

СИНУСОЭКЦЕНТРИКОВЫЕ ПЕРЕДАЧИ. РЕКОМЕНДАЦИИ К ИЗГОТОВЛЕНИЮ

Р. М. Игнатищев – засл. деятель науки Республики Беларусь, д-р техн. наук, проф.

1. Рекомендации к нарезанию канавок

Нет проблем нарезать их одиночными концевыми фрезами (и под цевки, и под шарики) на ряде моделей станков с ЧПУ. Для опытных изделий этого достаточно, но для серийного производства следует думать и о снижении трудоёмкости. Это можно делать. Иллюстрирую на примере канавок для *sinЭЦ* миниредукторов (с диаметрами: габаритные - 20-50 мм; для иглонок 1-2 мм), нарезаемых на четырёх координатных вертикально-фрезерных станках, например модели VM133-20, выпускаемых Гомельским станкостроительным заводом.

Почему для иллюстрации взяты «миниредукторы»? - Они выгодны пренебрежимо малыми затратными рисками на создание промышленных образцов, т.е. выгодны минимизацией сопротивления всегда имеющихся скептиков.

Вид устройства для нарезания *sin*канавок представлен на рис.1: ***a*** – главный вид; ***б*** – вид сверху на отдельно взятый резец и режущие его кромки; ***в*** - изображения и обозначения, поясняющие требуемую принудительную кинематику многорезцовой фрезы. 1 – хвостовик фрезы с резцами 2; закреплён в патроне поворотной части стола. Резцы 2 – это выступающие из хвостовика 1 концы впрессованных в его отверстия кусков термообработанной проволоки - игл. Режущие кромки резцов образуют путём формирования на их торцах двух-трёх (или более) цилиндрических впадин – см. ***б***; при этом, вершины образуются с линиями скатов, начинающимися на режущих кромках и заканчивающимися на дне впадин (т.е. у режущих участков инструмента оказываются сформированными задние углы; величиной примерно $10...20^{\circ}$); формируют их надфилями (армированными алмазным порошком), либо проволокой с использованием электроискрового метода. Длины резцов целесообразно, по соображениям изгибной прочности и жёсткости, принимать расположенными в интервале 1,5-2,0 их диаметра. 3 – заготовка; закреплена в заторможенном шпинделе станка (на ***a*** состояние заторможенности отражено традиционными условными изображениями - 4). Требуемую принудительную кинематику фрезы 1-2 обеспечивают соответствующей управляющей программой, в которой функции ***X***, ***Y***, ***γ*** и ***ξ*** выражают через аргумент ***Γ***. При этом: ***O*** - проекция оси шпинделя на горизонтальную плоскость; ***XOY*** - неподвижная система отсчёта (связана с заготовкой 3); ***R*** - радиус окружности расположения точек пересечения осей резцов с горизонтальной плоскостью, ***B*** - её центр; у этой окружности радиус равен радиусу окружности кругосинусоида (относительно которой расположена волнами кругосинусоида; ***X'BY'*** - система отсчёта, поступательно перемещающаяся относительно ***XOY***, с началом во времени совпадающим с точкой ***B***; **$\vec{r} = OB$** - радиус-вектор, определяющий положение системы ***X'BY'*** относительно ***XOY***; его модуль равен амплитуде кругосинусоида; ***Γ*** - полярный угол, определяющий положение **\vec{r}** относительно оси ***X***. **γ_i** и **γ_{i+1}** - углы, определяющие положения ***i***-того и ***(i+1)***-го резцов относительно оси ***X'***. **μ** - угловой шаг резцов; они, в количестве ***S***, равномерно распределены по окружности, т.е. **μ** – это приращение угловой координаты **γ** при переходе от ***i***-того резца к соседнему - ***(i+1)***-му. При составлении управляющей программы можно руководствоваться следующими соотношениями и действиями:

приводят фрезу в соприкосновение с заготовкой; считают, что в этом положении системы $\Gamma=0$ и $\gamma=0$ (т.е. B считают расположенным на оси X , чему соответствует $X_B=r$, $Y_B=0$), принимают также $\xi=0$;

руководствуясь возможностями станка и накопленным опытом, для аргумента Γ принимают шаг его наращивания ($\Delta\Gamma$); быстроту наращивания аргумента в начале инновационного процесса целесообразно принимать небольшой - считать угловую скорость Ω радиус-вектора \vec{r} постоянной и расположенной в интервале 1-10 об/мин;

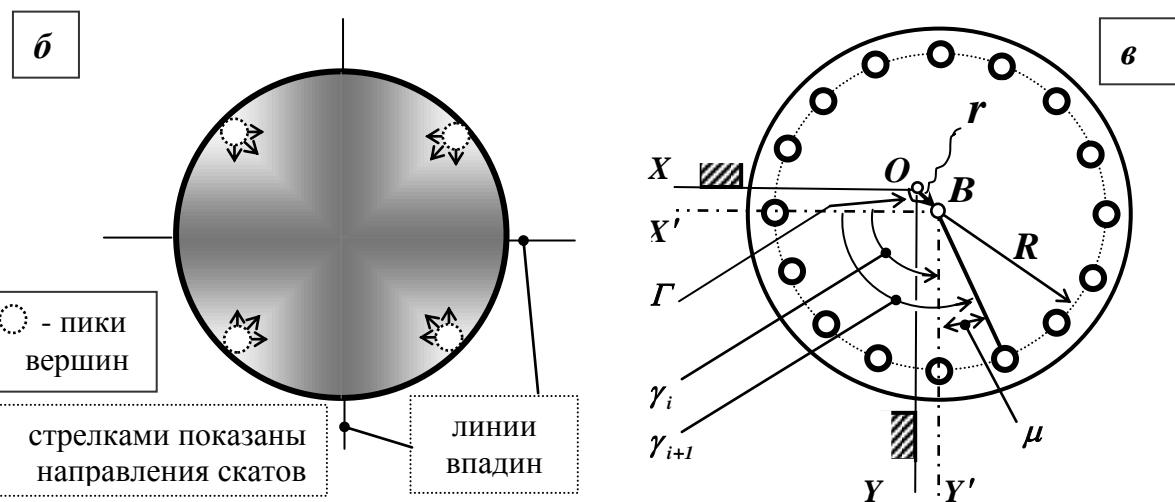
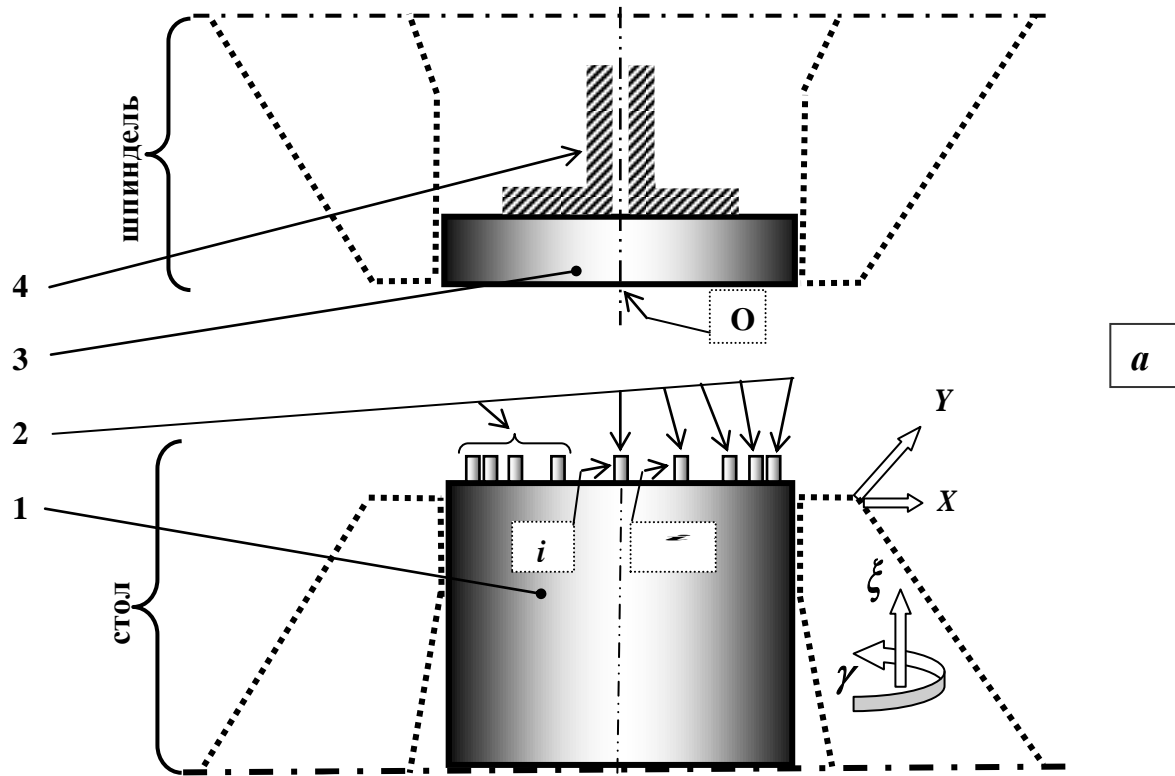


Рис.1. Главный вид устройства для нарезания кругосинусоидных канавок под иголки малого диаметра (0,5 ...5 мм)

т.к. $X_B = r \cdot \cos \Gamma$, $Y_B = r \cdot \sin \Gamma$, то ΔX_B и ΔY_B определяют из соотношений

$$\Delta X_B = \Delta \Gamma \cdot (-r \cdot \sin \Gamma), \quad \Delta Y_B = \Delta \Gamma \cdot (r \cdot \cos \Gamma);$$

приращения для второго полярного угла γ определяют, пользуясь связью

$$\Gamma = \gamma \cdot (\pm S) \Rightarrow \Delta \gamma = \frac{\Delta \Gamma}{\pm S}; \quad \langle + \rangle \text{ принимают при нарезании эпициклоидных}$$

канавок (когда используют соотношение « $S = Z + I$ »); « $-$ » принимают при нарезании гипоциклоидных канавок (когда используют соотношение « $S = Z - I$ »);

если ψ - максимальные толщины снимаемых резцами стружек, то на начальной стадии экспериментальной отработки техпроцесса, при количестве резцов от 10 до 20 и их диаметрах до 5 мм, для ψ можно принимать значения, расположенные в интервале

$$0,02-0,10 \text{ мм; это значит принимать } \Delta \xi = \frac{\psi}{2 \cdot \pi} \cdot \Delta \Gamma;$$

если H - требуемая глубина производимой канавки, то необходимый для её получения, визуально просто отслеживаемый, угол поворота фрезы (в радианах) определяется по формуле

$$\gamma_{\text{полн}} = \gamma_{\text{резания}} + \gamma_{\text{зачистка}} = \frac{2 \cdot \pi}{\psi} \cdot H + \frac{2 \cdot \pi}{S} \cdot 1,2;$$

$\gamma_{\text{зачистка}}$ - угол поворота фрезы, обеспечивающий выглаживание дна канавки; выполняется при $\xi = \text{const}$; при идеализированном подходе $\gamma_{\text{зачистка}} = \frac{2 \cdot \pi}{S}$; 1,2 - коэффициент запаса.

Одновременное многорезцовое нарезание канавки можно осуществлять, поменяв фрезу и заготовку местами – первую закрепив в шпинделе станка, вторую - в патроне поворотного стола. Для нарезания канавок под большие (чем 5 мм: под 10, 20, 30, 40 и т.д. мм) диаметры промежуточных тел (цевок, шариков и т.д.) вместо фрез по рис.1 можно использовать известные сверлильные головки с круговым расположением закрепляемых в них концевых фрез (в количестве S).

2. Фрезы под шарики

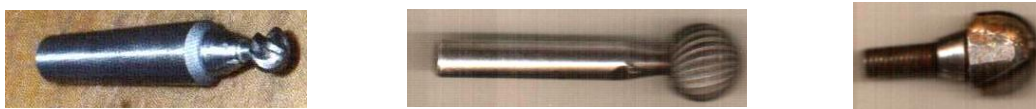


Рис.2. Виды некоторых из фрез, использовавшихся при нарезании канавок под шарики

Пользуясь случаем, автор с глубоким удовлетворением выражает признательность инженеру А.И.Крезу за большой накопленный опыт конструирования и изготовления фрез, за отработку технологии нарезания ими канавок (нарезается канавка за три прохода фрезы; третий проход – «зачистка»=чистовое фрезерование).

3. О рабочих поверхностях канавок

Инновационный процесс можно начинать с использования для колец с кругосинусоидными канавками наиболее распространённых закаливаемых сталей типа 40X, 40XH: чистое фрезерование – пакетная закалка (в заневоленном состоянии -

примерно в полуметровой стяжке одинаковых пар колец; в парах канавки (противостоят друг другу) с режимом термообработки, обеспечивающим твёрдости поверхностей на 5-10 единиц HRC меньшими твёрдостей поверхностей шариков (или иголок).

Шлифовать не надо – рабочие шарики (или иголки) сами выглаживают рабочие поверхности канавок (и смотрятся они после этого не хуже шлифованных).

4. Возможная технологическая схема изготовления водил

В шариковом варианте представлена на рис.3. Понятно, что такая же схема может использоваться и для цевочного варианта. 1 - кондуктор-калибратор - через его точно изготовленные отверстия и взаимное положение вдавливают технологические шарики в начерно произведенные гнёзда под рабочие шарики (разницу в диаметрах технологических и рабочих шариков можно принимать равной 0,01 мм). Заготовку несложно производить способом стального литья. δ - толщина калибратора – с достаточно высокой точностью обеспечивает проектную глубину посадки шариков в их гнёздах.

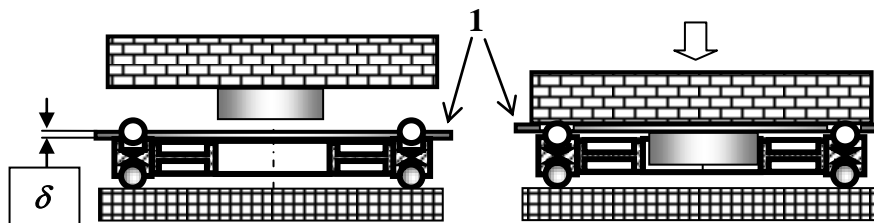


Рис.3. Возможный способ обеспечения высокой точности взаимного положения шариков и отверстия под подшипник

5. Шарики, смазки

Наш опыт обязывает не рекомендовать применять шарики из наиболее распространённой стали ШХ 15 – они иногда являются причиной отказов, из-за раскалываний (видимо потому, что в СЭП работают не только на сжатие, но и на срез). Надёжно работают шарики из сталей типа 5СМ5ФА (поставляются подшипниковыми заводами, в виде свободных деталей, в частности Минским ГПЗ).

С целью сведения до минимума зазоров в зацеплениях целесообразно использовать известный метод селективной сборки. Поясняю.

Методы сортировки изготавливаемых шариков по диаметрам без сложностей позволяют подшипниковым заводам поставлять наборы шариков, мало отличающиеся друг от друга диаметрами, т.е. ГПЗ без сложностей могут поставлять, к примеру, не только упаковку шариков диаметром 15,875 мм, но и N других упаковок – с шариками диаметрами, к примеру: первая упаковка - 15,78; вторая - 15,82; третья - 15,88 15,98; 16,00; 16,02 и т.д. Но разбежки по диаметру в рамках каждой упаковки не должны превышать 0,005 мм, т.е. широкий диапазон различных средних диаметров шариков позволяет зацепления делать плотными, а малые разбежки диаметров в упаковках гарантируют одинаковые нагрузки на шарики.

Аналогичен подход и к цевкам-иголкам.

Для *sinЭЦ* и *sinЭШ* следует применять гипоидные смазки – ТАД 17и; ТС-гип; ТСП-14гип; молибденосульфидную смазку-пасту типа 8012 и т.д.