

процесі експлуатації, а також автоматизувати виконання ряду завдань технологічної підготовки складального виробництва. Основними можливостями даного програмного модуля є побудова структурної схеми виробу та технологічної схеми складання, що значно скорочує термін проектування в порівнянні з ручним режимом, а також забезпечує гнучкість при зміні конфігурації конструкції та вхідних параметрів технологічного процесу складання виробу; моделювання та оптимізація завантаження робочих місць складання приладів в умовах дрібносерійного виробництва, а це дозволить скоротити цикл випуску 1-ї партії виробів.

#### Список літератури

1. Автоматизированные системы технологической подготовки производства в машиностроении / Под ред. Г.К. Горанского.- М.: Машиностроение, 1976. – 239 с.
2. Меткин Н.П. и др. Гибкие производственные системы.-М.: Изд-во стандартов, 1989.-312с.
3. Стельмах Н.В., Румбешта В.О. Принцип гнучкості в структурі сучасної технологічної підготовки виробництва. - Високі технології в машинобудуванні. Збірник наукових праць. 2/2007 НТУ “ХП”, Харків.
4. Стельмах Н.В., Румбешта В.О. Моделювання та оптимізація завантаження робочих місць складання приладів в умовах дрібносерійного виробництва. - Сьома науково-технічна конференція “Приладобудування 2008: стан і перспективи” НТУУ “КП”, м. Київ

**УДК 621.924**

**Н.В.Гнатейко, канд.техн.наук, доц.**

**НТУ України «Киевский политехнический институт», г.Киев, Украина**

### **АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ДИНАМИКИ ТОС НА КАЧЕСТВО ОБРАБОТКИ ДЕТАЛИ ПРИ ТОЧЕНИИ**

---

*В статті наводяться результати аналізу вібродинамічних режимів при точінні металу, їх моделювання та ступені впливу на якісні характеристики механообробки*

*The article describes the results of the analysis vibrations dynamics models in lathe processing of metals, them of modeling and of degrees influences for the characteristic quality machining working.*

---

#### **Постановка задачи**

Геометрическая точность деталей при механообработке формируется заранее заданной траекторией движения инструмента вдоль обрабатываемой поверхности детали и целым рядом технологических причин, всегда сопровождающих все виды механической обработки. Уровень точности обработки или величина общей суммарной погрешности, как известно, определяется целым рядом возмущающих производственных факторов, всегда сопровождающих данный процесс и вызывающих множество систематических и случайных отклонений.

В задачи данной статьи не входит исследование и анализ всех погрешностей механообработки. Ставится задача, исследовать только так называемую группу динамических погрешностей при точении, вызываемых динамикой обрабатываемой системы, проявляющейся в виде виброколебательных процессов.

## Результаты анализа

На основании проведенного многими исследователями анализа причин возникновения динамических режимов во всех элементах обрабатывающей системы было установлено, что такими возбудителями динамики являются три группы причин.

Первым и главным возбудителем динамики ТОС является процесс резания с его переменной по величине силой резания, где основными причинами её изменения являются ряд параметров резания, периодически меняющих своё значение. К ним можно отнести: периодическое изменение величины срезаемого припуска; периодичность стружкообразования; квазипериодическое, релаксационное изменение сил трения в зоне контакта инструмента и детали; периодичность срыва наростообразования на передней поверхности инструмента; анизотропия прочности и твердости обрабатываемой поверхности детали и т.д.

Вторым источником динамического возмущения ТОС при работе являются кинематические внешние факторы, основные из которых такие: внешние воздействия соседнего оборудования; вибрация главного электропровода; кинематическая неплавность хода зубчатых передач станка и др.

Третьим и важным источником динамической неустойчивости обрабатывающей системы являются упругие колебания элементов ТОС, возбуждаемые в упругой, маложесткой системе станка первыми двумя источниками в виде автоколебательного процесса.

В упругой, легко динамически возбуждаемой ТОС, имеющей условно-разомкнутую, подвижную силовую связь в виде динамического процесса резания в зоне взаимодействия инструмента и детали, любое силовое периодическое возмущение вызывает динамический режим в виде упруго-колебательного процесса в многомассовой системе оборудования, приводящих к колебательным смещениям инструмента относительно обрабатываемой детали, которые образуют геометрические погрешности обработки детали, называемые условно динамическими погрешностями формирования её поверхности.

Необходимо отметить, что связующим звеном в упругой, динамической цепочке – станок, приспособление, инструмент и деталь, является динамически малоустойчивый процесс резания, который представляют в виде динамического оператора  $W_p(D)$ , как связующую передаточную функцию. Такую связь между двумя упруго-колеблющимися элементами ТОС и геометрическим формированием обрабатываемой поверхности детали можно представить в виде математической модели:

$$\left\{ \begin{array}{l} \vec{Y}(\tau) - |W_{ycc}(D)| \cdot \vec{P}_y(\tau) = |W_{ycc}(D)| \cdot \vec{U}(\tau) + \vec{G}(\tau) \\ \vec{P}_y(\tau) = \vec{F}_\Sigma(\tau) - |W_p(D)| \cdot \vec{Y}(\tau) \\ \vec{r}(\tau) = |W_\phi(D)| \cdot \vec{Y}(\tau) \end{array} \right. \quad (1)$$

где:

$\vec{Y}(\tau)$  - вектор колебательных смещений инструмента относительно детали в нормальном направлении;

$\vec{U}(\tau)$  – вектор силовых направляющих воздействий;

$\vec{G}(\tau)$  - вектор не силовых внутренних и внешних возмущений, как тепловые деформации;

$\vec{r}(\tau)$  - текущий переменный радиус-вектор функции профиля поверхности обрабатываемой детали;

$\vec{P}_y(\tau)$  - главный, переменный по величине вектор силы по нормали к обрабатываемой поверхности;

$\vec{F}_\Sigma(\tau)$  – вектор общего шума всех сил, действующих в ТОС во время механообработки, как геометрическая сумма сил резания и упруго-инерционных колебаний масс элементов ТОС, сил их упругости и трения, усилий в кинематических цепях передачи движений и т.д.;

$|W_{УСС}(D)|$  – динамический оператор упругой системы станка, описывающий динамические характеристики основных его рабочих узлов – шпиндельного и суппортного и их колебаний;

$|W_P(D)|$  - динамический оператор характеристики процесса резания как динамической связи ПМО и ТОС;

$|W_\phi(D)|$  – динамический оператор процесса формирования обрабатываемой поверхности детали при точении;

$(D) = d/d\tau$  – дифференцирующий оператор по времени.

Составными факторами  $\vec{G}(\tau)$  являются параметры процесса механической обработки (ПМО), как размерный износ инструмента, температура резания и окружающей среды, коэффициенты трения инструмента и детали и между трущимися элементами ТОС и т.д.

Составляющими  $\vec{U}(\tau)$  – управляющих воздействий - это режимы резания, рабочие движения инструмента по детали и схема обработки при точении, геометрия режущего инструмента и др.

Динамическая передаточная функция в операторной форме по Лапласу, как динамический оператор  $|W_{УСС}(D)|$  принято описывать с учетом динамических характеристик станка (1) в виде функции:

$$W_{УСС}(D) = \frac{d P_y(\tau)}{dY(\tau)} = \frac{1/C}{\frac{M}{C}D^2 + \frac{H}{C} \cdot D + 1} \quad (2)$$

где  $M$ ,  $H$ ,  $C$  – соответственно масса, диссипативно-демпфирующие свойства и жесткость системы станка.

Динамический оператор динамики резания, как передаточная функция изменения силы резания от изменения величин глубины резания  $t$ , времени стружкообразования  $T_p$  размерного износа инструмента по ходу обработки  $h_u$  записывается в виде (3) :

$$W_P(D) = \frac{d P_y(\tau)}{d|t; T_p; h_u|(\tau)} = \frac{k_P}{T_P D + 1} + h_u D \quad (3)$$

где  $k_P$  - коэффициент жесткости резания. При этом экспериментально установлено, что при увеличении износа инструмента  $h_u$  происходит постепенное смещение основного спектра колебаний силы резания в сторону низких частот из-за растущего демпфирования трением.

Проведенные экспериментальные исследования показали, что формообразование поверхности обработки, а следовательно и динамический оператор формообразования  $W_\phi(D)$ , являются частотозависимыми от динамики резания. Так при обработке при больших оборотах в низкочастотной области колебаний в пределах 150-600 Гц профиль поверхности детали формируется однозначно движением и динамикой инструмента. В более высокой частотной спектральной области, с ростом скорости резания, когда частота колебаний достигает 1000-2000 Гц, большое влияние на формирование профиля поверхности оказывают процессы стружкообразования и трения при резании.

Эти результаты позволяют экспериментально идентифицировать передаточную функцию – оператор  $W_\phi(K_T \omega)$  процесса формообразования профиля с учетом влияния частотной составляющей в виде:

$$W_\phi(K_T \omega) = \frac{1}{K_T T_P \omega + 1} \quad (4)$$

где  $K_T$  - коэффициент учета величины трения инструмента и детали, и геометрии заточки режущего инструмента;  $\omega$  – круговая частота квазипериодического формирования профиля, зависящая от скорости резания. При этом на  $K_T$  естественно будет влиять величина износа режущего инструмента  $h_u(\tau)$  в худшую сторону.

На основе полученной математической модели образования профиля (1) и математического описания динамических операторов (2),(3) и (4) можно получить структурную модель в виде функционально-структурной схемы формирования профиля обработки детали с учетом динамики процесса (рис. 1)

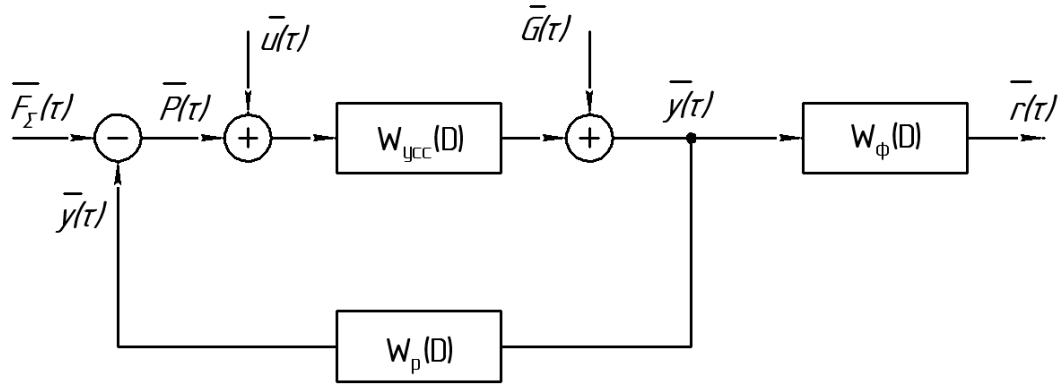


Рис. 1. Функционально – структурная схема формирования динамического качества процесса механообработки

Тогда профиль геометрии получаемой поверхности обработки, как величины  $r(\tau; \chi)$  переменного радиуса профиля по длине детали  $l$  по оси  $X$  при точении можно описать математической зависимостью:

$$r(\tau; \chi) = K_{HB} \left( \int_0^l W_{\phi}(D) \cdot Y(\tau) d\tau + \Delta r(\tau; \chi) \right) \quad (5)$$

где  $K_{HB}$  – коэффициент учета упруго-пластичных и прочностных свойств обрабатываемого материала;  $\Delta r(\tau; \chi)$  – вторая составляющая динамической погрешности обработки, как результат воздействия самого процесса резания, формируемая более высокими спектрами частотных колебаний при резании по причине фрикционно-релаксационных процессов трения резца по детали.

Такую динамическую погрешность формообразования можно получить в виде уравнения:

$$\Delta r(\tau; \chi) = \frac{W_P(D)}{1 + W_{\phi}(D) \left( \frac{K_P}{T_P D + 1} \right) + h_u D} P_y(\tau) + \Delta y(\tau) \quad (6)$$

где  $\Delta y(\tau)$  – случайная составляющая процесса обработки точением от влияния геометрии поверхности заготовки, внешних возбудителей вибрации.

### Выводы по полученным результатам

Анализ полученных результатов по исследованию динамики процесса механообработки точением и её влияние на качество обработки деталей позволяет сделать следующие выводы:

1. При черновом и получистовом точении, когда скорость обработки низка, на точность получаемой геометрии поверхности детали в основном влияет низкочастотный спектр динамических колебаний ТОС, кратный частоте вращения заготовки, формируемый погрешностями припуска  $\Delta t$  и анизотропией прочности поверхности

$\Delta HB$ , а шероховатость получаемой поверхности определяется в основном пластическими разрушениями поверхностного слоя детали.

2. При значительных скоростях обработки, что имеет место при чистовом точении динамику процесса резания начинает формировать такой возбудитель колебаний, как периодичность стружкообразования  $T_P$  со своей частотой  $\Phi_0 = f(V_{рез})$ , что хорошо исследовал И.А. Тимме, когда частота динамических колебаний повышается до 1500...2000 Гц, а амплитуда смещений значительно уменьшается. Это оказывает положительное влияние на формирование чистоты обрабатываемой поверхности, на что уже в основном влияет релаксационный процесс трения инструмента по детали.

3. При скоростной обработке точением ( $V_{рез} = 4...5$  и более м/с) основной динамический фронт колебаний ТОС смещается в зону высоких частот в 6...8 КГц, геометрия точности профиля детали по сечению под влиянием  $\Delta t$  и  $\Delta HB$  при этом значительно улучшается, а профиль шероховатости поверхности уже формируется динамикой резания от разрушения кристаллической решетки материала детали. При этом исчезает влияние релаксации при трении инструмента о деталь из-за появления в зоне их контакта, полностью пластически разрушенного жидко-вязкого слоя при обработке сталей по причине большой концентрации тепла и напряжений, а шероховатость поверхности по величине становится почти линейно зависимой от  $V_{рез}$ .

4. Для получения необходимого качества обработанной поверхности при обработке резанием желательно применять специальную систему автоматического управления динамикой ТОС при работе, основанной на вибродиагностике обрабатываемой системы и её стабилизации в поисковом, адаптивном режиме [2; 3; 4].

#### Список литературы

1. Кудинов В.А. Динамика станков. – М:Машиностроение, 1967.-360с.
2. Гнатейко Н.В., Румбешта В.О. Методика керування динамікою оброблювальної механічної системи. / Наукові вісті НТУУ «КПІ», №6, 2002. – с. 55÷58.
3. Гнатейко Н.В., Румбешта В.О. Підвищення якості процесу точіння за рахунок стабілізації оброблювальної системи / Вісті академії інженерних наук України, №3, -К.:НТУУ «КПІ», 2002. – с.35÷37.
4. Гнатейко Н.В., Румбешта В.О., Никитчук Е.А. Повышение качества процесса механообработки путем стабилизации динамики ТОС. /Вісник НТУУ«КПІ» , серія «Приладобудування», №31, НТУУ«КПІ», - 2006. –с. 112÷120.