

4. Формообразование рабочего профиля сателлита трохонидной передачи // Dr. Eng. Jankevich M., Ass. Dziatkovich V., National Academy of Science – Minsk, Belarus. Опубликовано в Интернеті: <http://www.gears.ru/transmis/zaprogramata/2.139.pdf>.
5. Грицай І.С., Благут Е.М., Яворський В.З. Синусоїдальні зубчасті колеса та новий ефективний метод їх виготовлення // УИЦ «Наука. Техника. Технологія», — К., 2004. — С. 47-50.
6. Кривошея А.В., Данильченко Ю.М., Мельник В.Е., Благут Э.М. Перспективы применения твердосплавных отрезных дисковых фрез при обработке цилиндрических зубчатых колес // Резание и инструмент в технологических системах: Межд. научн.-техн. сборник. — Харьков: НТУ «ХПИ», 2005. — Вып.69. — С. 115-120.
7. Данильченко Ю.М., Кривошея А.В., Пастернак С.І., Короткий Є.В. Кінематика формоутворення циліндричних зубчастих коліс з заданим профілем дисковим інструментом // Вестник НТУУ «Киевский политехнический институт», сер. Машиностроение. — 2005. — № 46. — С. 104-108.
8. Данильченко Ю.М., Кривошея А.В., Пастернак С.І. Математичне моделювання законів руху дискового інструменту при обробці зубчастих коліс довільного профілю // Вестник НТУУ «Киевский политехнический институт», сер. Машиностроение. — 2006. — № 49. — С. 104-108.

## УДК 621.9

**О.И. Драчев, д-р техн.наук, Д.А. Расторгуев, канд.техн.наук,  
Тольяттинский государственный университет, Россия**

### **ДИНАМИЧЕСКАЯ НАСТРОЙКА ПОДСИСТЕМЫ ИНСТРУМЕНТА ПРИ ОБРАБОТКЕ ГЛУБОКИХ ОТВЕРСТИЙ**

---

*В статті наведено опис технології для вібраційного свердлення/розточування глибоких отворів на станках токарного типу. Розглядаються результати багатофакторного експерименту з частотного аналізу підсистеми інструменту. Наведено обґрунтування вибору параметрів технологічної системи для вібраційної обробки.*

*The vibration drilling/boring technology for lathes is described. The results of The frequency analysis processing complex experiment are submitted. Paper also contents reasoning of technological system characteristics assignment, needed to vibration processing.*

---

Снижение материалоемкости конструкций современных механизмов при ужесточающихся конструкторских и эксплуатационных требований требует пересмотра традиционных методов обработки. Значительная доля маложестких деталей приходится на втулки, гидро- и пневмоцилиндры с высокоточными отверстиями. Повышение точности обработки отверстий, особенно глубоких, связано с уменьшением увода оси обработанного отверстия и огранки в поперечном сечении.

Если сверлится или растачивается отверстие в маложесткой заготовке типа вал или втулка на станке токарного типа, обеспечение соосности отверстия наружной поверхности и прямолинейности его оси может достигаться стабилизацией положения оси стебля инструмента, стабилизацией оси вращающейся заготовки, уменьшением радиальных составляющих сил резания и демпфированием поперечных колебаний формообразующих подсистемы заготовка - опоры и инструментальной подсистемы [1].

Разработана технология обработки глубоких отверстий, основанная на применении волноводного преобразователя – борштанги, выполненной со сквозными

пазами по определенному профилю с неравномерным шагом (рис.1) [2, 3]. Его использование позволяет реализовать механизм вибрационного резания с управляемыми по форме, частоте и амплитуде колебаниями инструмента, источником которых является процесс резания вместе с волноводным преобразователем. При проведении экспериментов по исследованию влияния параметров вибрационного резания на точность обработки сверлением для образцов из стали 40Х за один проход обеспечивался 8 квалитет, шероховатость поверхности Ra 2,5 мкм., биение 12 мкм. для диаметра 16 мм. на длине 300 мм. Сверло спиральное диаметром 16 мм. из стали Р6М5Ф3. Растачиванием отверстий диаметром 36 мм. в трубных заготовках комбинированным инструментом (рис.1) с применением волноводного преобразователя обеспечивался 7 квалитет точности, шероховатость Ra 0,8 мкм., биение 8 мкм. При изменении условий обработки (режимов резания, размеров заготовки, условий закрепления) меняются параметры вибрационной обработки (частота колебаний различной формы, их амплитуда) при которых обеспечивается достижение максимальной точности и качества обработанной поверхности.

В данной работе ставится задача – обосновать динамическую настройку вибрационной обработки с использованием предложенной технологической оснастки с целью достижения максимальной эффективности. Цель настройки заключается в стабилизации формы колебаний (соотношения продольной и крутильной составляющих) и их параметров: частоты и амплитуды. Причем значения этих параметров должны быть увязаны с собственными частотами подсистем заготовка – опоры и инструмент – волноводный преобразователь. Также необходимо согласовать их с частотой стружкообразования в зоне резания.

Способ настройки заключается в обеспечении постоянства соотношения частоты крутильно-продольных автоколебаний и частоты стружкообразования.

Для повышения эффективности сверления отверстий с использованием волноводного преобразователя необходимо решить следующие задачи. Во-первых, для обеспечения точности обработанного отверстия форма генерируемых колебаний в зоне резания должна быть преимущественно крутильной, поскольку, как показал эксперимент, наличие крутильных колебаний инструмента приводит к уменьшению поперечных колебаний; во-вторых, для повышения производительности форма колебаний должна быть продольной, т.к. в этом случае обеспечивается устойчивое дробление и отвод стружки. Причем параметры этих колебаний (частота и амплитуда) зависят как от режимов обработки (подачи и скорости), так и от динамических характеристик подсистемы инструмента (жесткости, которая в первую очередь определяется вылетом инструмента). Соотношение продольной и крутильной компонент зависит от частоты возбуждения и собственной частоты подсистемы инструмента. В случае автоколебательного движения формы колебаний подсистемы являются определенными для каждой собственной частоты. Но появление автоколебательного движения возможно лишь при определенных сочетаниях параметров процесса обработки и технологической системы.

Максимальное повышение точности размеров и форм обработанного отверстия и качества поверхности достигалось при определенных соотношениях собственных частот подсистемы инструмента и частот, возникающих в процессе резания. При этом собственные частоты крутильных и продольных колебаний подсистемы инструмента были кратны частоте стружкообразования, которая зависит в первую очередь от частоты вращения шпинделя. Собственные частоты изгибных колебаний подсистемы инструмента при этом находились в антирезонансных зонах по отношению к собственным частотам подсистемы заготовка – опоры. Для различных видов обработки (сверления, растачивания), размеров отверстий и длины заготовки, ее материалов, режимов резания данные частоты необходимо подстраивать с учетом указанных соотношений. Более удобным способом регулировки динамической настройки технологической системы является подстройка собственных частот подсистемы инструмента.

Для установления зависимостей между собственными частотами и конструктивными параметрами волноводного преобразователя, как постоянного элемента оснастки, проведен параметрический расчет волноводного преобразователя методом конечных элементов в программе ANSYS. Изменялись радиус развертки сквозного паза, от которого зависит минимальный вылет волноводного преобразователя, диаметр волноводного преобразователя, ширина паза, диаметр центрального отверстия, количество пазов. В результате модального анализа определялись собственные частоты и по соотношениям значений линейных и угловых смещений по трем координатам – форма колебаний.

Уравнение регрессии, полученное после обработки результатов эксперимента методом наименьших квадратов, для первой частоты изгибных колебаний

$$f_1(x_1, x_2) = -810.939 + 92.776 \cdot x_1 - 1.14 \cdot x_1 \cdot x_2 - 0.84 \cdot x_1^2 + 1.609 \cdot x_2^2,$$

где  $f_1$  – первая собственная частота колебаний волноводного преобразователя;  $x_1$  – радиус развертки, который определяет вылет волноводного преобразователя;  $x_2$  – диаметр волноводного преобразователя. Из всех исследуемых конструктивных параметров оставлены только те, для которых были значащие коэффициенты. По критерию Фишера степень влияния выбранных факторов существенна на величину выходного параметра. Коэффициент множественной корреляции  $R=0,801$ . Величины коэффициентов значимости всех факторов составили более 12,957 при t-критерии Стьюдента равного 1,721.

Аналогичные формулы были получены для высших собственных частот, которым соответствовали различные формы колебаний - изгибные, крутильные и продольные, а также комплексные.

Для расчета собственных частот подсистем станка необходимо учесть влияние приведенной массы и упругости заделки [4]. Упругие связи возникают в стыках контактирующих между собой сверла - волноводного преобразователя, волноводного преобразователя – пиноли, пиноли – корпуса задней бабки, задней бабки – направляющей станины. Характеристики перечисленных стыков различные. С учетом

данных, приведенных в [5], и результатов натуральных экспериментов были определены поправочные коэффициенты, которые позволяют корректировать данные расчетов по собственным частотам для идеализированной схемы закрепления, полученных методом конечных элементов.

Собственные частоты на станке определялись методом затухающих колебаний при импульсном воздействии на подсистему инструмента. Затухающие изгибные, продольные и крутильные колебания регистрировались токовихревыми бесконтактными датчиками BENTLY-NEVADA и через АЦП передавались на компьютер, где в программе Mathcad проводился спектральный анализ. Данная коррекция обусловлена тем, что на собственные частоты изгибных, продольных и крутильных колебаний влияют наличие сосредоточенной массы в виде инструмента (сверла, расточной головки, режущей пластины с механизмом ее фиксации) и упругость заделки, которая зависит от усилия затяжки при фиксации инструмента.

Полученные результаты позволяют для известных условий обработки задать необходимые конструктивные параметры волноводного преобразователя для обеспечения частотного согласования собственных частот подсистемы инструмента, заготовка - опоры и частот стружкообразования, возникающих при резании.

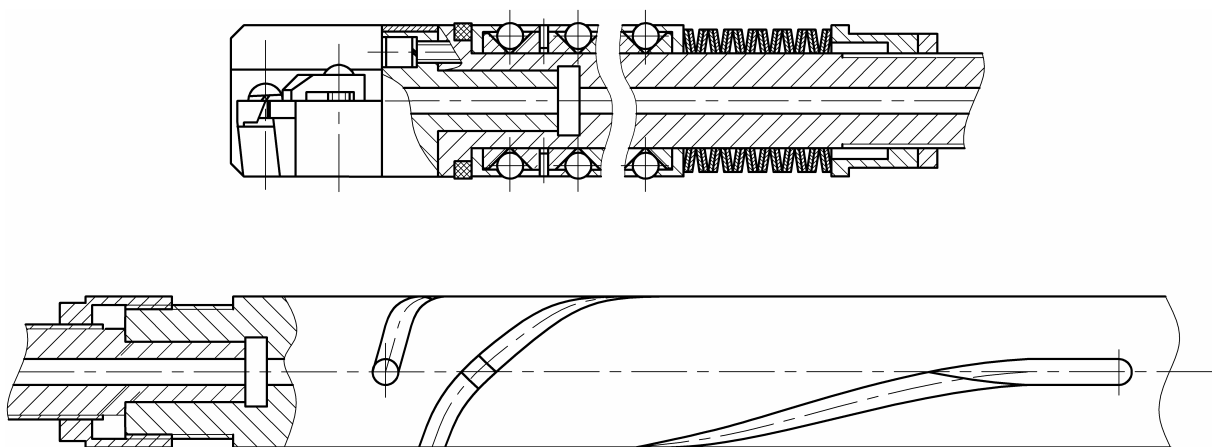


Рис.1 Расточная головка с волноводным преобразователем

#### Список литературы

1. А.с. 1024226 СССР, МПК В23В15/00. Устройство для обработки деталей. О.И. Драчев, М.Г. Дорошенко, О.И. Иванов - №3417961/25-08; заявл. 11.02.82; опубл. 23.06.83, Бюл. №23.
2. Пат. №2169058 РФ, МПК В23В29/03. Устройство для обработки глубоких отверстий/ Драчев О.И., Расторгуев Д.А., Бойченко О.В. - №99127545/02; заявл. 22.12.99; опубл. 20.06.01, бюл.№17.
3. Драчев О.И., Расторгуев Д.А., Салабаев Д.Е. Повышение эффективности вибрационной обработки глубоких отверстий//Металлообработка.- 2006. – №2. – с. 2 - 5.
4. Васин С.А. Прогнозирование виброустойчивости инструмента при точении и фрезеровании. Серия «Библиотека инструментальщика».- М: Машиностроение, 2006. – 384 с.
5. Левина З.М., Решетов Д.Н. Контактная жесткость машин. - М.: Машиностроение, 1971. – 164 с.