

образованию, производству, экономике : материалы 16-й Международной научно-технической конференции. - Минск : БНТУ, 2018. - Т. 1. - С. 85.

УДК 621. 923

## ВИДЫ СОВРЕМЕННОГО ВЫСОКОСКОРОСТНОГО ШЛИФОВАНИЯ

Пенкина А.Д., Ломонос П.И.  
Белорусский национальный технический университет  
e-mail: Lucian\_n@bk.ru

**Summary.** Overview of modern methods of high-speed grinding, which are the basis of precise processing for parts made of hard-to-process materials.

Современное высокоскоростное шлифование делится на различные методы (рис. 1).



Рисунок 1 – Виды современного высокоскоростного шлифования

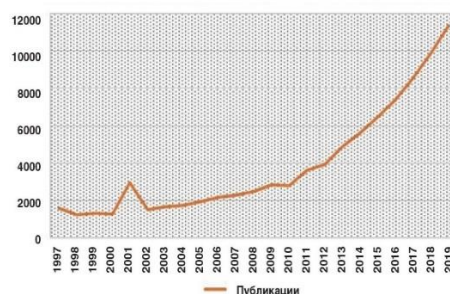


Рисунок 2 – Рост публикаций по высокоэффективным видам шлифования, в частности HPG и HEDG

Так согласно принятым стандартам скоростное шлифование достигается при скорости вращения круга 35–60 м/с, а высокоскоростное — свыше 60 м/с (High Speed Grinding — HSG). Хорошо известно, что повышение скорости без изменения подачи детали позволяет повысить стойкость шлифовального круга в 1,5...2,5 раза благодаря уменьшению средней толщины стружки и, следовательно, нагрузки на зерно и снизить шероховатость шлифованной поверхности Ra за счет уменьшения глубины врезания отдельных зерен при постоянном съеме металла. Исследования отечественных авторов в основном ограничивались значениями окружной скорости круга в пределах 60...80 м/с.

Следующий вид это ультраскоростное шлифование. Лабораторные испытания для которого проводились и проводятся при скоростях, достигающих 400 м/с. Ультраскоростное шлифование сейчас считается «революционным» процессом, который приведет к изменению всех, без исключения, аспектов, относящихся к шлифованию в частности и к производству вообще. Международная академия производственных технологий (CIRP) относит ультраскоростное шлифование к одному из главнейших направлений исследований в XXI веке.

По установленным зависимостям. Рост температуры можно видеть при повышении скорости шлифования до 100 м/с, а дальнейшее увеличение скорости круга приводит к снижению температуры. Установленная зависимость идентична для разных характеристик шлифовальных кругов. Поверхность детали не находится в тепловом равновесии. Тепловой импульс сначала распространяется по поверхности, прежде чем он проникает в заготовку. Нагретая поверхность облегчает удаление следующего элемента стружки и, таким образом,

уменьшает силы шлифования. Однако, прежде чем тепло может распространиться на поверхности, следующий элемент стружки удаляется, забирая тепло с собой. Критическая скорость круга, во время которой эти эффекты начинают проявляться, составляет около 100 м/с. Когда скорость круга превышает критическое значение, быстрое удаление стружки снижает температуру поверхности детали.

Последние 30 лет активно развивается новый вид шлифования — быстроходное шлифование (Speed-Stroke Grinding — SSG), позволяющее, с одной стороны, обрабатывать новые материалы, с другой, существенно повысить эффективность процесса при обработке традиционных сталей и сплавов. Процессом быстроходного шлифования предлагается называть процесс, характеризующийся высокой скоростью перемещения стола, до 200 м/мин при ускорении до 50 м/с<sup>2</sup>, глубине резания 0,001...1 мм и скорости круга 30...200 м/с. Фактически представленный процесс является комбинированным с HSG, поэтому некоторые исследователи сочетание видов шлифования SSG и HSG называют новым методом — высокоскоростным быстроходным шлифованием (High-SpeedStroke-Grinding — HSSG). При плоском быстроходном шлифовании составляющая силы резания  $P_y$  в диапазоне скоростей шлифования 30...120 м/с снижается с увеличением скорости стола при постоянном удельном съеме  $Q_{уд}$ . Наименьшие значения  $P_y$  достигаются при скорости шлифовального круга 120 м/с. Большинство исследователей обосновали преимущества быстроходного шлифования SSG, обратив особое внимание на тот факт, что в данном процессе формирование стружки начинается раньше, чем при традиционном шлифовании. Соответственно это приводит к увеличению толщины среза, соответственно по сравнению с традиционным шлифованием изменяется соотношение между пластической и упругой деформациями. Процесс стружкообразования облегчается. Трение в зоне зерно–материал снижается, что наряду со снижением времени контакта снижает энергетическую и тепловую напряженность процесса.

CFG-процесс—это хорошо известный в инженерной практике процесс глубинного шлифования, используемый, как правило, для врезного шлифования различных пазов, выемок и аналогичных профилей в аэрокосмическом и станкостроительном производстве. CFG-процесс имеет ряд неоспоримых преимуществ перед традиционным шлифованием.

В 1994 г. в Германии были проведены первые опыты комбинирования трех передовых технологий: управляемых компьютерами CNC станков-автоматов, боразоновых CNB-кругов и HEDG-технологий. Комбинированный процесс получил название Quick-Point Grinding (QPG) (точечное скоростное шлифование) и используется при круглом шлифовании валов и дисков.

При QPG ось круга повернута по отношению к оси вращения заготовки таким образом, что формируется малый, «точечный» контакт круга с заготовкой. В работах показано, что схема QPG весьма гибкая (за счет управления углами наклона круга и размерами площадки контакта «круг–заготовка»), производительная и позволяет добиться высокой стойкости круга при снижении стоимости операции. Группа «Фольксваген-Китай» обрабатывает распределительные валы автомобилей кругами CNB. Применяются многокруговые CNC-станки различных немецких фирм. Каждый кулачок обрабатывается отдельным кругом. Частота вращения шпинделя 4300...4500 об./мин, при этом стойкость кругов между правками составляет 3000 деталей.

В дальнейшем высокоскоростное шлифование будет еще активнее развиваться. Это хорошо видно из роста числа публикаций по высокоскоростному шлифованию (рис.2). Наиболее перспективным будет ультраскоростное шлифование, которое активно тестируется в лабораториях. Успешное внедрение новых методов обработки, требует рационально подобранных подсистем станка, шлифовального круга, системы СОЖ и технологии обработки.

## Литература

1. Ермолаев В. К. Современные шлифовальные станки: новые методы абразивной обработки // РИТМ машиностроения. 2017. № 10.
2. Ермолаев В. К. Высокоэффективное шлифование — новые технологии и оборудование // РИТМ машиностроения. 2020. № 4. С. 14–22.
3. Пилинский А. В. Инновационные методы и вызовы в скоростном и сверхскоростном шлифовании // Вектор науки ТГУ. 2015. № 2 (32–2).

УДК 080200

## STABILITY ANALYSES OF A DRILL STRING SYSTEM

Hongyuan Sun

Shenyang Institute of Technology

e-mail: 1359726105@qq.com

**Summary.** To avoid stick-slip vibration, one of the most important forms of self-excited vibrations in deep hole drilling, this paper studies the stability a drill system based on a two-degree-of-freedom discrete model. It is a state-dependent delay model that could describe the non-linear dynamic characteristic of drilling systems more accurately, compared with the traditional constant delay models.

**Keywords:** stick-slip vibration; self-excited vibration; state-dependent delay

### 1. Introduction

Delay differential equations often appear in various fields of science and engineering, such as control systems, lasers, neuroscience and cutting process dynamics. For cutting dynamics, the cutting effect of tools can cause vibrations in the cutting system, resulting in accelerated wear of tools and influencing the cutting process in machines (turning, milling and grinding), coal seam mining, geological prospecting and oil drilling.

In this paper, a two-degree-of-freedom model considering axial and torsional vibration was established, and the linear stability and the characteristics of Hopf bifurcation of the drilling system were studied by using the method of multiple scales.

### 2. Dynamic Model of Drilling System

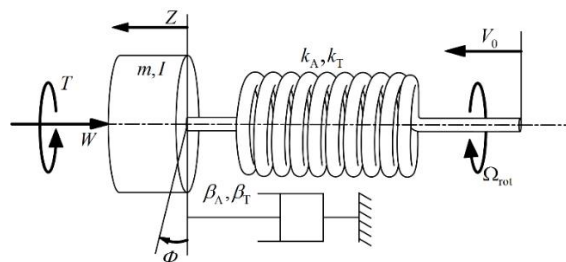


Figure 1. Dynamic model of the drill string system.

The dynamic equations of the drill string system for the SDD model and CD model can be written as:

$$m\ddot{z}(t) + \beta_A \dot{z}(t) + k_A z(t) = -\zeta saN \left[ z(t) - z_\tau - \frac{V_0}{\Omega_{rot}} (\phi(t) - \phi_\tau) \right] \quad (1)$$