

УДК 621,9

О.И. Драчев¹, В.А. Тараненко²¹ТГУ, г. Тольятти, Россия e-mail doi05@mail.ru,²Севастополь, Россия, e-mail wtaran_ark@mail.ru

тел.: +7-978-78-89-705)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ВИБРАЦИОННОГО СВЕРЛЕНИЯ ГЛУБОКИХ ОТВЕРСТИЙ

В докладе для разработанных математических моделей динамических систем традиционного и вибрационного сверления глубоких отверстий приводятся результаты моделирования и выявлены общие закономерности зависимости спектра частот относительных крутильно-продольных и поперечных колебаний заготовки и инструмента в процессе резания от частоты вращения и вылета волноводного преобразователя.

Ключевые слова: математическая модель, сверления отверстий, спектра частот, процессе резания.

O. Drachev, V. Taranenko

MODELIROVANIE DYNAMIC SYSTEM VIBRATION DRILLING OF DEEP HOLES

Results of modeling for the developed mathematical models of dynamic systems of traditional and vibratory drilling deep holes are given in the report and also common patterns of dependence of the spectrum of frequencies relatively torsional-longitudinal and transverse vibrations of the work piece and the tool in the process of cutting from speed of rotation and departure waveguide converter are identified.

Key words: mathematical model, drilling holes, frequency spectrum, the process of cutting.

Для интенсификации сверления глубоких отверстий (повышения производительности, точности, качества обработанной поверхности) разработаны и апробированы различные способы и средства технологического воздействия на заготовку и инструмент, в том числе, и автоматического управления параметрами процесса сверления [1]. Другое направление базируется на использовании управляемых колебаний элементов технологической системы, как правило, инструмента. Некоторые исследователи [2] используют внешние источники колебательного движения, действие которых направлено, как правило, на повышение точности обработки, а частота колебаний инструмента достигает несколько тысяч герц. Другие методы вибрационного сверления [3] основаны на использовании энергии автоколебательных движений элементов замкнутой технологической системы и служат, в основном, для дробления стружки, а рабочие частоты находятся в пределах нескольких сотен герц.

Колебания в направлении резания в общем случае наиболее благоприятны для повышения точности и снижения шероховатости обработанной поверхности. Учитывая, что при сверлении поверхность резания представляет собой винтовую поверхность, вибрация инструмента в крутильном направлении приводит к повышенному износу инструмента по задней поверхности, которая будет периодически с частотой крутильных колебаний контактировать с поверхностью резания.

Если в качестве источника вибраций используются автоколебания инструмента в процессе резания, их частота и амплитуда либо не регулируется, либо изменяются при настройке оборудования за счет подбора упругого элемента заданной жесткости.

В основу конструкции головки с переменной жесткостью входит волноводный преобразователь в виде борштанги со сквозным винтовым пазом. Для регулировки

жесткости предлагается использовать принцип перемещения «сплошного сечения» [4] при изменении вылета сверла. Механизм вибрационной обработки достигается за счет применения в конструкции сверлильной головки резонатора комплексных колебаний волноводного преобразователя – (ВП) – упругого элемента, преобразующего энергию процесса резания в комплексные крутильно – продольные колебания режущего инструмента, характеризующиеся определенной частотой и амплитудой. Изменение его вылета – длины консольной части обеспечивает возможность регулировки амплитуд и частот вибраций инструмента при обработке в некоторых пределах и, следовательно, оптимизации процесса сверления по критерию точности, производительности, стойкости инструмента и т.д. В работе [5] разработаны математические модели динамических систем традиционного сверления и сверления с ВП.

С целью всестороннего исследования разработанных математических моделей были созданы компьютерные структурные модели двух вариантов ТС. Для их построения использовалась система автоматизированного проектирования (САПР) MATLAB R13 и, в частности, пакет прикладных программ для имитационного моделирования и анализа структурных схем объектов Simulink [5].

Модели исследовались методом частотного анализа. При помощи названных программных средств были построены амплитудно-фазовые частотные характеристики систем. На рис. 1 приведено сравнение теоретических АФЧХ технологической системы процесса сверления традиционным способом (1) и с применением ВП (2). Выходом модели является координата закручивания инструмента, а входом в данном случае – скорость резания.

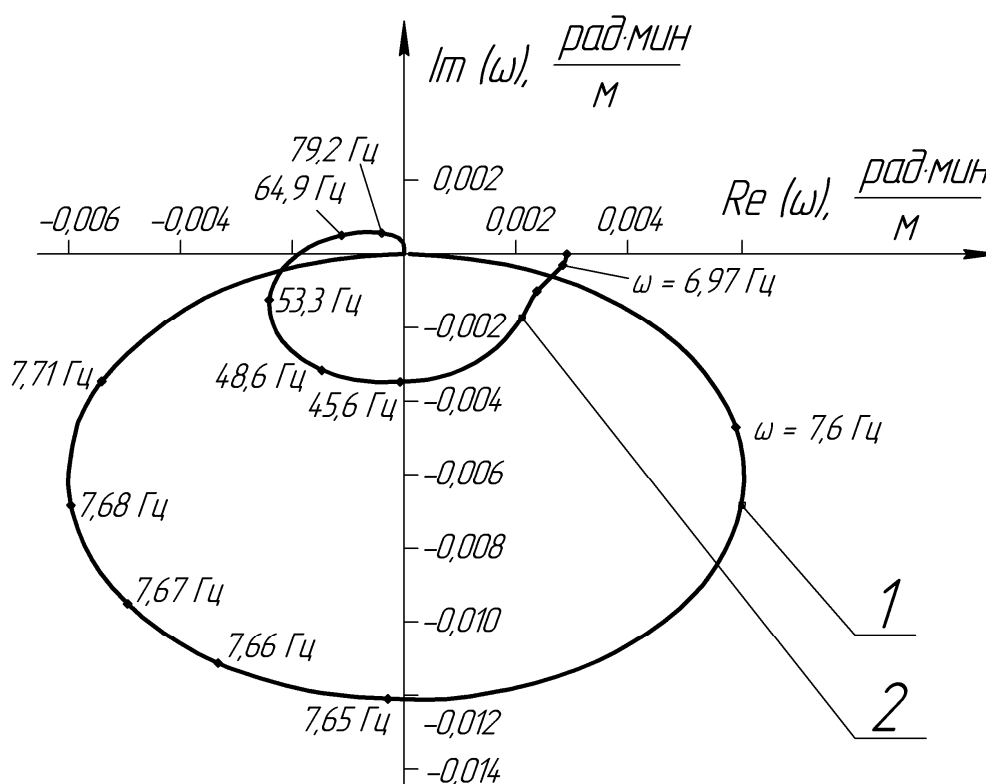


Рис. 1. АФЧХ моделей ТС (вход - скорость резания): 1 - традиционная обработка; 2 - обработка с ВП

Аналогично, на рис. 2. изображены АФЧХ закручивания ПИВ от изменения вылета пиноли задней бабки с инструментом (1) и от изменения вылета волноводного преобразователя (2).

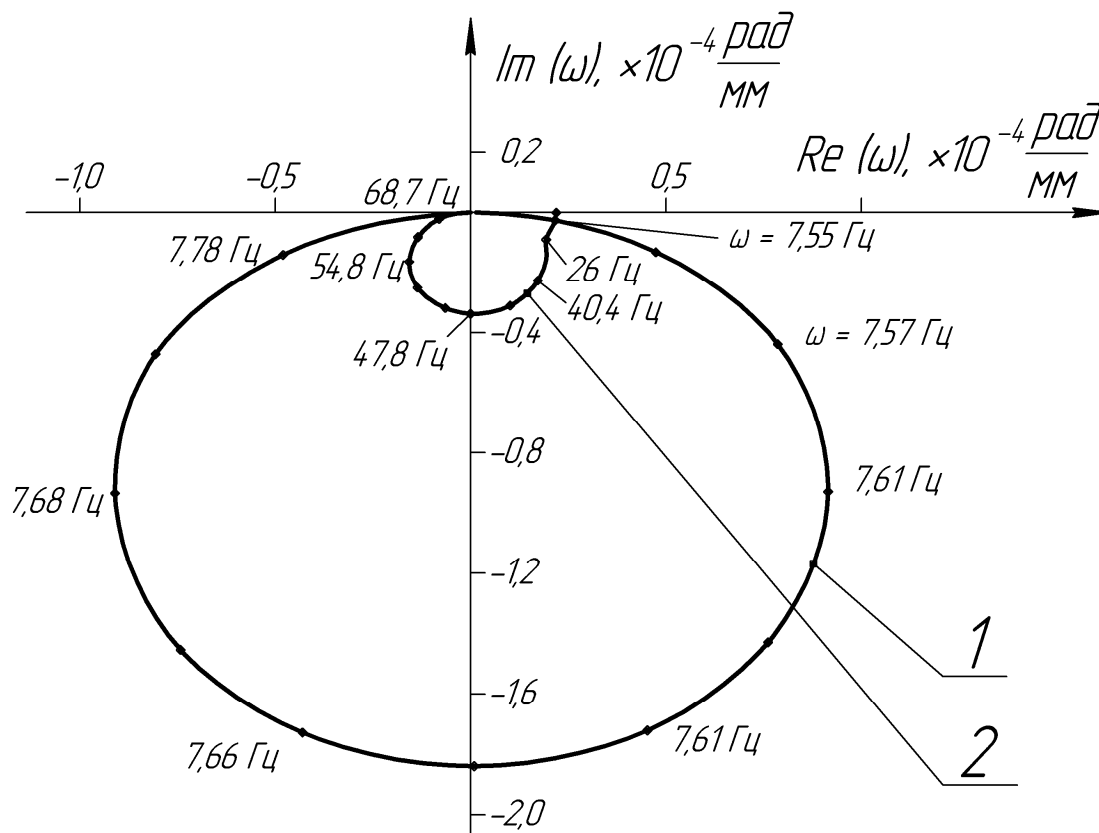


Рис. 2. АФЧХ моделей ТС (вход - вылет инструмента): 1 - традиционная обработка; 2 - обработка с ВП

Из анализа характеристик видно, что в базовом варианте (1) характерны низкочастотные крутильные колебания в узком диапазоне частот (7,55...7,8 Гц), в то время как крутильные колебания системы с ВП (2) характеризуются более широкой частотной областью - 20...60 Гц.

При обработке с волноводным преобразователем статические значения закручивания превышают соответствующие параметры базовой системы. Это объясняется наличием дополнительной составляющей закручивания от осевой силы, снижением жесткости подсистемы «инструмент-волновод» (ПИВ) при использовании ВП и различием зависимостей жесткостных параметров ПИВ от вылета в осевом $\Delta k_{u, баз}(l)$ и $\Delta k_{u, баз}(l)$; в крутильном направлении $\Delta c_{u, баз}(l)$ и $\Delta c_{u, баз}(l)$.

Максимальное по абсолютной величине закручивание подсистемы «инструмент-пиноль» при обоих входных параметрах наблюдается на АФЧХ, соответствующих ТС традиционной обработки (1). Амплитудные значения закручивания, ПИВ с ВП на АФЧХ «закручивание-скорость» меньше соответствующего параметра подсистемы «инструмент-пиноль» без ВП приблизительно в 3 раза, а на АФЧХ «закручивание-вылет» (рис. 2.) - в 5 раз.

Все рассматриваемые разомкнутые системы являются устойчивыми по критерию Найквиста, поскольку их АФЧХ не охватывают точку (-1, 0) на координатной плоскости.

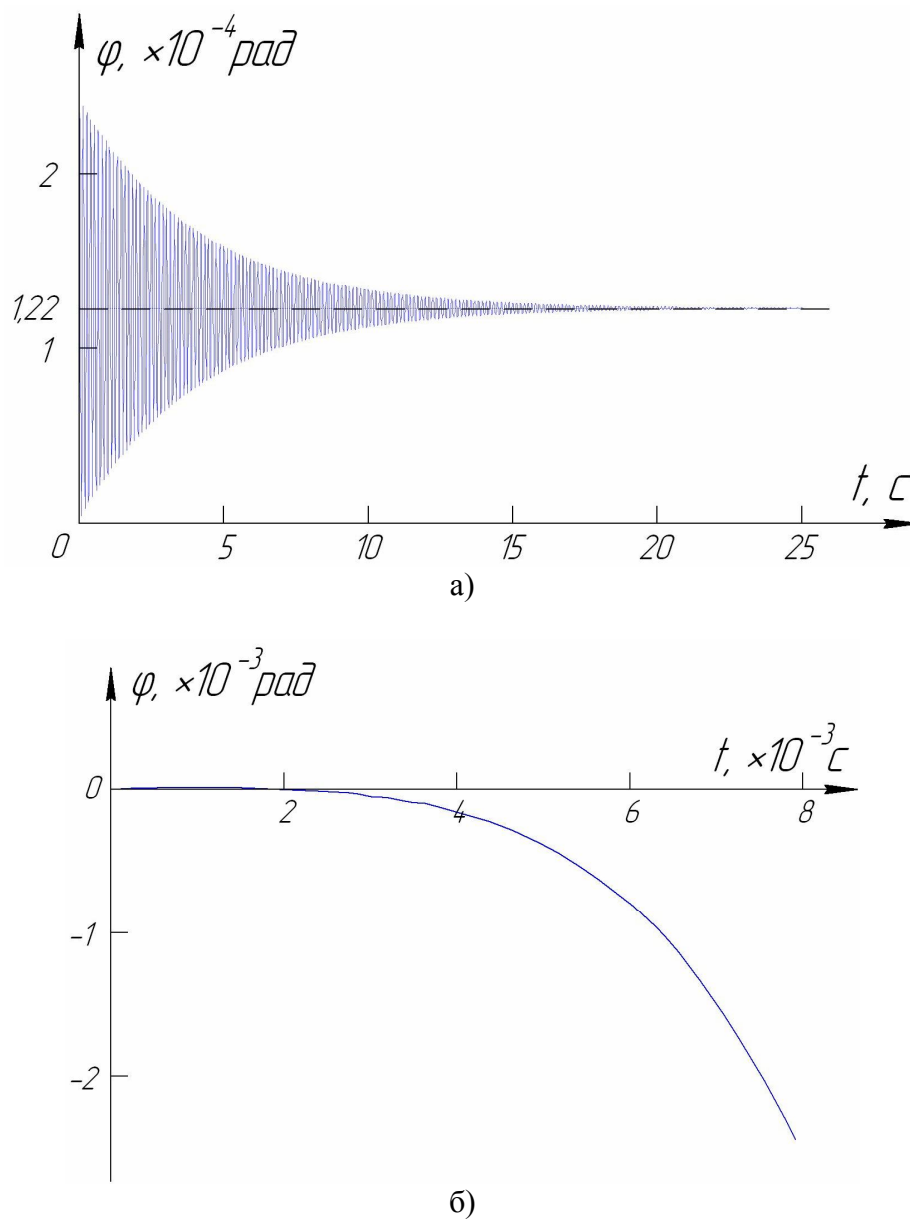


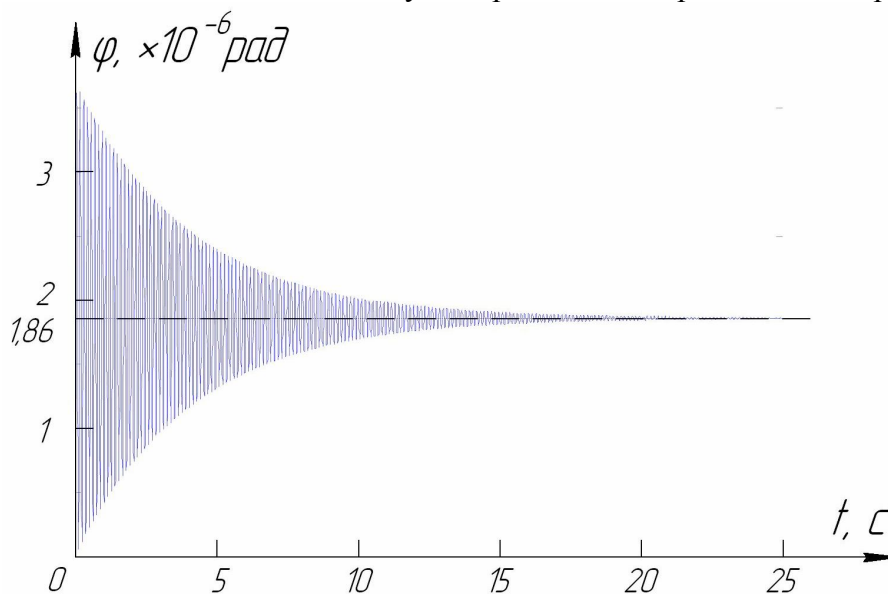
Рис. 3. Переходный процесс изменения закручивания при изменении скорости резания: а) ДС традиционного сверления, б) ДС сверления с ВП

Однако замкнутая система динамическая система (ДС) с использованием ВП, в отличие от ДС традиционного сверления, является неустойчивой по виду переходного процесса (рис. 3, б, 4, б). Из этого можно сделать вывод о том, что в ДС сверления с ВП возможно возникновение устойчивых крутильных автоколебаний, характеризующихся незатухающей амплитудой. Амплитуда колебаний в линеаризованной системе обращается с течением времени в бесконечность. Однако в реальной нелинейной системе амплитуда колебаний ограничивается рядом факторов, наступает момент времени, когда демпфирующие силы начинают превышать силы, возбуждающие колебания.

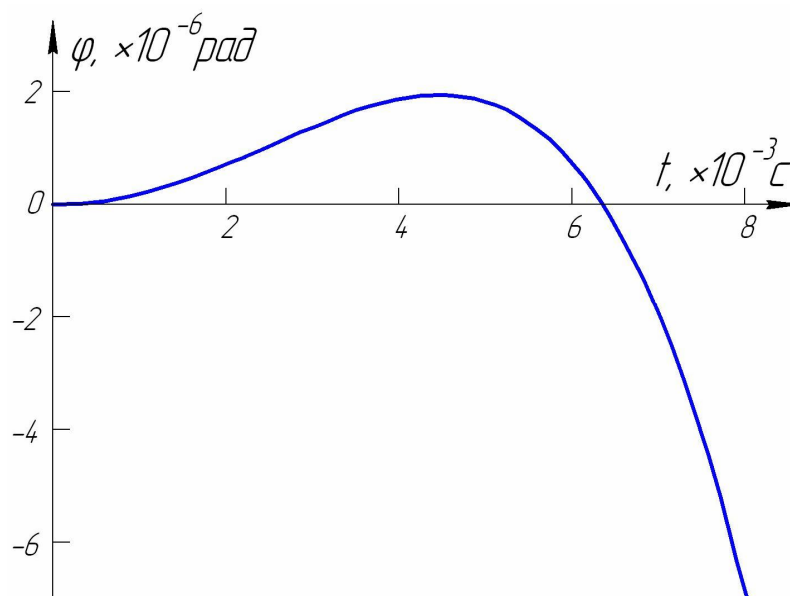
В ДС традиционного сверления возникновение таких колебаний невозможно, поскольку при изменении входного воздействия, приводящем к возникновению крутильных колебаний, система будет их демпфировать, как показано на рис. 3, а, 4, а.

При помощи анализа конечно-элементной модели системы доказана справедливость утверждения о наличии коэффициентов координатной связи крутильных и продольных смещений, имеющих в подсистеме инструмента при использовании в ней упругого элемента - волноводного преобразователя.

Разработана расчетная схема процесса сверления, рассматривающая движение элементов динамической системы в двух направлениях - продольном и крутильном.



а)



б)

Рис. 4. Переходный процесс изменения закручивания при изменении вылета инструмента: а) ДС традиционного сверления, б) ДС сверления с ВП

Построена математическая модель динамической системы традиционного сверления отверстий с учетом резания по следу и переменной жесткости подсистемы «инструмент-пиноль» при изменении вылета пиноли задней бабки.

Построена математическая модель динамической системы сверления отверстий с использованием волноводного преобразователя с учетом резания по следу, переменной жесткости ПИВ при изменении вылета ВП и координатной связи, имеющейся в подсистеме «инструмент-волновод».

Построены и исследованы методом частотного анализа структурные схемы двух вариантов технологической системы сверления. В ходе анализа моделей выявлено, что в реальной динамической системе сверления с волноводным преобразователем возможно возникновение автоколебаний с незатухающей амплитудой.

В динамической системе с волноводным преобразователем по сравнению с базовой ДС пик амплитуды угла закручивания уменьшается по значению в 3...5 раз, но становится шире в частотном диапазоне и смещается в высокочастотную область (с 6...7 Гц до 40...70 Гц).

При использовании волноводного преобразователя с переменным шагом паза в процессе резания возникают комплексные (крутильно-продольные) колебания инструмента.

Причиной поперечных относительных колебаний заготовки и инструмента, в основном, является отклонение расположения оси вращения детали и оси инструмента. Амплитуда поперечных колебаний снижается при наличии устойчивых крутильно-продольных колебаний вследствие обеспечения прерывистости процесса резания, снижения сил резания и демпфирования поперечных смещений.

Выявлены общие закономерности зависимости спектра частот относительных крутильно-продольных и поперечных колебаний заготовки и инструмента в процессе резания от частоты вращения и вылета волноводного преобразователя.

Список литературы:

1. Тараненко В.А., Левченко А.И. Управление процессом сверления глубоких отверстий малого диаметра. - Politechnika Opolska: Opole, 2003. - 128 с.
2. Подураев В.Р. Обработка резанием с вибрациями. М.: Машиностроение, 1970. - 239 с.
3. Кумабэ Д. Вибрационное резание: Пер с яп. С.Л. Масленникова / Под ред. И. И. Портнова, В. В. Белова – М.: Машиностроение, 1985. – 424 с.
4. Патент № 2169058. Устройство для обработки глубоких отверстий. Драчев О. И., Расторгуев Д. А., Бойченко О. В., 2001, Бюл. № 17.
5. Драчев О.И., Драчев А.О., Тараненко Г.В., Тараненко В.А. Повышение эффективности вибрационного сверления глубоких отверстий. _Старый Оскол: ТНТ, 2010. – 220 с.

Поступила в редколлегию 07.04.2015 г.