программы станков с ЧПУ при компенсации погрешностей обработки в конкретных наладках ТС.

Литература.

1. Некрасов Р.Ю. Моделирование технологических переходов обработки на станках с ЧПУ с использованием ПЭВМ [Текст] / Р.Ю. Некрасов, Р.Н. Раемгулов // Информационные технологии в образовательном процессе: Матер. обл. науч.-метод. конф. – Тюмень: Изд-во «Вектор бук», 2002. – С. 194 - 196.
2. Тахман С.И. Закономерности процесса изнашивания и основы прогноза износостойкости инструментов из стандартных твердых сплавов. Механика и физика процессов на поверхности и в контакте твердых тел, деталей технологического и энергетического оборудования. Тахман С.И. 2010. №3. С. 64-72.
3. Шаламов В.Г. Математическое моделирование при резании металлов: учебное пособие. – Челябинск: Изд-во ЮжУрГУ, 2007.
4. Янюшкин А.С., Сафонов С.О., Лобанов Д.В. и др. Совершенствование технологических процессов машиностроительных производств. – Братск: Изд-во БрГУ, 2006. – 301с.
5. Centner R.M., Idelsohn I.M.- Adaptive Controller for a Metal Cutting Process. – "IEEE Transaction on Application and Industry", 1964, vol. 83, № 72, p.154 - 161.
6. Felten K. – Entwicklung einer numerisch gesteuerten NC – Drehfertigungszelle – "Technisches Zentralblatt für praktische Metalbearbeitung". Ig. 71, № 10, p. 8 - 11.