

ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕЕ ПРОФИЛИРОВАНИЕ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

В работе представлена аналитическая оценка температурного состояния режущего инструмента в зависимости от угла заострения и объемного профилирования резца.

Режущий инструмент, угол заострения, объемное профилирование, трехгранный угол, телесный угол, температура.

The paper presents an analytical assessment of the thermal state of a cutting tool depending on the wedge angle and the 3 D profiling of the cutter.

Cutting tool, wedge angle, 3D profiling, trihedral angle, solid angle, temperature.

Введение.

Среди факторов, влияющих на износ режущего инструмента, первостепенную роль играет температура, амплитудное значение которой определяется интенсивностью отвода теплоты в процессе резания. Для того чтобы рассчитать температуры, возникающие в инструменте при резании, необходимо схематизировать его и установить расположение источников и стоков теплоты.

Основная часть.

Режущий инструмент можем представить в виде неограниченного клина (рис. 1), на поверхности которого действуют плоские источники теплоты ограниченной ширины. Источник теплоты q_{Π} передает теплоту в резец со стороны передней поверхности. Для практических расчетов можно полагать теплоту q_{Π} распределенной по площадке контакта равномерно [4]. Итоговый поток теплообмена на задней поверхности q_3 из-за малой контактной площадки l_3 можно также считать распределенным равномерно.

Среднее значение температуры $\theta_{\Pi, \text{CP}}$ на контактной площадке передней поверхности резца, в соответствии с рекомендациями А. Н. Резникова [4], можно рассчитать по формуле:

$$\theta_{\Pi, \text{CP}} = \frac{q_{\Pi} \cdot l_{\Pi}}{\lambda_p} \cdot M_1 + \frac{q_3 \cdot l_3}{\lambda_p} \cdot N_2, \quad (1)$$

где q_3, q_{Π} – плотности тепловых потоков, Вт/м²; l_3, l_{Π} – длина контактной площадки задней и передней поверхности резца, м; λ_p – теплопроводность материала резца, Вт/м·К; M_1, N_2 – вспомогательные функции, значения которых зависят существенно от угла заострения инструмента и определяются по графикам и таблицам, приведенным в [4].

Уравнение (1) достаточно точно отражает возможности аналитической оценки температурного состояния режущего инструмента в условиях действующего производства, однако изменения значений

температуры в зависимости от угла заострения требуют аналитического уточнения.

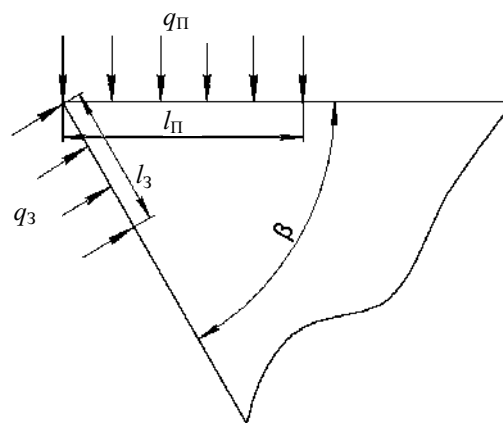


Рис. 1. Расчетная схема резца: q_3, q_{Π} – плотности тепловых потоков; l_3, l_{Π} – длина контактной площадки задней и передней поверхности резца

Если угол заострения рассматривать как плоский угол, то для расчета процессов теплообмена можно воспользоваться уравнением передачи теплоты через цилиндрическую стенку [2]:

$$t_1 = \frac{q_1}{\lambda} \cdot \left(\frac{1}{2\pi} \cdot \ln \frac{r_2}{r_1} \right) + t_2, \quad (2)$$

где t_1 – температура передней поверхности резца, °С; q_1 – погонная плотность теплового потока (соответствует величине $q_{\Pi} \cdot l_{\Pi}$ в формуле (1)), Вт/м; r_1, r_2 – радиусы окружностей, через которые подводится и отводится теплота, м; 2π – угловая длина окружности, через которую подводится (отводится) теплота; t_2 – температура поверхности резца, °С, через которую отводится теплота (для упрощения примем $t_2 = 0^\circ\text{C}$).

Величина t_1 обратно пропорциональна угловой длине окружности, через которую подводится

(отводится) теплота, при всех прочих постоянных значениях величин в (2). Допустим, что β – часть угловой длины окружности, тогда:

$$t_1 = \frac{q_1}{\lambda} \cdot \left(\frac{1}{\beta} \cdot \ln \frac{r_2}{r_1} \right).$$

Рассмотрим соотношение температуры передней поверхности резца t_1' при $\beta = 60^\circ$ к t_1'' при $\beta = 90^\circ$:

$$\frac{t_1'}{t_1''} = \frac{\frac{q_1}{\lambda} \cdot \left(\frac{1}{\pi/3} \cdot \ln \frac{r_2}{r_1} \right)}{\frac{q_1}{\lambda} \cdot \left(\frac{1}{\pi/2} \cdot \ln \frac{r_2}{r_1} \right)} = \frac{3}{2}. \quad (3)$$

Из (3) видно, что $t_1' = 1,5 \cdot t_1''$. Следовательно, при изменении величины β от $\beta = 90^\circ$ до $\beta = 60^\circ$, значение t_1 увеличится в 1,5 раза. Данный результат соответствует $\theta_{\text{п,ср}}$ из формулы (1), в которой среднее значение температуры при таком же изменении β от $\beta = 90^\circ$ до $\beta = 60^\circ$ и соотношении $l_3/l_{\text{п}} = 0$ увеличится также в 1,5 раза.

С другой стороны, любой из режущих инструментов имеет рабочую (режущую) и крепежную части. В основе режущей части лежит клин [3]. Клин можно представить в виде трехгранного угла, у которого угол заострения β и два плоских угла α и γ (см. рис. 2). В этом случае в качестве геометрического параметра рабочей части режущего инструмента может выступать телесный угол Ω , который равен [5]:

$$\Omega = S/R^2, \quad (4)$$

где S – площадь поверхности (сферический треугольник), вырезаемой поверхностью трехгранного угла на сфере с центром в вершине этого угла, м^2 ; R – радиус сферы, м .

Площадь сферического треугольника, лежащего на сфере радиусом R , выражается через углы A, B, C этого треугольника по уравнению [1]:

$$S = (A + B + C - \pi) \cdot R^2 = \varepsilon \cdot R^2, \quad (5)$$

где ε – эксцесс сферического треугольника.

Эксцесс сферического треугольника можно определить через его стороны a, b и c в соответствии с формулой Люиллье [1]:

$$\text{tg}^2 \left(\frac{\varepsilon}{4} \right) = \text{tg} \left(\frac{p}{2} \right) \cdot \text{tg} \left(\frac{p-a}{2} \right) \cdot \text{tg} \left(\frac{p-b}{2} \right) \cdot \text{tg} \left(\frac{p-c}{2} \right),$$

где p – полупериметр сферического треугольника.

Так как сферический угол и соответствующий ему двугранный угол имеют одну и ту же меру, то

двугранные углы трехгранного угла $OABC$ служат мерой углов сферического треугольника ABC при его вершинах, а плоские углы β, α, γ того же трехгранного угла $OABC$ являются мерой его сторон. Поэтому как углы A, B, C , так и стороны a, b и c сферического треугольника измеряются в угловой мере, градусной или радианной [1].

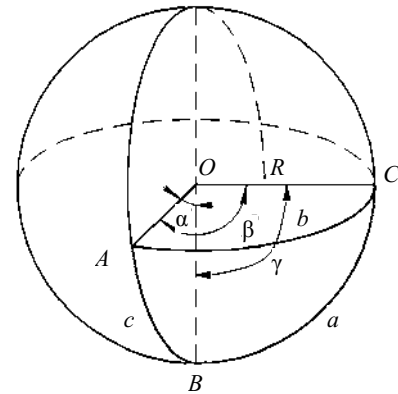


Рис. 2. Телесный угол, образуемый тремя взаимно перпендикулярными плоскостями: a, b, c – стороны сферического треугольника; β, α, γ – плоские углы трехгранного угла

Рассматривая резец как трехгранный угол, величина которого определяется телесным углом Ω , выполним расчет процессов теплообмена в соответствии с уравнением передачи теплоты через шаровую стенку [2]:

$$t_1 = \frac{Q}{\lambda} \cdot \left[\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) \cdot \frac{1}{4\pi} \right] + t_2, \quad (6)$$

где Q – тепловая мощность, передаваемая через поверхность, Вт; r_1, r_2 – радиусы шаровых поверхностей, через которые подводится и отводится теплота, м; 4π – телесный угол шаровой поверхности, через которую подводится (отводится) теплота; t_2 – температура поверхности резца, через которую отводится теплота, для упрощения принимается равной 0°C .

Величина t_1 обратно пропорциональна телесному углу шаровой поверхности, через которую подводится (отводится) теплота, при всех прочих постоянных значениях величин в (6). Допустим, что Ω – часть телесного угла шаровой поверхности, через которую подводится (отводится) теплота. В этом случае, формула (6) может быть представлена в следующем виде:

$$t_1 = \frac{Q}{\lambda} \cdot \left[\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) \cdot \frac{1}{\Omega} \right]. \quad (7)$$

Телесный угол, образуемый тремя взаимно перпендикулярными плоскостями, в соответствии с формулами (4) и (5) (например, трехгранный клин

резца), равен $\Omega = \pi/2$ ($\beta = \alpha = \gamma = 90^\circ$). Рассмотрим, как изменится t_1 , если изменить величину β (один из плоских углов трехгранного угла клина резца) от $\beta = 90^\circ$ до $\beta = 60^\circ$. Телесный угол шаровой поверхности трехгранного угла клина резца при $\beta = 60^\circ$ равен $\Omega = \pi/3$. Рассмотрим соотношение температуры передней поверхности резца t_1' при $\beta = 60^\circ$ к t_1'' при $\beta = 90^\circ$, используя зависимость (7):

$$\frac{t_1'}{t_1''} = \frac{\frac{Q}{\lambda} \cdot \left[\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) \cdot \frac{1}{\pi/3} \right]}{\frac{Q}{\lambda} \cdot \left[\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) \cdot \frac{1}{\pi/2} \right]} = \frac{3}{2}. \quad (10)$$

Из уравнения (8) видно, что $t_1' = 1,5 \cdot t_1''$. Данный результат согласуется с $\theta_{П,СР}$ из формулы (1). Однако при изменении β, α, γ (трех плоских углов) от 90 до 60° величина t_1 увеличится в 3 раза, что невозможно проследить с помощью уравнения (1), так как данная формула позволяет анализировать изменение только одного из плоских углов резца. Отсюда следует, что целесообразно для оценочных

работ использовать уравнение передачи теплоты через шаровую стенку, которое позволяет учитывать влияние профиля режущего инструмента на процессы теплоотвода.

Выводы.

Очевидно, что теплофизическая интерпретация $\theta_{П,СР}$ является приближенной и дает лишь качественную оценку тепловых процессов при резании. Однако предложенные обоснования вполне оправданы, так как позволяют аналитически обосновать необходимость учета, как угла заострения, так и объемного профилирования режущего инструмента.

Литература

1. *Волынский, Б. А.* Сферическая тригонометрия / Б. А. Волынский. – М., 1977.
2. *Исаченко, В. П.* Теплопередача / В. П. Исаченко. – М., 1981.
3. *Кожевников, Д. В.* Режущий инструмент / [Д. В. Кожевников и др.]. – М., 2007.
4. *Резников, А. Н.* Теплофизика резания / А. Н. Резников. – М., 1969.
5. *Чертов, А. Г.* Единицы физических величин / А. Г. Чертов. – М., 1977.

УДК 681.5.015.24

Р.Ф. Теляков

*Научный руководитель: доктор технических наук, профессор О. А. Толпегин
Балтийский государственный технический университет «Военмех» им. Д. Ф. Устинова*

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ СПУСКОМ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА В ЗАДАННУЮ ОБЛАСТЬ ПРИЦЕЛИВАНИЯ С ЗАДАННЫМ УГЛОМ НАКЛОНА ТРАЕКТОРИИ ПРИ НАЛИЧИИ ОШИБОК ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ДВИЖЕНИЯ

В статье рассмотрен алгоритм выбора управления спускаемого летательного аппарата (СЛА), обеспечивающий попадание в заданную область прицеливания с заданным углом наклона траектории на основе методов оптимального управления. Рассмотрена зависимость точности попадания СЛА в заданную область прицеливания с заданным углом наклона траектории от наличия ошибок измерения параметров движения. Коррекция программы спуска происходит на основе информации, получаемой на выходе минимаксного фильтра с коррекцией от спутниковой навигационной системы. Для обеспечения попадания в заданную область прицеливания с минимальным отклонением предлагается в каждой позиции использовать коррекцию оптимальной программы спуска.

Оптимальное управление, спускаемый летательный аппарат, минимаксный фильтр, коррекция программы спуска, заданная область прицеливания, заданный угол наклона траектории, бесплатформенная инерциальная навигационная система.

The paper considers the algorithm of choice of the descending aircraft, providing hit in a given aiming area to specify the angle of the trajectory, using the methods of optimal control. The dependence of the accuracy of hit of the landing aircraft into a given aiming area with the predetermined angle of inclination of the trajectory on the measurement errors of motion parameters is considered. Correction of the descent program occurs on the basis of information obtained at the output of the minimax filter with correction of the satellite navigation system. In order to get into a given aiming area with minimal deviation, one should use the correction of optimal descent program in each position.

Optimal control, landing aircraft, minimax filter, correction program descent, given aiming area, specified path angle, strapdown inertial navigation system.