

## ЛИТЕРАТУРА

1. Синопальников В.А., Григорьев С.Н. Надежность и диагностика технологических систем. Учебник. — М.: ИЦ МГТУ «СТАНКИН», Янус-К, 2003. — 331 с.
2. Синопальников В.А., Еременко И.В. Диагностика процесса резания и инструмента. — М., 1991. — 127 с.
3. Гурин В.Д., Синопальников В.А. Методика расчета силовых параметров для диагностирования концевых фрез // Производство. Технология. Экология: Тр. международной научно-практической конф. Т.3. — М.: МГТУ «СТАНКИН», 2001. — С. 741–743.
4. Алепин С.В., Гурин В.Д., Геранюшкин А.В. Диагностика состояния концевых фрез при обработке резанием титановых сплавов // Производство. Технология. Экология: Сборник трудов конференции. — М.: МГТУ «СТАНКИН», 2003. — С. 403–407.
5. Геранюшкин А.В. Диагностика состояния концевых фрез при обработке титановых сплавов // Ресурсосберегающие технологии в машиностроении. Материалы III Всероссийской научно-практической конференции 2003 г. — Алтайский гос. техн. ун-т, БТИ. Бийск, 2003. — С. 15–19.

УДК 621.941

В.А. Данилов, Р.А. Киселев

### **ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ПРОЦЕССА ОБРАБОТКИ ПАЗОВ НА ТОРЦАХ ДЕТАЛЕЙ ПО СХЕМЕ С НЕПРЕРЫВНЫМ ДЕЛЕНИЕМ**

*Полоцкий государственный университет  
Новополоцк, Беларусь*

Обработка пазов на торцах деталей типа индукторов антиблокировочной системы (АБС) автомобилей обычно производится дисковыми фрезами по методу прерывистого деления на универсальных фрезерных станках, оснащенных делительными головками. Более эффективной по точности и производительности обработки, а так же степени автоматизации данной операции является схема формообразования пазов по методу непрерывного деления с помощью резовых головок или специальных режущих инструментов, в частности, секторного типа [1]. Такой инструмент за каждый оборот позволяет формировать один паз, что обеспечивает высокую производительность процесса обработки.

В статье рассматривается схема формообразования прерывистых поверхностей в виде пазов на торцах деталей, по которой инструменту 2 и заготовке 1 сообщают согласованные вращательные движения вокруг скрещивающихся под прямым углом осей (рис. 1) [2]. За счет параметров  $L$  и  $\lambda$  установки инструмента обеспечивается требуемая ориентация пазов. Он выполнен в виде резового сектора, режущие зубья которого спрофилированы по форме паза или имеют меньшую ширину и расположены в определенном угловом секторе. Инструмент установлен эксцентрично относительно оси вращения, благодаря чему обеспечивается плавное возрастание подачи на зуб при врезании и ее уменьшение при окончании обработки паза.

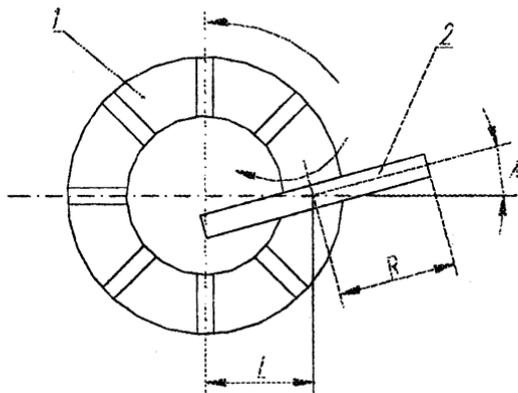


Рис. 1. Кинематическая схема обработки пазов

Данная схема формообразования может быть реализована на широко-универсальных зубошлифозерных станках для расширения их технологических возможностей или на специальном оборудовании. Из экономических соображений зачастую целесообразно применение универсальных станков. Однако это требует проведения теоретических и экспериментальных исследований для обеспечения динамической устойчивости процесса обработки пазов, который по динамическим характеристикам отличается от типовых процессов обработки на зубошлифозерных станках. Это обстоятельство может отрицательно влиять на основные показатели динамического качества станка: запас и степень устойчивости, чувствительность к внешним воздействиям, быстрдействие (время затухания переходных процессов) и др. [3].

В этой связи при использовании универсальных станков практически важно применять благоприятный по динамике метод обработки, а также обес-

печить возможность управления ею за счет параметров схемы резания и инструмента с исключением необходимости изменения конструкции станка.

Теоретический анализ динамики процесса резания при обработке пазов дан в [2]. Данная работа посвящена её практической реализации.

Для уменьшения динамических нагрузок и крутильных колебаний в приводе известны следующие пути [4], которые реализованы в новой технологии формообразования пазов на торцах деталей:

1. Отстройка от резонанса, т.е. выполнение за счет режимов резания условия

$$f_c \gg f_v \quad \text{или} \quad f_c \ll f_v, \quad (1)$$

где  $f_v$  — частота врезания режущих зубьев инструмента;  $f_c$  — собственная частота системы привода, исполнительных органов станка;

$$f_c = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{J_1 + J_2}{J_1 J_2 e}}; \quad (2)$$

где  $J_1$  — момент инерции шпинделя с заготовкой;  $J_2$  — момент инерции инструмента;  $e$  — податливость упругой связи динамической системы привода.

Из (2) следует, что выполнение условия (1) технически просто может быть обеспечено без изменения конструкции узлов станка за счет параметров инструмента, определяющих его момент инерции.

2. Увеличение демпфирования привода, т.е. уменьшение коэффициента резонансного усиления, амплитуды и ускорения затухания колебаний при врезании и выходе инструмента, что обычно обеспечивается введением упругого элемента. В рассматриваемом случае это неприемлемо из-за необходимости обеспечения постоянного передаточного отношения между заготовкой и инструментом. Поэтому задача уменьшения амплитуды колебаний должна решаться путем плавного изменения нагрузки благодаря рациональному распределению срезаемого припуска между режущими зубьями инструмента. Это достигается при обработке секторным инструментом за счет его эксцентричной установки.

3. Выполнение условия замкнутости кинематической цепи:

$$\frac{M_1}{nf_c J_1} (1 - 2.1 \cdot \eta) \sqrt{1 - \frac{\left(\frac{M_{TP} + M_0}{M_1}\right)^2}{(1 - 2.1 \cdot \eta)^2}} \leq 0,65, \quad (3)$$

где  $M_0$  — постоянная составляющая крутящего момента;  $M_1$  — амплитуда переменной части крутящего момента, имеющей вид импульсов с крутым задним фронтом;  $M_{TP}$  — момент сил трения, действующих на шпиндель;  $n$  — частота вращения шпинделя;  $\eta$  — относительное демпфирование динамической системы привода.

Если в (3) параметры, определяемые станком, рассматривать как постоянные, на которые нельзя воздействовать не изменяя его конструкцию, то имеем

$$\frac{M_1}{nf_c} C_1 \sqrt{1 - \frac{\left(\frac{M_{TP} + M_0}{M_1}\right)^2}{C_2}} \leq 0,65, \quad (4)$$

где  $C_1$  и  $C_2$  — постоянные величины.

Из (4) следует, что управление динамикой процесса обработки по рассматриваемому критерию достигается за счет частоты вращения шпинделя.

Рассмотренные пути обеспечения динамической устойчивости процесса обработки пазов на торцах детали применены при создании инструментального оснащения (резцовых головок и режущих инструментов секторного типа) станков моделей ВС 50-9601 и ВС 30П-9253 производства Витебского станкостроительного завода «Вистан», а также реализованы при обработке на этих станках технологии нарезания плоского зубчатого контура индукторов системы АБС автомобилей.

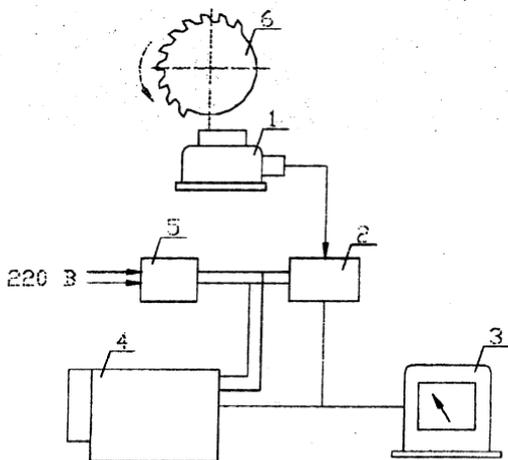


Рис. 2. Блок-схема комплекта аппаратуры для измерения сил резания

Для сравнительной оценки динамики процессов обработки пазов указанными инструментами и выбора из них рационального были проведены экспериментальные исследования. Использовался комплект аппаратуры для измерения сил резания, включающий (рис. 2) универсальный динамометр УДМ-1200 (1), тензометрический усилитель ТА-5 (2), светолучевой осциллограф Н-115 (4), блок измерительных стрелочных приборов (3), стабилизатор напряжения (5). Обработка осуществлялась инструментом (6) — секторным и резцовой головкой с одинаковыми параметрами режущих зубьев.

Исследования проведены на горизонтально-фрезерном станке модели 6Р81 резцовой головкой радиуса 80.5 мм и секторным инструментом такого же радиуса с расположением режущих зубьев на угле  $180^\circ$ . Количество режущих зубьев — 14. Экспериментальный комплекс для проведения исследований показан на рис. 3.



*Рис. 3. Общий вид экспериментальной установки для исследования процесса обработки пазов*

Пазы глубиной 3 мм и шириной 2 мм обрабатывались на заготовке с шириной венца 19.5 мм из материала АЛЗ обоими типами инструментов при частоте вращения  $100 \text{ мин}^{-1}$ , что соответствует скорости резания  $V = 50.55 \text{ м/мин}$  и с подачей на зуб — 0.2 мм.

На рис. 4, а показано изменение главной составляющей сил резания при обработке резцовой головкой, а на рис. 4, б — эксцентрично установленным секторным инструментом. Глубина резания, приходящаяся на режущий зуб, в обоих случаях одинакова.

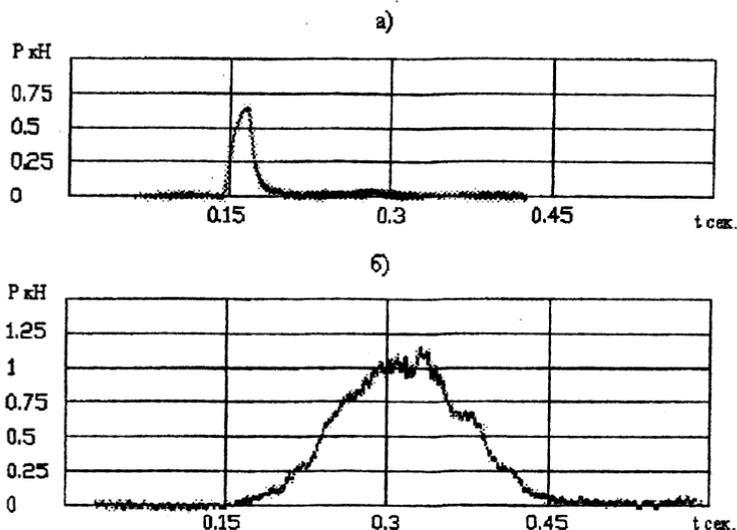


Рис. 4. Изменение главной составляющей силы резания при обработке пазов:  
а — резцовой головкой; б — секторным инструментом

Малое время контакта инструмента с заготовкой (0.06 сек при обработке резцовой головкой и 0.5 сек при обработке секторным инструментом) указывает на сходство характера изменения силы резания во времени с ударным действием.

Импульс  $S$ , сообщаемый ударяемому телу (заготовке), выражается зависимостью

$$S = \int_0^{\tau} P(t) dt \quad (5)$$

и равен площади фигуры, очерченной кривой  $P(t)$ , (см. рис. 4).

На основании полученных осциллограмм установлены величины импульсов для главной составляющей силы резания по каждому типу инструмента:

— при обработке резцовой головкой импульс  $S_1$ , создаваемый одним режущим зубом,  $S_1 = 0,0217$  кН·сек;

— для инструмента секторного типа импульс  $S_2$ , создаваемый за одного оборот,  $S_2 = 0,171$  кН·сек.

Следует отметить, что для формирования одинаковых по глубине пазов, в первом случае необходимо сообщить инструменту в 15 раз больше импульсов, что обусловлено подачей на зуб, равной 0.2 мм. Следовательно, приведенная величина импульса  $S_1'$  в первом случае составит  $S_1' = 0,304$  кН·сек.

Из сопоставления полученных результатов следует, что импульс  $S$ , необходимый для формирования паза секторным инструментом, в 1.78 раза меньше, чем суммарное количество импульсов, затрачиваемое на формирование такого же паза резцовой головкой. Этим, а также более длительным временем контакта инструмента с заготовкой можно объяснить отсутствие заметных динамических ударов при обработке в производственных условиях секторным инструментом на станках моделей ВС 50-9601 и ВС 30П-9253 пазов индукторов АБС автомобилей, высокую его стойкость, отсутствие выкрашивания режущих зубьев, имеющего место при обработке резцовыми головками.

Результаты исследований и произведенного опыта свидетельствуют о динамической устойчивости процесса обработки пазов на универсальных зубошлицефрезерных станках новым типом режущего инструмента. При этом рациональные схемы срезания припуска и его распределения между режущими зубьями секторного инструмента позволяют существенно уменьшить динамические нагрузки и крутильные колебания в приводе главного движения, снизить энергетические затраты и увеличить срок службы инструмента по сравнению с обработкой пазов резцовыми головками.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Патент 553 ВУ. МПК<sup>7</sup> В23С3/28. Инструмент для обработки пазов на торцах деталей /Данилов В.А., Киселев Р.А. (ВУ). — № 20010263; Заявл. 2001.11.06; Оpubл. 2002.06.03. 2. Данилов В.А., Киселев Р.А. Оценка динамики процессов обработки прерывистых поверхностей по схеме с непрерывным делением // Наука и технологии на рубеже XXI века: Материалы Международной научно-технической конференции / Под ред. И.П. Филонова, Е.П. Сапелкина, Г.Я.Беляева — Мн.: УП «Технопринт», 2000. — С. 98–103. 3. Кудинов В.А. Динамика станков. — М.: Машиностроение, 1967. — 360 с. 4. Детали и механизмы металлорежущих станков. Т. 2. / Под ред. Д.Н. Решетова — М.: Машиностроение, 1972. — 520 с.