



Рис.1. Структурная компоновочно-кинематическая схема станка

ЛИТЕРАТУРА

1. Аверьянов О.И. Модульный принцип построения станков с ЧПУ. – М.: Машиностроение, 1987. – 232 с.
2. Врагов Ю.Д. Анализ компоновок металлорежущих станков. – М.: Машиностроение, 1978. – 208 с.
3. Данилов В.А. Формообразующая обработка сложных поверхностей резанием. – Мн.: Наука и техника, 1995. – 264 с.
4. Федотенок А.А. Кинематические связи в металлорежущих станках. – М.: Машгиз, 1960. – 297 с.

УДК 621. 95

Э. М. Дечко

АВТОКОЛЕБАНИЯ ШНЕКОВЫХ СВЕРЛ

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

Известны различные направления исследований и использования колебаний в процессах обработки материалов резанием. Одно из направлений касается устране-

ния вредных вибраций, снижающих стойкость инструментов и ухудшающих качественные характеристики обработанных поверхностей. В этих условиях используются различные методы гашения вибраций и повышение жесткости системы СПИД.

Второе направление связано с разработкой методов вибрационного резания, где в зоне низкочастотных колебаний обеспечивается стабильное дробление стружки без снижения стойкости инструмента, а при высокочастотных, более 18000-20000 Гц, колебаниях имеем качественное изменение самого процесса резания. При повышении виброустойчивости системы расширяются возможности применения твердосплавного инструмента.

Проблемы, связанные с вибрациями, их устранением или использованием весьма актуальны при сверлении глубоких отверстий, где сверло—наименее жесткое звено в системе СПИД. При этом необходимо решать комплекс проблем, связанных со стружкоотводом, точностными параметрами отверстий, подводом СОЖ в зону резания, производительностью процесса сверления и т.д.

Профессор В. Н. Подураев [1] отмечает возможность использования автоколебаний для управления процессом образования и дробления стружки. Это обеспечивается, например, подбором режимов резания и геометрии инструмента при данной упругой системе станок-деталь-инструмент. Дальнейшая рационализация и автоматизация этих операций связывается с применением специальных мощных вибраторов.

В нашей работе на основе обобщения закономерностей образования и отвода стружки в широком диапазоне изменения условий процесса глубокого сверления, анализа конструктивных и геометрических параметров инструментов сформулирован новый принцип интенсификации процесса резания при глубоком сверлении отверстий. Этот принцип включает сочетание низкочастотных автоколебаний режущих кромок по винтовой траектории и специальных параметров рабочей части спирального сверла. При этом для дробления и отвода стружки используется низкая по сравнению со стандартными жесткость сверла и разделение его рабочей части на режущую и транспортирующую—шнекового типа.

Реализация этого сочетания для интенсификации процесса глубокого сверления обеспечивается за счет принципов конструирования инструмента и непосредственно технологических параметров процесса. Одно из принципиальных отличий нашего направления работы связано с использованием для интенсификации процесса сверления сверл с пониженной жесткостью, работа которых сопровождается низкочастотными, до 300 Гц, автоколебаниями режущих кромок по винтовой линии.

Следует учитывать и другие особенности работы сверл — это, например, возникновение угловых деформаций и изменение длины сверла под действием продоль-

ных сил и крутящего момента. Сверло может рассматриваться как естественно закрученный, завитой, стержень, где имеем жесткость на кручение при скручивании; жесткость на кручение при сжатии; жесткость на сжатие при сжатии; жесткость на растяжение при кручении. В результате этих деформаций образуется характерный след на дне обработанного глухого отверстия.

Недостаточность данных по деформациям шнековых сверл и границ устойчивости процесса, где стружкодроблению способствуют низкочастотные колебания, требуют дальнейших исследований в этом направлении. Кроме того, практически не затронута область шнекового отвода стружки из зоны резания с учетом автоколебаний и периодического раскручивания спирали. Это также относится и к изменению геометрических параметров шнекового сверла во время сверления и к другим принципам интенсификации процесса. В целом исследований по использованию сверл с пониженной жесткостью для интенсификации процесса резания за последнее десятилетие практически не проводилось.

Анализ устойчивости процесса глубокого сверления для шнековых сверл проводился с использованием динамической одномассовой модели с одной степенью свободы. Эта модель позволяет при определенных допущениях рассчитать область устойчивости процесса сверления, где дроблению стружки наряду с особой формой заточки режущей части способствуют автоколебания.

Известны различные точки зрения на природу возникновения автоколебаний при резании металлов:

- нелинейность характеристики силы резания, где наблюдается «падающий участок» в зависимости сила резания — скорость резания;
- инерционность самого процесса резания, где наблюдается сдвиг фаз между колебаниями и изменением сил резания;
- изменение толщины среза и силы резания вследствие движения инструмента относительно заготовки по сложной замкнутой траектории, обусловленной наличием двух или более степеней свободы упругой системы (координатная связь);
- изменение условий трения, имеющего свою особенность при резании металлов;
- работа инструмента по волнистому следу;
- сочетание перечисленных точек зрения и др.[3].

Определяющими факторами, влияющими на процесс автоколебаний для шнековых сверл, наряду с отмеченными ранее, являются их особая форма, конструктивные

параметры и демпфирующие свойства [2-4]. Для анализа устойчивости работы сверл допускаются одномассовые модели [5].

В нашем случае использовано дифференциальное уравнение движения упругой системы, учитывающее силы инерции ($J\beta$), затухания ($\phi\beta$), упругости ($j\beta$) и возмущающие ($M_{кр}, P_0$). В общем виде уравнение имеет вид:

$$J\beta + \phi\beta + j\beta = M_{кр}$$

Уравнение динамической модели процесса резания для шнековых сверл представляет собой нелинейное дифференциальное уравнение вида:

$$(C_j \cdot d^{\alpha_j})\beta + (2\Delta)\beta + (kd^{\alpha_k})\beta - c'_M d^{1.6} (s + 1.6 \cdot 10^{-3} \beta d^{1.44})^{0.9} (v - \beta \frac{d}{2}) = 0$$

В исследованиях [2-4] описана работа шнекового сверла в условиях крутильных колебаний. Процесс резания сопровождается дополнительными движениями режущих кромок по винтовой линии; удлинением сверла в результате раскручивания спирали; переменными скоростью резания ($v' = v \pm \Delta v_p$) и подачей ($s = s_0 \pm \Delta s_0$) за счет колебаний режущих кромок и периодических удлинений сверла и, соответственно, изменяющимися силами резания. Это учтено в динамической модели для шнекового сверла.

Согласно [5] для анализа нелинейных систем при изменении параметров в небольших пределах и постоянных во времени можно использовать линейную аппроксимацию, применяя при этом критерий Рауса—Гурвица. В этом случае не рассматриваются все члены уравнения второй и более высоких степеней относительно перемещения и скорости. Условие устойчивости в пределах линеаризованного участка $h > H$, т. е. характеристики силы резания, ее крутизна меньше крутизны положительной силы сопротивления. Граница устойчивости системы $h = H$. При $h < H$ считается, что в системе возникают недопустимые автоколебания. Для расчета h имеем:

$$h = 2 \Delta \omega m,$$

где Δ - логарифмические декременты при кручении и изгибе, определялись экспериментально ($\Delta \varphi = 0,03$; $\Delta_x = 0,52$);

$$\omega = 2\pi f - \text{собственная частота (250—300 Гц)};$$

$$m = j/(2\pi f)^2 - \text{приведенная масса};$$

H_1 и H_2 — крутизна характеристики осевой силы и крутящего момента по скорости резания: $H_1 = dP/dv$; $H_2 = dM_{кр}/dv$.

Декремент затухания $\Delta = \lg A_i / A_{i+n} (1/n)$, A — амплитуды колебаний. Зависимость удлинения ΔL сверла при раскручивании спирали на угол β° под воздействием $M_{\text{кр}}$ и P_0 имеет вид: $\Delta L = 1,6 \cdot 10^{-3} \beta^\circ d^{1,44}$ [4]. При увеличении сил резания наблюдается уменьшение завитости сверла, его удлинение, изменение параметров режима резания, что приводит к образованию характерных следов на доньшках глухих отверстий [2]. Пример некоторых расчетов устойчивости системы представлен в табл.1.

Таблица 1

Расчет h и H при изменении скорости резания V

V	3,8	7,0	10,0	15,0	20,0	25,0	30,0
h	0,46	0,21	0,16	0,14	0,14	0,13	0,14
H	0,73	0,34	0,22	0,13	0,09	0,07	0,05

Из табл.1 следует, что устойчивый колебательный процесс наблюдается при скоростях резания более 15 м/мин. Как было установлено ранее [2,3], в диапазоне скоростей резания 2,7—40,2 м/мин с их увеличением от 2,7 до 10—15 м/мин осевая сила и крутящий момент соответственно уменьшаются в 1,3 и 1,6 раза и в дальнейшем остаются практически без изменений. Сам процесс глубокого сверления происходит при стабильном дроблении стружки.

Таким образом, из анализа динамической модели и закономерностей процесса резания при работе шнекового сверла следует, что одним из путей дальнейшей интенсификации процесса глубокого сверления является регулирование автоколебательного процесса путем изменения конструктивных параметров инструмента: сечений, угла наклона винтовой канавки, длины рабочей части, элементов, понижающих жесткость системы и др. Этому способствует возможность разделения рабочей части сверла на режущую и транспортирующую.

ЛИТЕРАТУРА

1. Подураев В. Н. Обработка резанием с вибрациями.- М. Машиностроение, 1970.-350с.
2. Дечко Э. М. Сверление глубоких отверстий в сталях.—Мн.: Высшая школа, 1979. — 232 с.
3. Дечко Э. М. Интенсификация процесса сверления глубоких отверстий в сталях. — Мн.: Ротапринт РМИПК, 1989. — 69 с.
4. Костюкович С. С., Дечко Э. М., Долгов В. И. Точность обработки глубоких отверстий. — Мн.: Высшая школа, 1978. — 144 с.
5. Мурашкин Л. С., Мурашкин С. Л. Прикладная нелинейная механика станков. — Л.: Машиностроение, 1977.—192 с.