

А.Г. Мамалис, д-р техн. наук, Афины, Греция;
 С.Н. Лавриненко, канд. техн. наук, Харьков, Украина ;
 Е.Е. Запороженко, канд. физ.-мат наук, Днепропетровск, Украина
 М.С. Дунайчук, канд. физ.-мат наук, Днепропетровск, Украина

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЛИНЫ КОНТАКТА РЕЖУЩИХ КРОМОК ЛЕЗВИЙНОГО ИНСТРУМЕНТА С ОБРАБАТЫВАЕМЫМ МАТЕРИАЛОМ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ВЕЛИЧИНЫ ПОДАЧИ И ГЛУБИНЫ РЕЗАНИЯ

Збільшення довжини контакту крайок леза інструмента з оброблюваним матеріалом при зміні геометрії його ріжучої частини і зміна параметрів режиму різання істотно впливають на ріст деформаційних навантажень і величину сили тертя, а також на збільшення рівня виникаючих температур у різних точках зони контакту. Дана стаття присвячена моделюванню довжини контакту крайок гостровершого та радіусного інструмента з оброблюваним матеріалом у залежності від величини подачі і глибини різання.

The contact length increase of cutting tool edges with a processed material at change of its cutting part geometry and parameters of cutting essentially influence growth of deformation loadings and size of friction force, and also on increase in a level of arising temperatures accompanying these phenomenon in various points of a contact zone. This article is devoted to modelling of contact length of cutting edges for single-point and radius tools with a cut material depending on feed value and cutting depth.

Увеличение длины контакта режущих кромок лезвийного инструмента с обрабатываемым материалом при изменении геометрии его режущей части и изменение таких параметров режима резания, как подача и глубина существенно влияют на рост деформационных нагрузок и величину силы трения, а также на сопровождающее эти явления увеличение уровня возникающих температур в различных точках зоны контакта. Рост уровня температуры, возникающей в процессе резания термопластичных полимеров, выше допустимых значений приводит к преждевременному образованию трещин серебра в поверхностном слое обработанных изделий, ухудшая эксплуатационные характеристики и, соответственно, сокращая срок их службы.

Принципиально можно рассматривать две схемы формообразования профиля обработанной поверхности в зависимости от профиля проекции режущих кромок инструмента на основную плоскость. Первая схема (см. рис. 1) предполагает отсутствие радиуса при вершине резца (или, вернее, пренебрежение его величиной в реальной размерной шкале), т.е. это схема так называемого островершинного резания. Вторая схема предполагает наличие радиуса различной величины при вершине резца (рис. 2).

Так как следы главной режущей кромки резца в основной плоскости параллельны, то согласно схеме, представленной на рис. 1, угол B_1CB_0 равен углу AB_1C , как это внутренние накрест лежащие углы, т.е.:

$$\angle B_1CB_0 = \angle AB_1C = 120^\circ.$$

Таким образом, из прямоугольного треугольника ΔDB_1A имеем:

$$\sin \angle DB_1A = \sin 45^\circ = \frac{AD}{AB_1} = \frac{f}{l_1}. \tag{1}$$

Отсюда длина контакта главной режущей кромки с обрабатываемым материалом:

$$l_1 = \frac{f}{\sin 45^\circ} = \frac{f}{\left(\frac{\sqrt{2}}{2}\right)} = \frac{2f}{\sqrt{2}} = \sqrt{2} \cdot f \tag{2}$$

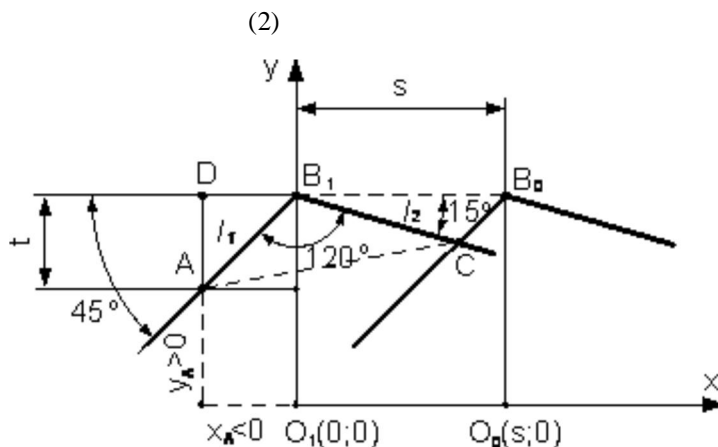


Рис. 1 – Схема контакта режущих кромок островершинного лезвия режущего инструмента с обрабатываемым материалом

Из треугольника ΔB_1B_0C по теореме синусов имеем соотношение:

$$\frac{B_1B_0}{\sin 120^\circ} = \frac{B_1C}{\sin 45^\circ}. \tag{3}$$

Подставив $B_1B_0 = s$ и $B_1C = l_2$, получаем:

$$\frac{s}{\sqrt{3}} = \frac{l_2}{\sqrt{2}} \quad (4)$$

Таким образом, длина контакта вспомогательной режущей кромки с обрабатываемым материалом будет равна:

$$l_2 = \frac{\sqrt{2} \cdot s}{\sqrt{3}} \quad (5)$$

Суммарная длина контакта режущей кромки будет равна:

$$l_1 + l_2 = \sqrt{2} \cdot t + \frac{\sqrt{2} \cdot s}{\sqrt{3}} = \frac{\sqrt{2}(\sqrt{3} \cdot t + s)}{\sqrt{3}} \approx 0,82(1,7 \cdot t + s) \quad (6)$$

Если принять ширину контакта кромки задней поверхности инструмента с обрабатываемым материалом как величину h , то площадь контакта режущей кромки $S_{p.к}$ будет равна:

$$S_{p.к} \approx 0,82(1,7 \cdot t + s)h \quad (7)$$

В случае радиусной формы участка главной режущей кромки величина ее длины будет равна произведению величины радиуса при вершине резца r на угол $\angle AO_1C$, который стягивает дуга окружности AC , как видно из расчетной схемы (рис. 2):

$$s_1 + s_2 = r \cdot \angle AO_1C = r \cdot \Psi \quad (8)$$

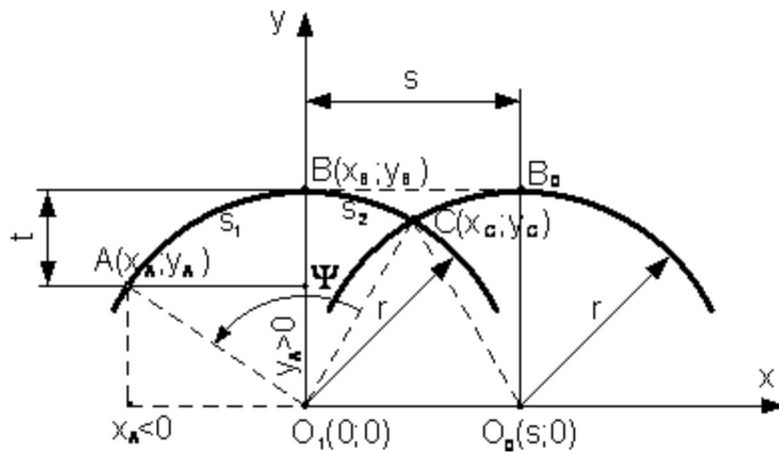


Рис. 2 – Схема контакта радиусной режущей кромки инструмента с обрабатываемым материалом

Тангенс угла между двумя прямыми, проходящими через отрезки O_1C и O_1A (угол поворота против часовой стрелки):

$$\operatorname{tg} \Psi = \frac{K_2 - K_1}{1 + K_1 K_2} = \frac{K_{a1} - K_{ac}}{1 + K_{a1} \cdot K_{ac}} \quad (9)$$

где: K_{a1}, K_{ac} - угловые коэффициенты соответствующих прямых.

Привяжем расчетную схему к прямоугольной системе координат xOy и найдем величину отрезков K_{a1}, K_{ac} .

$$K_{ac} = \frac{y_c - y_a}{x_c - y_a} = \frac{y_c}{x_c} \quad (10)$$

где: x_c, y_c - координаты точки C в выбранной системе координат;

x_a, y_a - координаты точки O_1 , при этом $x_a = y_a = 0$

Находим координаты точки $C(x_c; y_c)$, как точки пересечения двух дуг окружностей радиусом r с центрами в точках $O_1(0;0)$ и $O_2(s;0)$, где s - величина подачи. Для этого решим систему, составленную из уравнений данных окружностей:

$$\begin{cases} x^2 + y^2 = r^2 \\ (x-s)^2 + y^2 = r^2 \end{cases} \quad (11)$$

Преобразовав второе уравнение системы и вычитая из первого уравнения второе, получаем:

$$\begin{aligned} & \begin{cases} x_c^2 + y_c^2 = r^2 \\ x_c^2 - 2x_c s + s^2 + y_c^2 = r^2 \end{cases} \\ & \frac{-2x_c s + s^2 = 0}{2x_c s - s^2 = 0} \end{aligned} \quad (12)$$

откуда получаем выражения для координат x_c и y_c :

$$x_c = \frac{s^2}{2s} = \frac{s}{2}; \quad y_c = \sqrt{r^2 - x_c^2} = \sqrt{r^2 - \frac{s^2}{4}} = \sqrt{\frac{4r^2 - s^2}{4}} = \frac{\sqrt{4r^2 - s^2}}{2}.$$

Таким образом координаты точки C :

$$C \left(\frac{s}{2}; \frac{\sqrt{4r^2 - s^2}}{2} \right), \quad (13)$$

а угловой коэффициент K_{OC} получаем по формуле (10)

$$K_{OC} = \frac{\sqrt{r^2 - s^2}/2}{s/2} = \frac{\sqrt{r^2 - s^2}}{s}. \quad (14)$$

Для нахождения углового коэффициента отрезка прямой O_1A используем формулу, аналогичную формуле (10):

$$K_{O_1A} = \frac{y_A - y_{O_1}}{x_A - x_{O_1}} = \frac{y_A}{x_A}, \quad (15)$$

где: x_A, y_A - координаты точки A в выбранной системе координат;

x_{O_1}, y_{O_1} - координаты точки O_1 , при этом $x_{O_1} = y_{O_1} = 0$

Из расчетной схемы (см. рис. 2) видно, что:

$$y_A = r - t, \quad (16)$$

где: r - радиус при вершине реза;

t - глубина резания.

Так как $x_A < 0$, то:

$$x_A = -\sqrt{r^2 - y^2} = -\sqrt{r^2 - (r-t)^2} = \sqrt{r^2 - r^2 + 2rt - t^2} = \sqrt{2rt - t^2}. \quad (17)$$

Тогда по формуле (15) находим угловой коэффициент K_{O_1A} :

$$K_{O_1A} = \frac{r-t}{-\sqrt{2rt-t^2}} = \frac{t-r}{\sqrt{2rt-t^2}}. \quad (18)$$

Возвращаясь к формуле (9) находим тангенс угла контакта радиусной кромки инструмента:

$$\operatorname{tg} \Psi = \frac{K_{O_1A} - K_{OC}}{1 + K_{O_1A} \cdot K_{OC}} = \frac{\left(\frac{t-r}{\sqrt{2rt-t^2}} - \frac{\sqrt{4r^2-s^2}}{s} \right)}{\left(1 + \frac{(t-r) \cdot \sqrt{4r^2-s^2}}{s \cdot \sqrt{2rt-t^2}} \right)} = \frac{s(t-r) - \sqrt{2rt-t^2} \cdot \sqrt{4r^2-s^2}}{s\sqrt{2rt-t^2} + (t-r)\sqrt{4r^2-s^2}}$$

т.е.:

$$\Psi = \arctg \left(\frac{s(t-r) - \sqrt{2rt-t^2} \cdot \sqrt{4r^2-s^2}}{s\sqrt{2rt-t^2} + (t-r)\sqrt{4r^2-s^2}} \right). \quad (19)$$

Известно, что при малых значениях угла имеет место приближенное равенство:

$$\Psi = \operatorname{tg} \Psi - \delta, \quad \text{где } \delta \rightarrow 0+, \quad (20)$$

т.е. $\Psi \approx \operatorname{tg} \Psi$ и, следовательно, угол контакта будет приближенно равен:

$$\Psi \approx \frac{s(t-r) - \sqrt{2rt-t^2} \cdot \sqrt{4r^2-s^2}}{s\sqrt{2rt-t^2} + (t-r)\sqrt{4r^2-s^2}}. \quad (21)$$

Тогда длина контакта радиусной режущей кромки с обрабатываемым материалом будет выражена следующей зависимостью:

$$s_1 + s_2 \approx r \cdot \frac{s(t-r) - \sqrt{2rt-t^2} \cdot \sqrt{4r^2-s^2}}{s\sqrt{2rt-t^2} + (t-r)\sqrt{4r^2-s^2}}. \quad (22)$$

Таким образом, созданы геометрические модели длины контакта режущих кромок островершинного и радиусного лезвийного инструмента с обрабатываемым материалом в зависимости от величины подачи и глубины резания, что позволит численно оценить степень влияния изменении геометрии режущей части и параметров режима резания на изменение площади контакта и, следовательно, оценить возможное изменение деформационных нагрузок, величины силы трения и уровня возникающих в зоне резания температур. Направлением дальнейших исследований является численное моделирование реальных процессов лезвийной обработки функциональных поверхностей изделий из различных материалов.