

ВИСОКОЕФЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ В ПРИЛАДОБУДУВАННІ

УДК 621.7.01

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ РАЗМЕРНОЙ НАСТРОЙКИ ИНСТРУМЕНТА НА ОСНОВЕ ВИБРОАКУСТИЧЕСКОГО СИГНАЛА В УСЛОВИЯХ ГПС

Румбешта В.А., Кокаровцев В.В., Романов О.В., Национальный технический университет Украины “Киевский политехнический институт”, г. Киев, Украина

В работе рассматриваются основы построения системы размерной настройки инструмента в условиях ГПС. Приводится обоснование результатов экспериментов для конкретного случая с оценкой эффективности внедрения метода настройки на основе виброакустического сигнала

Вступление. Постановка задачи

Виброакустический сигнал (ВАС), генерируемый зоной резания и измеряемый с помощью пьезоакселерометра при механической обработке металлов уже длительное время используется с целью текущей диагностики процесса резания металлов в условиях гибких производственных систем (ГПС) [1 - 4].

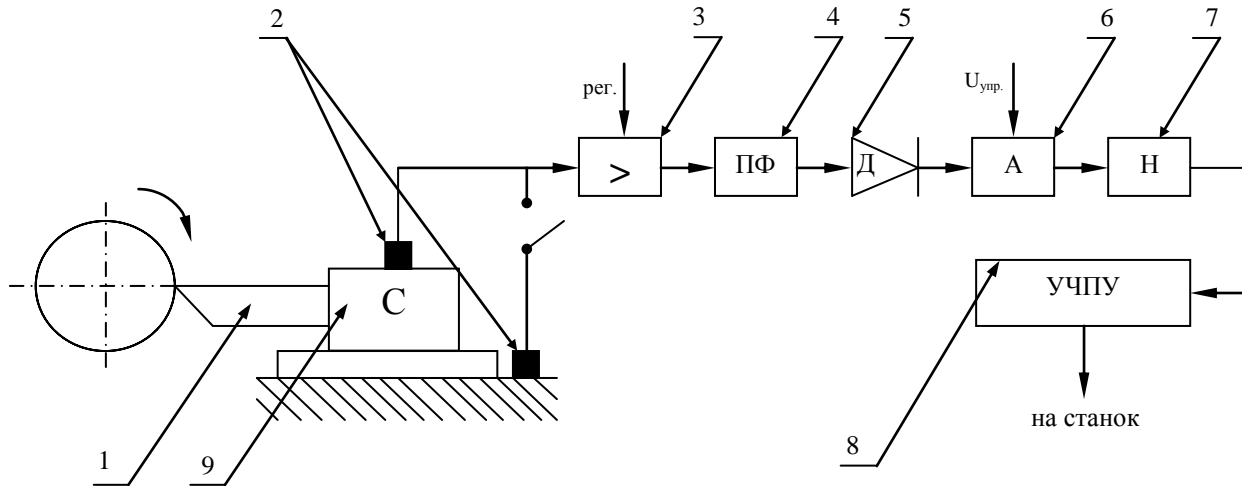
Однако гораздо меньше работ посвящено использованию ВАС с целью автоматизации размерной настройки инструментов и точного приведения координат обрабатываемых поверхностей на станках с ЧПУ, хотя впервые он использовался в примитивных формах именно для этих целей при шлифовании внутренних поверхностей.

На кафедре производства приборов приборостроительного факультета длительное время производились исследования ВАС, генерируемого зоной резания при обработке конструкционных сталей твердосплавным инструментом на станках с ЧПУ, как для диагностики процесса резания, (т.е. определения текущего состояния процесса), так и для автоматизации размерной настройки инструментов и координат изделия, поскольку эти два аспекта тесно взаимосвязаны между собой [5 - 7]. Поэтому целью работы является определение точности автоматизированной размерной настройки инструментов на станках с ЧПУ при точении конструкционных сталей твердосплавным инструментом. Решение этой проблемы позволит внедрять безлюдные технологии обработки в условиях ГПС.

Комплексное экспериментальное определение точности размерной настройки

Очень важным при этом является вопрос экспериментального определения статистической точности. Для этих целей в экспериментальный комплекс включены: разработанные на кафедре аналого-цифровая аппаратура, и стандартный станок с ЧПУ Владимирского объединения “Техника” типа АТПЦ-128 с точностью позиционирования – 1 мкм и со стандартным УЧПУ (2Р22). Ре-

зультаты этих экспериментальных исследований могут быть использованы только для данного комплекса, то есть для данного состава оборудования и приборов, и только для обработки конструкционных сталей твердосплавным инструментом в широком диапазоне режимов резания. Схема комплекса и алгоритм размерной настройки представлены на рис.1, 2.



1 – резец; 2 – пьезоакселерометр; 3 – регулируемый усилитель; 4 – полосовой фильтр; 5 – детектор; 6 – анализатор; 7 – нормализатор; 8 – устройство ЧПУ; 9 – суппорт

Рисунок 1 – Схема комплекса размерной настройки

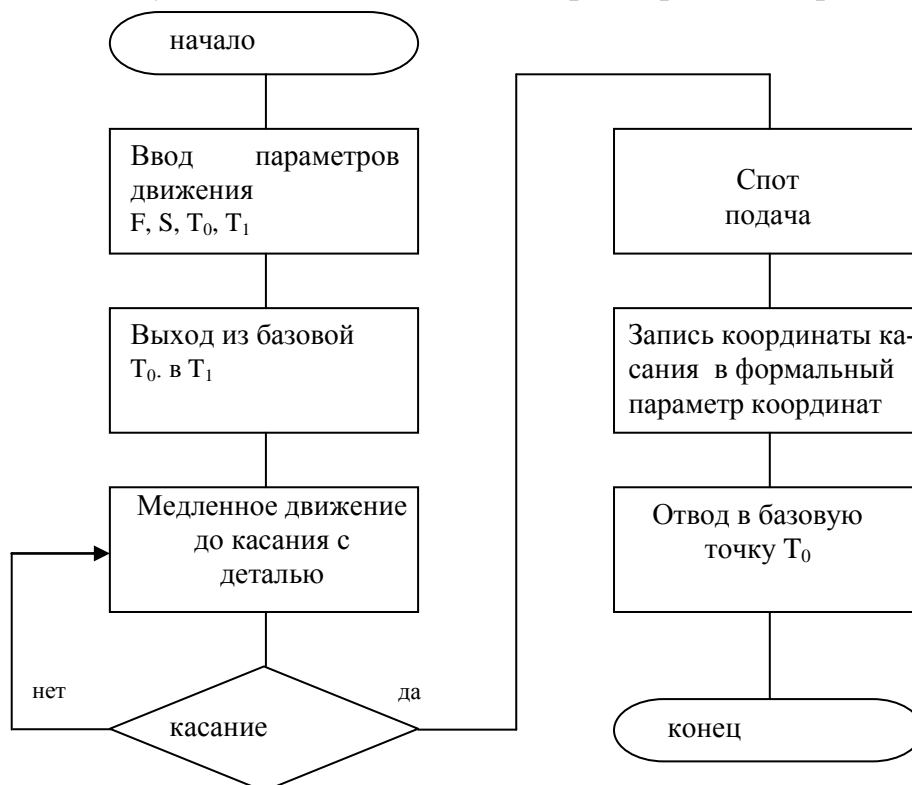


Рисунок 2 – Схема алгоритма размерной настройки

В дополнение к стандартному по коду ISO было разработано специальное математическое обеспечение, в котором использовались специальные функции:

G15 – есть касание и G14 – потеря касания, в соответствии с которыми текущие координаты суппорта в момент касания заносились в формальный параметр координат станка и использовались для программы обработки “от координат поверхности детали”. Для точного определения величины “перебега” или заглубления использовались заготовки, размеры которых определялись вне станка с точностью 1.5 мкм. Значение скорости подачи в момент касания составляло 3-5 мм/мин. На рис. 3 представлен характер кривых, определяющих точность касания в зависимости от скорости относительного смещения инструмента и заготовки, т.е. от скорости резания. Видно, что, начиная со значения $V = 40$ м/мин результат уже не зависит от дальнейшего увеличения скорости. Поэтому во всех экспериментах относительная скорость была выше 40 м/мин.

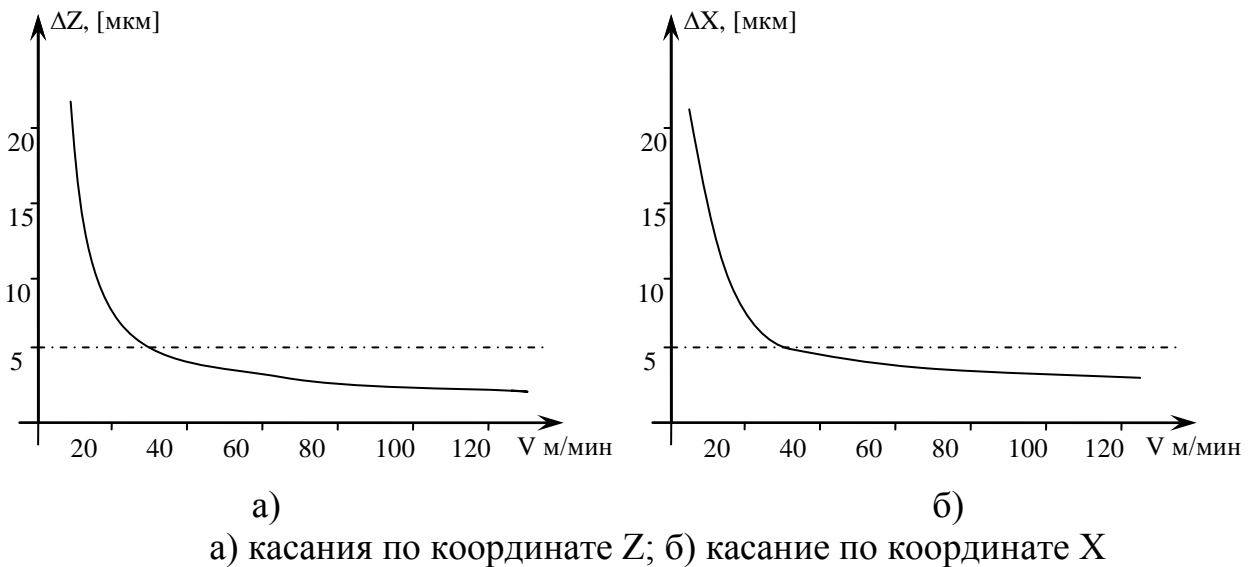


Рисунок 3 – Характер кривой зависимости точности фиксации касания от скорости вращения заготовки

Теоретическая оценка точности размерной настройки

Точность автоматической размерной настройки инструментов на основе сигнала акустической эмиссии зависит, прежде всего, от точности самого станка, от разрешающей способности его системы позиционирования.

Кроме того, она зависит от шероховатости поверхности детали, ее температурного расширения, погрешности установки инструмента по оси центров, точности позиционирования инструмента при его смене и ряда других причин.

Все это и определяет точность воспроизведения координат касания X , Z при повторных касаниях, т.е. разброс “перебега” (заглубления) – δ инструмента.

$$X_m^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{n=1}^N (X_n - \tilde{X}_i)^2,$$

$$\tilde{X}_i = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N X_n,$$

где X_n – значение координаты зафиксированной в УЧПУ при касании инструмента, которое автоматически заносится в параметр R6;

\tilde{X}_i – математическое ожидание;

X_m^2 – дисперсия результатов;

N – объем выборки.

То же самое относится к координате Z и значениям $\Delta X_n, \Delta Z_n$, определяемых с помощью повторных касаний.

Погрешность воспроизведения, как и ожидалось, зависит от скорости вращения заготовки, поэтому был проведен ряд испытаний для разных скоростей вращения заготовки. Оказалось, что при малых скоростях вращения – менее 30 м/мин – погрешность увеличивается (с понижением скорости) от 2 до 6 раз.

Однако, при 30 м/мин для сталей и всех видов инструментов происходило “насыщение”, т.е. увеличение точности (рис.3). Таким образом, обязательным условием автоматической размерной настройки является необходимость поддержания скорости вращения выше 30 м/мин.

Как воспроизводимость результатов измерений, так и глубина врезания (перебег) $\Delta X_n, \Delta Z_n$, характеризуются разбросом своих значений относительно среднего значения.

Для определения вида распределения (выборки из 473 значений ΔX_n) координаты точки “касания” всех инструментов были приведены к одной координате поверхности с помощью сдвига координат.

Доверительные 90%-ые интервалы для среднего значения $X, \Delta X, Z, \Delta Z$ определялись согласно формулам:

$$\left\{ \left(\bar{X}_{BP} - \frac{s' t_{Ni;\alpha/2}}{\sqrt{N_i}} \right) < X \leq \left(\bar{X}_{BP} + \frac{s' t_{Ni;\alpha/2}}{\sqrt{N_i}} \right) \right\},$$

где s' – выборочная дисперсия;

$t_{Ni;\alpha/2}$ – значения критерия Стьюдента;

N_i – объем выборки;

\bar{X}_{BP} – выборочное среднее координат касания.

Доверительные интервалы для дисперсий координаты касания и глубины врезания ($\alpha = 0.05$) получены на основании выражения:

$$\left\{ \frac{nS^2}{\chi_{n;\alpha/2}^2} \leq M(\bar{X}_{BP} - X_{BBS})^2 < \frac{nS^2}{\chi_{n;(1-\alpha/2)}^2} \right\},$$

где $\chi_{n;\alpha/2}^2$ – χ^2 критерий Пирсона.

При касании по торцу заготовки из алюминиевого сплава Д16Т доверительные интервалы для l_{BP} и разброс результатов фиксированных координат, для 90% интервала при скорости врезания 65 м/мин и выше составляет:

$$\begin{aligned} (6.64 \text{ мкм} \leq \Delta Z_{BP} < 8.42 \text{ мкм}), \\ (0.53 \text{ мкм} \leq M(\bar{Z}_{BP} - Z_{BPi})^2 < 2.86 \text{ мкм}). \end{aligned}$$

Начиная со скорости 65 м/мин, данные показатели остаются неизменными, в то время как при скорости 32 м/мин точность уменьшается в 1.7 раза.

При касании по Z для конструкционных сталей, начиная со скорости при которой происходит касание (30 м/мин), 90%-ые доверительные интервалы будут:

$$\begin{aligned} (5.26 \text{ мкм} \leq \Delta \tilde{Z}_{BP} < 7.74 \text{ мкм}), \\ (1.02 \text{ мкм} \leq M(Z_i - \bar{Z})^2 < 5.49 \text{ мкм}). \end{aligned}$$

Для конструкционных сталей точность лежит в пределах 4.5 мкм и определяется не глубиной врезания, которую можно рассматривать как систематическую составляющую, а воспроизводимостью результатов. Она зависит от скорости подвода инструмента, чистоты поверхности детали R_z , частоты квантования сигнала CNC системой ЧПУ, чувствительности блока контроля процесса резания (БКПР).

При касании по координате X для сплава Д16Т и для стали доверительные интервалы 90% для I_{BP} и воспроизводимости соответственно будут:

$$\begin{aligned} (5.95 \text{ мкм} \leq \Delta \tilde{X}_{BP} < 11.05 \text{ мкм}), \\ (4.28 \text{ мкм} \leq M(X_i - \bar{X})^2 < 10.0 \text{ мкм}). \end{aligned}$$

В данном случае точность не выходит за пределы 5 мкм, хотя она и ниже, чем при касании по торцу.

Для стальной заготовки при касании по оси X границы интервалов будут:

$$\begin{aligned} (16.3 \text{ мкм} \leq \Delta \tilde{X}_{BP} < 21.7 \text{ мкм}), \\ (3.65 \text{ мкм} \leq M(X_i - \bar{X})^2 < 8.62 \text{ мкм}). \end{aligned}$$

Исходя из полученных результатов, можно считать:

$$\Delta \tilde{X} = \Delta \tilde{X}' + R_z,$$

где $\Delta \tilde{X}'$ – глубина врезания, соответствующая $R_z = 0.5$ мкм;

R_z – критерий шероховатости поверхности.

Обобщив вышесказанное, можно сделать вывод о том, что достигнутая точность системы размерной настройки составляет 5 мкм и, очевидно, может быть увеличена до $3 \div 2.5$ мкм.

Обработка координаты Z как “потери касания” при обратном ходе инструмента по оси со снятием стружки толщиной $t = 0.1$ мм дает менее точные результаты. Размах значений зафиксированных координат достигает 0.5 мм.

Обработка выборки из 373 значений показала, что плотность распределения вероятности может быть аппроксимирована асимметричным законом, например, законом распределения Релея.

В общем случае погрешность автоматической размерной настройки на основе сигнала акустической эмиссии может быть выражена формулой:

$$\left\{ \left[F(\tau_{cp} + \Delta T) \right]^2 + \sum_{n=1}^N \delta_i^2 + [\psi(\theta, t)]^2 \right\}^{\frac{1}{2}},$$

где τ_{cp} – время срабатывания БКПР;

ΔT – квант времени опроса дискретных устройств УЧПУ ($\Delta T \approx 0.01$ с);

δ^2 – погрешность отжима, неправильности установки линии центров смены инструмента, перебега, первичных измерений и т.д.;

$\psi(\theta, t)$ – температурная погрешность;

Поскольку $\tau_{cp} \ll \Delta T$, общее выражение будет:

$$\left\{ [F(\Delta T)]^2 + \sum_{i=1}^N \delta_i^2 + [\psi(\theta, t)]^2 \right\}^{\frac{1}{2}}.$$

Учет всех вышеуказанных погрешностей показывает, что для станков типа АТПУ-125, ТПЦУ-125 и т.д. можно добиться статистической точности обработки не ниже 10-15 мкм, хотя при индивидуальном подходе данная точность может достигать 5-7 мкм.

Выводы

Таким образом, на основании проведенных исследований видно, что использование сигнала акустической эмиссии зоны резания в сочетании с возможностями станков с ЧПУ типа CNC (ГПС) позволило исследовать и создать эффективную систему автоматической размерной настройки и определения размерного износа инструмента в условиях ГПС. С номинальной точностью 10-15 мкм с помощью данной системы можно осуществлять определение и компенсацию погрешности позиционирования инструмента относительно координат детали, погрешности установки заготовки в патроне, размерного износа инструмента, определять некоторые виды поломок инструментов в процессе работы, что является перспективными исследованиями данной проблемы.

Данная система более всего подходит для определения промежуточных размеров и окончательных размеров при достаточно большой шероховатости поверхности, соизмеримой с глубиной резания или с “перебегом”.

Поскольку в данном случае в качестве измерительного элемента или щупа выступает сам режущий инструмент, и контроль размеров можно осуществлять без смены инструментов, без поиска щупа или выхода в измерительную позицию, то это экономит не менее 30-40% времени, отведенного для размерного контроля металлообработки другими методами. Это также повышает оперативность и производительность труда, увеличивает точность изготовления изделий.

Проблема рассмотрена в работе только как частный случай для токарной обработки конструкционных сталей твердосплавным сборным инструментом, поэтому в дальнейшем необходимо решать поставленные задачи для иных видов механической обработки, в особенности для фрезерования.

Литература

1. Тымчик Г.С., Румбешта В.А., Кокаровцев В.В., Держук В.А., Диордица И.Н. Виброакустические сигналы при резании. // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. -2002. -№ 1. -С.122-125.
2. Румбешта В.А., Кокаровцев В.В., Гнатейко Н.В. Повышение надежности процесса механической обработки. // Вібрації в техніці та технологіях. - №2. -2001. -С.31-33.
3. Румбешта В.А., Кокаровцев В.В., Гнатейко Н.В. Система повышения качества процесса точения в приборостроении за счет стабилизации динамики станка // Вісник Харківського технічного університету.- 2002. -Вып. 10. -С. 95-100.

4. Кокаровцев В.В., Румбешта В.А., Нгуен Зунг. Аналого-цифровая система диагностики процесса металлообработки на основе виброакустики резания. / Перспективные технологии и методология подготовки производства. -К.: НТУУ "КПИ", 1997.
5. Румбешта В.А., Кокаровцев В.В. Система технического диагностирования процесса металлообработки / Прогресивна техніка і технологія машинобудування і приладобудування. Т.ІІ. -К.: НТУУ "КПИ", 1998. -С. 301-303.
6. АС. № 986615 СССР Способ контроля процесса резания // Кокаровцев В.В., Воскобійник Ю.И., и др. Оpubл. 7.09.82.
7. АС. № 1757849 СССР Способ управления обработкой материалов резанием. Кокаровцев В.В., Остафьев В.А., и др. Оpubл. 1.05.92.
8. АС. № 793723 СССР Способ контроля процесса резания / Кокаровцев В.В., Воскобійник Ю.И. и др. Оpubл. 8.09.80.
9. Кокаровцев В.В. Методы контроля и управления металлообработкой на основе виброакустического сигнала: Автореф. дис. на соискание степ. канд.техн.наук, Киев, 1994.
10. Румбешта В.А. Основные закономерности разработки системы диагностирования и управления процессом механообработки. Автореф. дис. на соискание степ. д-ра техн.наук, НТУУ "КПИ", Киев, 1994.

<p>Румбешта В.О., Кокаровцев В.В., Романов О.В. Підвищення точності розмірної настройки інструменту на основі віброакустичного сигналу в умовах ГВС.</p> <p>В роботі розглядаються основи побудови системи розмірної настройки інструменту в умовах ГВС. Наведено обґрунтування результатів експериментів для конкретного випадку з оцінкою ефективності впровадження настройки на основі віброакустичного сигналу.</p>	<p>Rumbeshta V.A., Kokarovcev V.V, Romanov O.V. The rise precision dimensional instrument adjusting based on vibro-acoustic signal in CNC condition.</p> <p>The article deals with base building of dimensional instrument adjusting system in CNC condition. It was given substation results of experiments for particular case with effectiveness assessment of adjusting method introduction on based on vibro-acoustic signal.</p>
--	---

*Надійшла до редакції
6 квітня 2004 року*

УДК 621.793

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ШОРСТКОСТІ ОБРОБЛЕНОЇ ПОВЕРХНІ ПРИ НАДШВИДКІСНОМУ ФРЕЗЕРУВАННІ

*Усачов П.А., Іваненко Н.В., Національний технічний університет України "Київський
політехнічний інститут", м. Київ, Україна*

У статті розглядається новий підхід до вирішення проблеми знаходження математичної моделі шорсткості обробленої поверхні при надшвидкісному фрезеруванні.

Вступ

Виготовлення деталей приладів з дотриманням усіх норм по точності, якості та підвищення продуктивності виготовлення деталей в цілому є основною проблемою сьогоденного приладобудування.

Надшвидкісне фрезерування ($v = 2000\text{м/хв}$, $n = 20000\text{об/хв}$) дозволяє при