

# ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ОБРАБОТКИ РЕГУЛЯРНЫХ УГЛОВЫХ ПАЗОВ

А. В. Сакович

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель М. И. Михайлов

Исследованием точности обработки регулярных угловых пазов занимались в НТУ (Украина) О. А. Пермяков, О. О. Ключко и Ю. А. Сеница, в докладе которых поднималась проблема синтеза технологических параметров высокопроизводительной обработки зубчатых реек спаренными фрезами [1]. Также проблемами точности обработки зубчатых реек занимались в Национальном аэрокосмическом университете имени Н. Е. Жуковского (Украина) Б. В. Лупкин, О. В. Мамлюк и Р. П. Родин, которые поднимали вопросы определения исходных инструментальных поверхностей при обработке зубчатых реек [2]. Вопросы исследования точности обработки зубчатых реек набором фрез не рассматривались в вышеприведенных статьях, поэтому в данной статье речь пойдет именно об этом способе обработки.

В качестве объекта исследований была выбрана деталь типа «гильза» на предприятии ОАО «Гомельский завод станочных узлов», имеющая в своем исполнении зубчатую рейку, состоящую из 31 зуба, выполненного по 9-й степени точности с видом сопряжения *B*. Зубчатая рейка обрабатывается набором фрез, при этом скорость резания, силы резания, мощность определялись по известной методике [3].

Статическая точность, перемещения набора фрез определялись методом Верещагина.

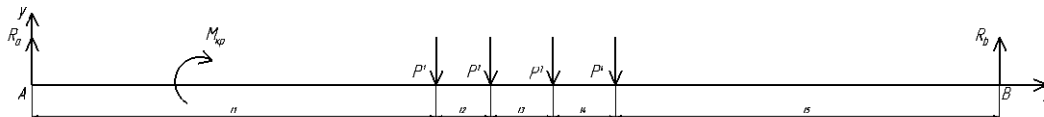


Рис. 1. Расчетная схема к методу Верещагина

При расчете реакций в опорах были получены следующие результаты:

$$R_A = \frac{(P_1(l_5 + l_4 + l_3 + l_2)) + (P_2(l_5 + l_4 + l_3)) + (P_3(l_5 + l_4)) + (P_4 l_5) M_{кр}}{l_5 + l_4 + l_3 + l_2 + l_1} = 5069,92 \text{ Н};$$

$$R_B = \frac{(P_1 l_1) + (P_2(l_1 + l_2)) + (P_3(l_1 + l_2 + l_3)) + (P_4(l_1 + l_2 + l_3 + l_4)) M_{кр}}{l_5 + l_4 + l_3 + l_2 + l_1} = 7077,4 \text{ Н}.$$

В результате построения эпюры моментов в опорных точках были получены значения, сведенные в табл. 1.

Таблица 1

Значение моментов в опорных точках

$M_1, \text{Н} \cdot \text{м}$	$M_2, \text{Н} \cdot \text{м}$	$M_3, \text{Н} \cdot \text{м}$	$M_4, \text{Н} \cdot \text{м}$	$M_5, \text{Н} \cdot \text{м}$
705,25	2358,04	2447,35	2396,95	2193,994

Построив единичные эпюры, приложив в опорных точках установки фрез силы  $P = 1$ , построили эпюры единичных моментов.

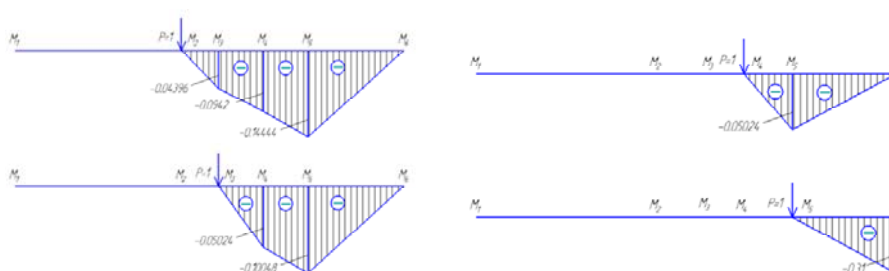


Рис. 2. Эпюры единичных моментов

В результате перемножения единичных эпюр с эпюрой моментов по правилу Верещагина были получены перемещения в опорных точках, к которым в последующем была добавлена податливость, возникающая в соединении компенсаторов со ступицей фрезы, равная  $\left(10^{-3} \frac{\theta}{M_1} l_1^2\right) = 0,5212 \cdot 10^{-6}$ . По полученным данным построим гистограмму перемещений.

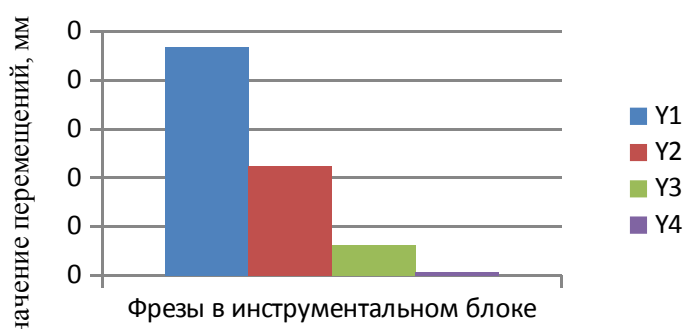


Рис. 3. Гистограмма перемещений фрез в инструментальном блоке

Геометрическая точность определялась размерным анализом (рис. 4).

При расчете линейной размерной цепи замыкающим звеном является компенсатор 10, длиной  $A = 50,24$  мм и имеющей допуск  $T_A = 0,06$  мм. В результате расчета были получены значения допусков для составляющих размерной цепи, результаты занесены в табл. 2.

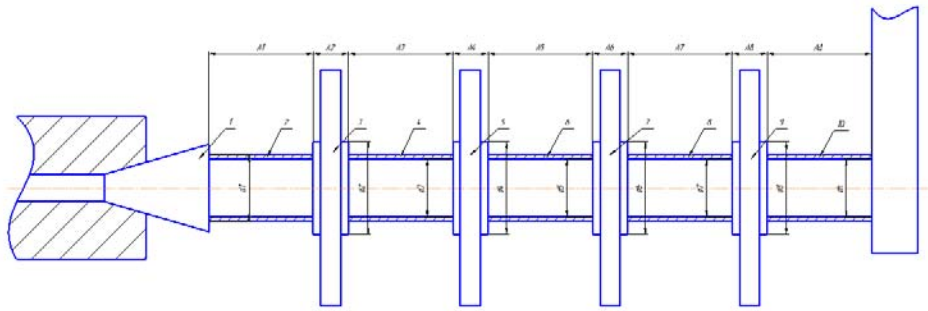


Рис. 4. Расчетная схема к определению накопленной погрешности и значений допусков звеньев

Таблица 2

**Результаты расчета размерной цепи**

$A_1$ , мкм	$A_2$ , мкм	$A_3$ , мкм	$A_4$ , мкм	$A_5$ , мкм	$A_6$ , мкм	$A_7$ , мкм	$A_8$ , мкм
7,5	0,64	2,4	0,64	2,79	0,64	2,79	0,64

Значение накопленной погрешности перекоса фрезы 9 (рис. 3) определили по зависимости [4]:

$$t = 0,85 \sqrt{\left(\frac{d_n}{d_1}\right)^2 t_1^2 + \left(\frac{d_n}{d_2}\right)^2 t_2^2 + \left(\frac{d_n}{d_3}\right)^2 t_3^2 + \left(\frac{d_n}{d_4}\right)^2 t_4^2 + \left(\frac{d_n}{d_5}\right)^2 t_5^2 + \left(\frac{d_n}{d_6}\right)^2 t_6^2 + \left(\frac{d_n}{d_7}\right)^2 t_7^2 + t_n^2},$$

где  $d_n$  – диаметр фрезы 9, составляющей инструментальный блок;  $t_n$  – допуск на отклонение от параллельности торцов ступицы фрезы 9 инструментального блока;  $d_i$  – диаметр звена, составляющего инструментальный блок;  $t_i$  – допуск на отклонение от параллельности торцов составляющих звеньев инструментального блока.

В результате расчетов было определено значение накопленной погрешности последнего инструмента в инструментальном блоке,  $t = 43$  мкм. Затем в зависимости от изменения точности изготовления компенсационных колец были получены различные значения накопленной погрешности (рис. 4).

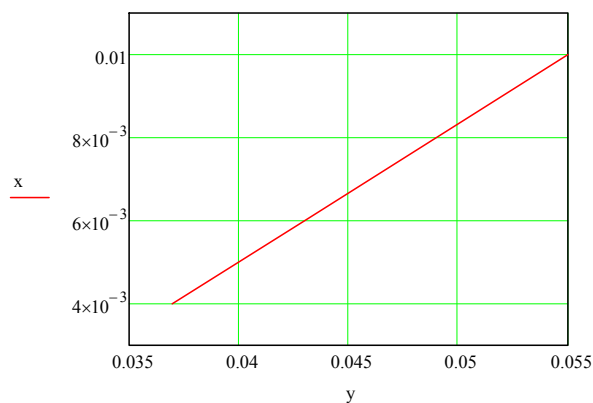


Рис. 4. График изменения накопленной погрешности в зависимости от изменения точности изготовления компенсационных колец

Радиальное биение, действующее на фрезу 3 (рис. 3), определили по зависимости [5]:

$$2e_{\Sigma} = \frac{1}{K_{\Sigma}} \sqrt{(A_1^2 K_1^2 e_1^2) + (A_2^2 K_2^2 e_2^2) + (A_3^2 K_3^2 e_3^2) + (A_4^2 K_4^2 e_4^2)} = 0,014 \text{ мм},$$

где  $A_1, A_2, A_3, A_4$  – передаточное отношение конической оправки, цилиндрической оправки, фрезы;  $K_1, K_2, K_3, K_4$  – коэффициент относительного рассеяния конической оправки, цилиндрической оправки, фрезы;  $e_1, e_2, e_3, e_4$  – величина биения конической оправки, цилиндрической оправки, фрезы;  $K_{\Sigma}$  – суммарный коэффициент относительного рассеяния.

В результате анализа точности обработки регулярных угловых пазов были получены значения статической и геометрической точности, не выходящие за пределы предельно- допусковых значения (ГОСТ 1643–81).

#### Л и т е р а т у р а

1. Пермяков, А. А. Синтез технологических параметров высокопроизводительной обработки зубчатых реек спаренными фрезами / А. А. Пермяков, А. А. Клочко, Ю. А. Сеница // Технологии в машиностроении. – 2017. – № 17. – С. 71–77.
2. Лупкин, Б. В. Исходные инструментальные поверхности при обработке зубчатых реек / Б. В. Лупкин, О. В. Мамлюк, Р. П. Родин // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – 2009. – № 43. – С. 76–82.
3. Справочник технолога-машиностроителя : в 2 т. / Ю. А. Абрамов [и др.] ; под общ. ред. А. Г. Косилова, Р. К. Мещерякова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1986. – 281 с.
4. Дунаев, П. Ф. Расчет допусков размеров / П. Ф. Дунаев, О. П. Леликов. – М. : Машиностроение, 1981. – С. 149.
5. Кузнецов, Ю. И. Оснастка для станков с ЧПУ / Ю. И. Кузнецов, А. Р. Маслов. – М. : Машиностроение, 1990. – С. 387.