

увеличиваются силы трения и резания, начинается отрыв ребер от основы, т.е. процесс оребрения алюминиевых плоских поверхностей нарушается. Участок резца с разрушенной режущей кромкой представлен на Рисунок 4.

Таким образом, исследования по вопросу изнашивания режущего инструмента при оребрении плоских алюминиевых элементов позволили сделать выводы, что для достижения максимальной стойкости инструмента желательно использовать заготовки из алюминиевых сплавов АД0 или АД1, химический состав которых близок к чистому алюминию.

#### ЛИТЕРАТУРА.

1. Дьяков, И.И., Белицкая, А.И., Новодворская, Н.М. и др. (Информационный листок о научно-техническом достижении. – Мн., 1988. – 3 с. 2. Трент, Е.М. Резание металлов. – М., Машиностроение, 1980 – 263 с. 3. Бобров, В.Ф. Основы теории резания металлов, М.: Машиностроение, 1975 – 344 с.

УДК 621.91.01

Колесников Л.А.

### ОЦЕНКА СВЯЗИ МЕЖДУ ГЕОМЕТРИЕЙ И РАДИАЛЬНОЙ ДЕФОРМАЦИЕЙ ЗУБЬЕВ КРУГЛОЙ ПРОТЯЖКИ

*Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь*

Круглая протяжка – дорогой, сложный в изготовлении, но весьма производительный инструмент для получения точных отверстий. Поэтому любые способы повышения долговечности протяжек окажутся весьма эффективными в производстве. Долговечность круглой протяжки, в конечном счете, определяется числом переточек чистовых зубьев, после которых протяжка все еще обеспечивает заданную точность отверстия. Зубья протяжки затачиваются по передней поверхности. Поэтому при каждой заточке зуба его высота уменьшается. В работе [2] предложено выбирать значение переднего угла зуба протяжки после переточки таким образом, чтобы радиальная деформация зуба  $\Delta_r$  под действием силы резания  $P$  компенсировало уменьшение его высоты после переточки (Рисунок 1).

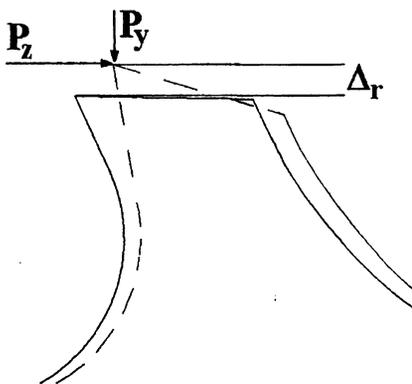


Рисунок 1 – Деформация зуба протяжки при резании

Цель настоящей работы – оценить возможность такой компенсации для круглых протяжек по ГОСТ 20365-74 [1]. С этой целью необходимо определить параметры связи между

геометрией и радиальной деформации зубьев новых и переточенных протяжек. В качестве тестовой модели использовалась протяжка диаметром 24 мм, с высотой зуба 2.5 мм (профиль №4 по ГОСТ 20365-74), с шагом 7 мм. Значения переднего угла  $\gamma$  изменялось от  $5^\circ$  до  $30^\circ$  с шагом  $5^\circ$ ; значение заднего угла  $\alpha$  во всех случаях принималось равным  $1^\circ$ . Ширина спинки зуба варьировалась от 1.5 до 4 мм с шагом 0.5 мм.

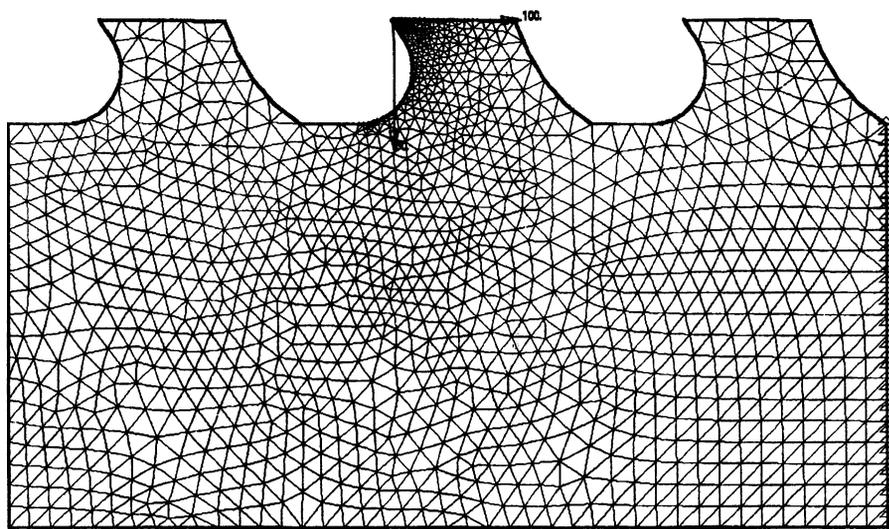
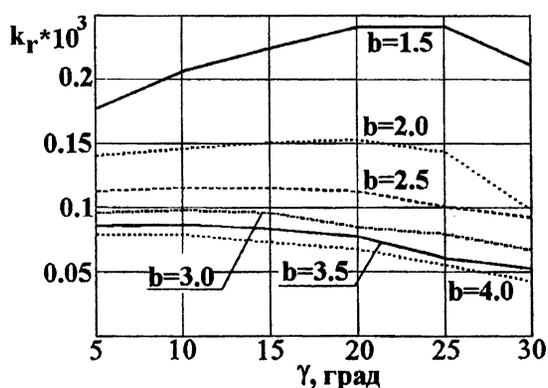
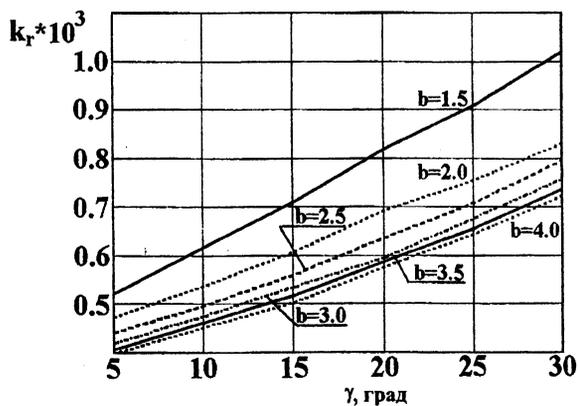


Рисунок 2 – Конечно-элементная модель зуба протяжки

Задача решалась с использованием пакета для расчета методом конечных элементов. Для исследования был выбран фрагмент протяжки, включающий в себя три зуба. Фрагмент был разбит на сетку осесимметричных (axisymmetric) параболических конечных элементов. Такие элементы изображаются как плоские треугольники, но моделируют объемное кольцо соответствующей формы. Осесимметричные элементы предназначены для определения напряженно-деформированного состояния в телах при условии осесимметричных нагрузок и закреплений. Механические характеристики материала протяжки (Р6М5) принимались следующие: модуль упругости  $E=2.1 \times 10^{11}$  Па, коэффициент Пуассона  $\mu=0.3$ . Пример конечно-элементной разбиения и закрепления фрагмента приведен на рисунке 2.



а)



б)

Рисунок 3 – Параметр радиальной деформации зубьев круглой протяжки с различным профилем

При нагружении зуба рассматривались два варианта:

— радиальная составляющая силы резания  $P_Y=0$ ; такое условие возможно при врезании зуба в заготовку;

— радиальная составляющая силы резания  $P_Y=0.5P_Z$ ; такое соотношение, согласно анализу данных [4], характерно для протягивания.

Корректность конечно-элементной модели оценивалась сравнением расчетных результатов и результатов экспериментов, представленных в работе [3]. В частности, рассчитывались величины радиальной деформации круглого зуба протяжки диаметром 36 мм при врезании в заготовку (осевая сила  $P_Z=13920$  Н,  $P_Y=0$ ). Рассматривались варианты с высотой зуба 4 мм, передним углом  $\gamma=15^\circ$  и шириной  $S$ , соответственно, 4 и 2.67 мм. Например, при  $S=4$  мм математическое ожидание радиальной деформации, полученное в эксперименте, равно 7 мкм, расчетное значение – 7.3 мкм; при  $S=2.67$  мм экспериментальное значение равно 18.5 мкм, расчетное – 14.6 мкм. Расчетные значения деформаций для обоих вариантов лежат в диапазоне разброса экспериментальных наблюдений, что позволяет сделать вывод о достаточной точности конечно-элементного моделирования.

Для общности представления результатов рассчитывалось значение параметра радиальной деформации  $k_r$ , равное отношению радиальной деформации круглого зуба  $\Delta_R$ , мкм, к значению осевой составляющей силы резания  $P_Z$ , Н:

$$k_r = \frac{\Delta_R}{P_Z}. \quad (1)$$

На рисунке 3 представлены диаграммы зависимостей параметра  $k_r$  от величины переднего угла  $\gamma$  при различной ширине  $b$  спинки зуба. На рисунке 3, а приведены зависимости при условии  $P_Y=0.5P_Z$ ; на рисунке 3, б – при условии  $P_Y=0$ .

В качестве примера оценим максимально возможную радиальную деформацию зуба круглой протяжки диаметром 24 мм с профилем 4, шагом 7 мм и исходной шириной спинки зуба 4 мм. В ходе численного эксперимента ширина спинки зуба  $b$  последовательно уменьшалась, имитируя переточки зуба по передней поверхности. Величина переднего угла  $\gamma$  после каждой переточки выбиралась такой, чтобы обеспечить максимальную радиальную деформацию зуба при данной ширине спинки. Составляющие силы резания принимались равными:

$$P_Z = \pi \times D_{\text{ПРОТЯЖКИ}} \times q_0, \\ P_Y = 0.5P_Z, \quad (2)$$

где  $D_{\text{ПРОТЯЖКИ}}$  – диаметр протяжки, мм;  $q_0$  – значения удельной осевой силы резания, приходящейся на 1 миллиметр длины режущей кромки протяжки, Н. Численные значения  $q_0$  принимались согласно данным [4] для обработки конструкционных сталей при подаче 0.05 мм на зуб. Уменьшение высоты зуба  $\Delta_{\text{ЗАТ}}$  в результате переточек оценивалось по формуле:

$$\Delta_{\text{ЗАТ}} = (L_0 - L_i) \times \text{tg}(\alpha), \quad (3)$$

где  $L_0$  и  $L_i$  – начальная и текущая ширина спинки зуба;  $\alpha$  – величина заднего угла;  $\alpha=1^\circ$ . Исходные данные и результаты расчета приведены в таблице 1 и на рисунке 4. Нетрудно заметить, что для моделируемой протяжки максимальная радиальная деформация зуба намного меньше уменьшения его высоты в результате переточек.

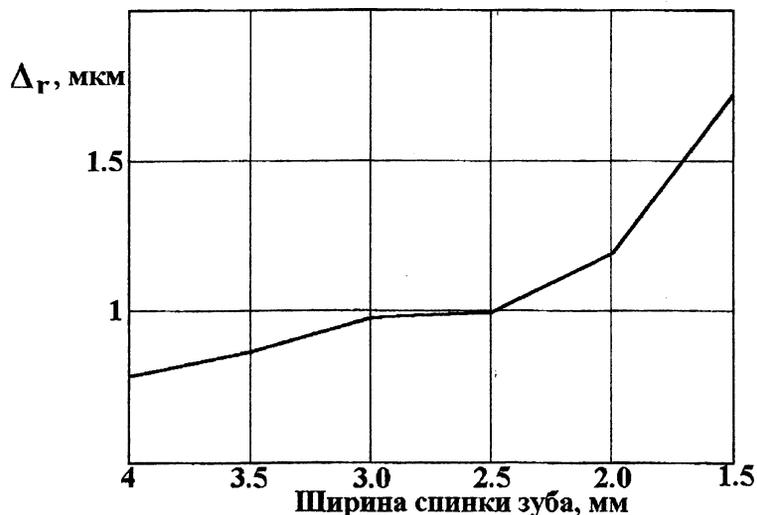


Рисунок 4 – Радиальная деформация зуба круглой протяжки после переточек

Таблица 1

$b$ , мм	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5
$\gamma$ , град	$10^\circ$	$10^\circ$	$10^\circ$	$15^\circ$	$20^\circ$	$25^\circ$
$q_0$ , Н/мм	132	132	132	114	103	95
$P_z$ , Н	9953	9953	9953	8595	7766	7163
$P_y$ , Н	4976	4976	4976	4298	3883	3681
$k_p$ , мкм/Н	$7.911 \times 10^{-5}$	$8.694 \times 10^{-5}$	$9.805 \times 10^{-5}$	$1.158 \times 10^{-4}$	$1.533 \times 10^{-4}$	$2.417 \times 10^{-4}$
$\Delta_R$ , мкм	0.787	0.865	0.976	0.995	1.191	1.731
$\Delta_{ЗАТ}$ , мкм	0	8.728	17.455	26.183	34.91	43.638

Анализ результатов конечно-элементного моделирования показывает, что радиальная деформация зуба круглой протяжки под действием силы резания, имеющей радиальную составляющую, носит нелинейный характер (Рисунок 3, а). До величины переднего угла порядка  $20 \dots 25^\circ$  радиальная деформация зуба круглой протяжки незначительно возрастает, далее начинает уменьшаться. Максимальная величина радиальной деформации невелика. Таким образом, при принятых допущениях о соотношении осевой и радиальной составляющей силы резания, изменение формы зуба протяжки не может компенсировать уменьшение его высоты после переточек.

#### ЛИТЕРАТУРА

- ГОСТ 20365-74. Протяжки круглые переменного резания. 2. Лукина, С.В., Макаров В.М., Крутякова, М.В. Исследование деформаций зубьев круглой протяжки методом конечных элементов // СТИН – 2005. – №5. – С. 11...14. 3. Кочетков, Я.П. Обеспечение точности при протягивании. – М.: Машиностроение, 1979. – 80 с. 4. Протяжки для обработки отверстий / Д.К.Маргулис, М.М.Тверской, В.Н.Ашихмин и др. – М.: Машиностроение, 1986. – 23 с.