

тає складова сили різання  $P_y$ , яка для величині зносу  $h_z=0,3$  мм дорівнює значенню складової сили різання  $P_z$ . Навпаки компонента  $P_z$  повільно убиває, що є наслідком використання співвідношення (6). Довжина ріжучої крайки  $b$  трохи зростає за рахунок збільшення значення радіуса округлення вершини інструменту  $r$ . Значення коефіцієнту інтенсивності напружень  $K_r$ , практично у кількісному відношенні не змінюється, але для значення зносу  $h_z=0,15$  мм має мінімум, після чого із збільшенням зносу КІН зростає.

Треба замітити, що у запропонованій моделі не враховуються зміни геометричних параметрів інструменту  $\alpha, \gamma, \phi, r$ , які мають місце при зношуванні різця. К тому ж сама величина зносу по задній поверхні  $h_z$  неоднаково розподілена в залежності від часу роботи інструменту. Відомо, що найбільший вплив на знос інструменту оказує швидкість різання [4], однак у співвідношеннях (4), що використовуються з роботи [5], цій фактор не враховується.

Роботу виконано в рамках проекту М2306, що фінансується міністерством освіти і науки України.

Список літератури: 1. Хавін Г.Л. Моделювання тріщини руйнування при різанні армованих композиційних матеріалів // Вісник НТУ "ХПІ". Зб. наук. праць. Тематичний вип.: Технології в машинобудуванні. - Харків: НТУ "ХПІ".- 2007.- №17.- С.-. 2. Muki R., Westmann R.A. Crack emanating from an open notch // J. Elast. – 1974. - 4, №3. - P. 173-186. 3. Панасюк В.В. Предельное равновесие хрупких тел с трещинами. – К.: Наукова думка, 1968.- 248 с. 4. Руднев А.В., Королев А.А. Обработка резанием стеклопластиков.- М.: Машиностроение, 1969.- 119 с. 5. Степанов А.А. Обработка резанием высокопрочных композиционных полимерных материалов.- Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1987.- 176 с.

*Поступила до редколегії 8.11.2007 р.*

### **УДК 621.452.3**

*Н.Э. ТЕРНЮК, В.Ф. СОРОКИН, О.В. ДЕМЧЕНКО*

## **СТРУКТУРЫ СИСТЕМ КОНТРОЛЯ ТОЧНОСТИ И ВАРИАТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ**

Показано, що погрішності роботи технологічних систем, можуть бути приведені до кінцевої множини первинних геометричних погрішностей. Розроблено структурну модель обліку геометричних, силових, теплових, кінематичних та інших погрішностей. У рамках прийнятої моделі виявлена й обґрунтована повна множина способів і систем контролю точності машинобудівних деталей у варіативних технологічних системах загального вигляду.

There is shown that inaccuracies of working of technological systems can be reduced to finite set of original geometrical inaccuracies. There is worked up a structural model of accounting of geometrical, powered, thermal, kinematical and others inaccuracies. Within the bounds of the accepted model, there is disclosed and founded set of possible methods and systems of machine-building details accuracy control in variable technological systems of general form.

Точность изготовления является важнейшей характеристикой качества современных машин. По оценкам специалистов за последние сто лет точностные параметры изделий ужесточились в две тысячи раз и в ближайшем будущем будут еще ужесточаться. В качестве примера можно привести нанотехнологию, где предусматривается изготовление и измерение параметров изделий с точностью до  $1\text{нм} = 10\text{H}^{-9}\text{ м}$  [1, 2].

Решение проблемы повышения точности в настоящее время связывают с внедрением новых технологий, реализующих увеличение технологических возможностей изготовления и контроля изделий; созданием высокоточной измерительной аппаратуры, позволяющей определять размеры не только контактным способом, но и дистанционно; созданием гибких, трансформерных и вариативных технологических систем; компьютерной поддержкой технологических решений [3, 4, 5, 6]. Однако принципиальным остается вопрос о способах обеспечения заданной точности.

В большинстве случаев оценка точности происходит с помощью размерного анализа, методика которого разработана для многих технологических решений. Рассмотрение отдельной поверхности изготавливаемой детали и оценка точности по контролируемым размерам, безусловно, необходимы. Вместе с тем важна и оценка взаимосвязей поверхностей изготовленной детали, так как только совокупное представление поверхностей даст правильное понимание роли конкретной детали в собранной машине. Кроме того, понятие точности должно быть связано с функционированием всех звеньев технологической системы (станок – заготовка – инструмент – оснастка). Приоритет «станочной составляющей» точности уже не удовлетворяет требованиям современного производства. Все элементы системы переносят свои свойства, особенности и погрешности на изготавливаемую деталь. Все эти погрешности как бы аккумулируются на детали. Причины, вызывающие отклонения различного характера от номинальной геометрии в ходе изготовления деталей, действуют практически одновременно. При этом на первый план выходят тепловые, силовые, динамические и другие показатели технологических систем, регламентирование отклонений формы и взаимного расположения поверхностей [1].

В связи со сказанным, важной задачей является моделирование более полной, комплексной оценки отклонений формы и взаимного расположения поверхностей объектов машиностроения.

Поэтому целью данной статьи является разработка системной модели возникновения погрешностей и обоснование множества возможных способов и систем контроля точности машиностроительных деталей в вариативных технологических системах общего вида.

Принятая в настоящей работе методология системного подхода основана на предположении, что на точность формообразования деталей при механической обработке оказывают влияние все элементы технологической системы (станок – заготовка – инструмент – оснастка), а также технологическая среда (кадры, климатические условия, технологическая дисциплина, уровень

автоматизации производства и т.п.). Очевидно, что возникновение погрешностей подготавливается на разных этапах жизненного цикла технологической системы, а проявляется на этапе работы. При этом часть погрешностей материализуются на этапах изготовления и наладки технических средств, а часть на этапе работы в процессе формообразования детали. Поэтому можно утверждать, что на процесс возникновения погрешностей влияют: изготовление и наладка технических средств, технологическая среда и процесс работы системы, оказывающий влияние, как на среду, так и непосредственно на обрабатываемую деталь.

Второе предположение состоит в том, что суммарная погрешность формообразования складывается из первичных погрешностей [7]. Примерами первичных погрешностей могут служить: упругие деформации технологических систем; износ режущего инструмента; погрешность настройки режущего инструмента; геометрическая точность металлорежущего оборудования и др.

Отмечено большое количество первичных погрешностей, действующих одновременно. Однако все они обусловлены конечным множеством явлений (или факторов). На основании анализа физических процессов, протекающих в технологических системах, выполненного в работах [1, 5], можно включить в это множество: исходные геометрические характеристики технологических систем, а также тепловые, силовые, кинематические и износные явления. Эти явления являются источниками возникновения геометрических неточностей, деформирующих сил и внутренних напряжений, колебаний температур, искажений траекторий рабочих органов систем, износа и обуславливают появление подмножеств первичных погрешностей: геометрических ( $\Delta_G$ ), силовых ( $\Delta_C$ ), тепловых ( $\Delta_T$ ), кинематических ( $\Delta_K$ ) и износных ( $\Delta_{II}$ ).

Все перечисленные первичные погрешности, в конечном счете, материализуются сначала в виде погрешностей работы технологической системы, а затем – в виде геометрических отклонений размеров, формы и взаимного расположения поверхностей обрабатываемых деталей.

Разрабатываемая системная модель должна отражать все факторы, обуславливающие погрешности, с учетом связей между ними.

Для практического использования в первую очередь желательно выделение множества геометрических погрешностей технологической системы, позволяющего отдельно учесть влияние главных элементов этой системы на суммарную погрешность обработанных деталей, и производить их непосредственное измерение.

Сформулированным условиям удовлетворяет множество, выделяющее: обобщенные погрешности станка – как погрешности движения конечных звеньев. Таких погрешностей шесть – по числу возможных степеней свободы конечных звеньев в относительном движении материальных тел ( $\Delta_1 \dots \Delta_6$ );

погрешности базирования инструмента и детали – как их смещения по

отношению к конечным звеньям станка. Каждая из погрешностей в общем случае содержит шесть линейно независимых компонент – по числу возможных степеней свободы твердых тел (соответственно  $\Delta_7 \dots \Delta_{12}$  и  $\Delta_{13} \dots \Delta_{18}$ );

погрешности изготовления инструмента – как отклонения реальных размеров по отношению к номинальным. Таких линейно независимых погрешностей, в соответствии с числом координат, может быть три ( $\Delta_{19} \dots \Delta_{21}$ );

погрешности детали – как восстанавливаемые деформации (упругие и тепловые), всегда имеющие место при механической обработке. Таких погрешностей, как и погрешностей инструмента, может быть три ( $\Delta_{22} \dots \Delta_{24}$ ).

Таким образом, геометрические погрешности технологической системы могут быть приведены к конечному множеству, состоящему из 24 компонент. Назовем эти компоненты приведенными первичными погрешностями. Зная приведенные первичные погрешности, можно, разработав методику их учета, рассчитать нормируемые погрешности детали. На основании изложенного, общую системную модель возникновения и учета погрешностей, можно представить в виде схемы, показанной на рис. 1. Полученная модель отражает общие закономерности процессов реального формообразования деталей.

Рассмотрим теперь множество способов контроля точности. Традиционные системы контроля точности машиностроительных деталей базируются на двух способах: непосредственном (см. рис. 2), предусматривающем получение информации о точности детали путем измерения фактических погрешностей обработанных деталей и косвенном (детерминированным или статистическим), основанном на периодической проверке точности элементов технологической системы. Однако анализ связей в общей модели возникновения погрешностей показывает, что двумя рассмотренными способами получения информации не ограничиваются возможности контроля.



Рис. 1 Системная модель возникновения и учета погрешностей

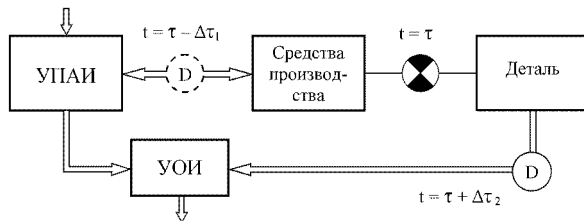


Рис. 2 Схема непосредственного способа контроля.

На рисунке обозначено: УПАИ – устройство подготовки априорной информации; УОИ – устройство обработки информации (априорной и текущей); D – датчики измерений;  $t$  – текущее время;  $\tau$  – момент контроля.

Как следует из рисунка 1, вектор нормируемых показателей точности НП имеет связь с вектором приведенных первичных погрешностей  $\Delta n$

$$НП_i = f_i(\Delta n_j), \quad i \in n, \quad j \in \{1, 2, \dots, 24\}. \quad (1)$$

Следовательно, системы контроля могут быть основаны на получении информации о приведенных первичных погрешностях.

Учитывая, что в этом случае информация о нормируемых показателях точности состоит из отдельной информации о точности элементов технологической системы, системы контроля, основанные на таком способе контроля можно назвать поэлементными. Схема получения информации при поэлементном способе контроля приведена на рис. 3.

Эти системы могут быть построены на базе датчиков линейных и угловых измерений ( $D1 \dots D24$ ). Задача заключается в том, чтобы с помощью таких датчиков обеспечить измерение всех 24 (в детерминированных системах) или какой-то части (в вероятностных системах) приведенных первичных ошибок.

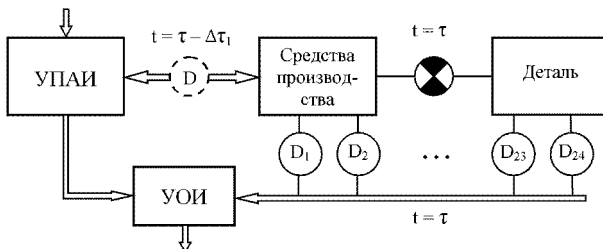


Рис. 3 Схема поэлементного способа контроля.

В соответствии с рис. 1. каждая приведенная погрешность является следствием воздействия строго определенных факторов  $\Phi$ , параметры которых поддаются измерению. Поэтому можно установить связь

$$\Delta n_i = \varphi_j(\Phi_k), \quad НП_i = f_i[\varphi_j(\Phi_k)], \quad k \in N \quad (2)$$

Откуда следует, что, зная вид функций  $f_i$  и  $\varphi_j$  и контролируя парамет-

ры факторов  $\Phi_k$ , можно однозначно судить о точности детали.

Системы контроля, основанные на таком способе получения информации, можно назвать факторными. Факторные системы основаны на контроле параметров факторов, вызывающих погрешности. При этом контролю могут подвергаться либо все параметры, либо их отдельные группы. Учитывая, что каждой группе параметров соответствует свое приборное обеспечение, целесообразно выделить полное множество типов факторных систем с различными группами контролируемых параметров.

Если обозначить действие контроля знаком  $D$ , а группы параметров относящихся к факторам:  $\Gamma$  – геометрическим;  $K$  – кинематическим;  $C$  – силовым;  $T$  – температурным;  $I$  – износным, то можно выделить следующие виды систем факторного контроля (рис. 4).

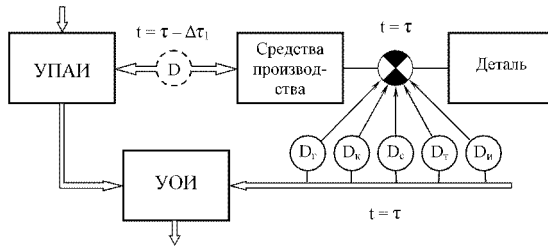


Рис. 4 Схема факторного способа контроля.

Система вида  $D_{\Gamma}$  характеризуется наличием датчиков геометрических неточностей элементов технологической системы. Такая система эффективна для всех процессов, т.к. геометрические неточности составляют значительную долю суммарной погрешности.

Система вида  $D_K$  содержит датчики кинематических погрешностей, возникающих в кинематических цепях технологической системы. Она эффективна для процессов со сложной кинематикой движений.

Система вида  $D_C$  предусматривает применение датчиков сил. По величине сил определяются фактические упругие деформации в технологической системе. Кроме того, с величиной силы коррелирована величина износа. Такая система рекомендуется для применения в процессах, где возникают большие силы резания, или в случае применения нежесткой технологической системы.

Система вида  $D_T$  требует включения датчиков температуры в различных точках размерной цепи технологической системы. По известной температуре определяются температурные деформации и более точно прогнозируется величина износа. Данная система рекомендуется для процессов с большой долей температурных составляющих в общей погрешности.

Система вида  $D_I$  предусматривает контроль параметров износа инструмента. Этот контроль может быть непосредственным или косвенным. Система рекомендуется для процессов с неустойчивым характером износа инструмента.

рументов, например, твердосплавных, хрупко-разрушающихся.

Таким образом, перечисленные способы контроля соответствуют трем различным уровням связей в модели, приведенной на рис. 1. Выделение других уровней в рамках принятой системной модели невозможно. Поэтому, учитывая, что способ косвенного контроля является частным случаем поэлементного способа контроля, можно утверждать, что возможно реализовать три принципиально различные способа контроля: непосредственный; поэлементный; факторный.

Два последних способа контроля могут осуществляться непосредственно в момент формообразования деталей, следовательно, их можно использовать в системах адаптивного управления точностью вариативных технологических систем, реализующих принципы управления как «по возмущению», так и «по отклонению».

Первый способ контроля можно использовать только в системах, которые реализуют принцип управления «по отклонению» (с использованием обратных связей) и, следовательно, требуют проведения дополнительных рабочих ходов для исправления выявленных отклонений по точности.

Трем перечисленным способам контроля, которые можно назвать простыми, соответствует четыре комбинированных.

Перечень всех возможных способов контроля, классифицированных по методу получения информации, приведен в таблице 1. В этой же таблице приведены сведения о возможных принципах управления точностью, которые могут быть реализованы с использованием применяемых способов контроля.

Таблица 1– Способы контроля точности деталей

Класс	Метод получения информации	Тип способа контроля	Возможный для реализации принцип управления
1	Измерение нормируемых показателей точности детали	Простой	По обратной связи
2	Измерение приведенных первичных погрешностей	Простой	По возмущению
3	Измерение параметров факторов, вызывающих погрешности	Простой	По возмущению
4	Измерение нормируемых показателей точности детали + измерение приведенных первичных погрешностей	Комбинированный	По обратной связи или комбинированный
5	Измерение нормируемых показателей точности детали + измерение параметров факторов, вызывающих погрешности	Комбинированный	По обратной связи или комбинированный
6	Измерение приведенных первичных погрешностей + измерение параметров факторов, вызывающих погрешности	Комбинированный	По возмущению, по обратной связи или комбинированный
7	Измерение нормируемых показателей точности детали + измерение приведенных первичных погрешностей + измерение параметров факторов, вызывающих погрешности	Комбинированный	По обратной связи или комбинированный

При правильном сочетании комбинированные системы контроля могут реализовать преимущества всех простых систем контроля. Кроме того, поскольку полную информацию о погрешностях может давать каждая из простых систем, то комбинированные системы позволят получать избыточную информацию о погрешностях, обеспечивая тем самым возможность построения контрольных средств, допускающих контроль «самих себя».

Пусть  $J_k$  ( $k=1, 2, 3$ ) – соответствует мере информации, получаемой в процессе, когда применяется  $k$ -й тип способа контроля. Тогда, если реализовать одновременно все три типа систем контроля мы получим  $J_{\Sigma} = J_1 + J_2 + J_3$ . Поскольку  $J_1$ ,  $J_2$  и  $J_3$  являются мерой информации, получаемой разным способом, но об одной и той же величине, то путем сопоставления этих мер можно судить об исправности технических средств контроля.

Выводы. Таким образом, в результате системного анализа процесса возникновения и учета погрешностей в вариативных технологических системах, разработана структурная модель классификации погрешностей и выявлено полное в рамках принятой модели множество возможных способов и систем контроля, включающее семь элементов, из которых три являются простыми, а четыре – комбинированными.

Кроме распространенных способов, основанных на непосредственном контроле нормируемых показателей точности, измерение погрешностей деталей может производиться поэлементным и факторным способами.

Основанные на поэлементном и факторном способах системы контроля могут давать информацию о погрешностях непосредственно в момент их возникновения, что обеспечивает возможность построения на их основе адаптивных систем управления точностью.

Показана возможность построения информационно-избыточных систем контроля, позволяющих создавать новые надежные системы контроля.

Список литературы: 1. Суелов А. Г., Дальский А. М. Научные основы машиностроения. – М.: Машиностроение, 2002. – 684 с. 2. Никифоров А. Д. Современные проблемы науки в области технологии машиностроения. – М.: Высш. шк., 2006. – 392 с. 3. Михайлов А. Н. Перспективы создания и развития прогрессивных технологий машиностроения // Прогрессивные технологии и системы технологий. – 1999, №8. – 178 с. 4. Костюк Г. І. Створення гнучких технологичних систем високої та надвисокої продуктивності на Україні. // Вісті Академії інженерних наук України. – 2006. – № 3 (30). – С. 144 – 153. 5. Базров Б. М. Модульная технология в машиностроении. – М.: Машиностроение, 2001. – 368 с. 6. Осадчий Є.О. Трансформерні технології побудови машин і механізмів. – К.: Науковий Світ, 2004. – 168 с. 7. Бруевич Н. Г. Точность механизмов. – М.: ГИТТЛ, 1946. – 332 с. 8. Тернюк Н. Э. Основы комплексной автоматизации технологических систем для производства зубчатых колес: Дис.д.т.н. – Харьков, 1883. – 433 с. 9. Тернюк Н. Э., Беловол А. В., Хунг Ф.В. Система структур технологических комплексов и метод их конкретизации. /Автомобильный транспорт. Сб. научн. тр. – Харьков: изд-во ХНАДУ. – 2005. – Вып. 18. – С. 91– 94. 10. Беловол А.В., Кордюк В.А., Тернюк Н.Э и др. Общие структурные модели машиностроительных технологических систем // Вісник НТУ "ХПІ". – 2005. – № 23. – С. 17 – 24.

*Поступила в редколлегию 09.11.2007*