

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ

Рамазонов Уктам Рахмонович

Термезский государственный университет

Научный руководитель: Доц. Дилмурод Бойтуллаев

uktambek4433@gmail.com

<https://doi.org/10.5281/zenodo.7485525>

**Аннотация:** Рассмотрены вопросы повышения эффективности обработки резанием за счет рационального использования тепловых процессов в зоне резания. Приведена математическая модель теплового процесса в зоне резания. На основании проведенной модели, разработаны алгоритм анализа закона распределения температуры в зоне резания и её зависимости температуры от условий резания.

**Ключевые слова:** Резание, температура, моделирование, математика.

Для исследования тепловых процессов в зоне резания [1,2,3], на основании анализа известных моделей в качестве исходной выбранной модель А. Н. Резникова [3,4]. В этой модели используются следующие допущения:

В зоне резания возникают три основных источника теплоты:

- теплота деформации в зоне стружкообразования на плоскости сдвига – источник  $J_d$  с равномерным распределением плотности тепловыделения  $q_d$  и равномерным распределением плотности тепловых потоков в стружку  $q_{dc}$  и деталь  $q_{dd}$ :  $q_d = q_{dd} + q_{dc}$ ;
- теплота трения на площадке контакта между стружкой и передней поверхностью инструмента – источник  $J_1$  с комбинированным распределением плотности тепловыделения  $q_{TP}$ ;
- теплота трения между задней поверхностью инструмента и деталью – источник  $J_2$  с нормальным несимметричным распределением плотности тепловыделения  $q_{TЗ}$ .

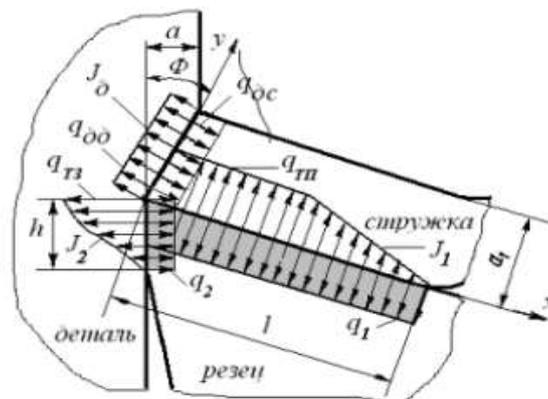


Рис. 1. Схема расположения источников теплоты и распределения тепловых потоков в зоне резания при точении.

Температуры на передней  $\theta_1$  и задней  $\theta_2$  поверхностях инструмента, а также температура резания, представляющая собой среднюю температуру на передней и задней поверхностях инструмента определяется следующим образом [6]:

$$\theta_1 = \frac{q_1 l}{\lambda_u} M_1 + \frac{q_2 h}{\lambda_u} N_2; \theta_2 = \frac{q_1 l}{\lambda_u} N_1 + \frac{q_2 h}{\lambda_u} M_2; \theta_p = \frac{\theta_1 l + \theta_2 h}{l + h}, \quad (1)$$

где  $q_1, q_2$  - плотность тепловых потоков на передней и задней поверхностях инструмента;  $M_1, M_2, N_1, N_2$  - безразмерные функции, определяющие нагрев площадок на передней и задней поверхностях инструмента;  $l$  - длина контактной площадки в направлении схода стружки;  $h$  - высота ленточки износа по задней поверхности;  $b$  - ширина реза.

Тепло в режущем клине инструмента формируется под воздействием тепловых потоков  $q_1$  и  $q_2$ , представленных на рис.2. Ось  $X$  в рассматриваемой системе координат ориентируется в направлении передней поверхности перпендикулярно главной режущей кромке.

Приведенные параметры в формуле (1) определяются по известной методике [2, 3, 5].

Безразмерные функции  $M_1, M_2, N_1, N_2$  определяющие нагрев площадок на передней и задней поверхностях инструмента определяются по следующим формулам [3]:

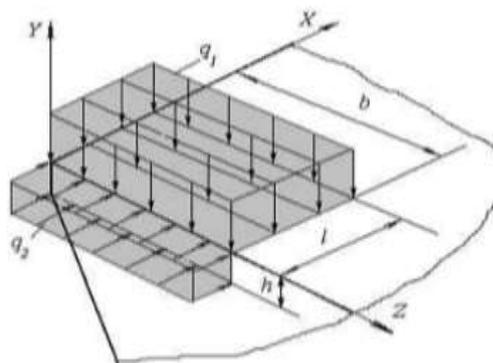


Рис. 2. Схема действия тепловых потоков на передней и задней поверхностях режущего инструмента

Активация Winc

$$\begin{aligned} M_{1,2} &= (4.88 + 2.64\eta_{1,2}^{0.5} \lg \eta_{1,2})\beta^{-0.85} \text{ при } \eta_{1,2} > 1; \\ M_{1,2} &= (4.88 + 3.92\eta_{1,2}^{0.27} \lg \eta_{1,2})\beta^{-0.85} \text{ при } \eta_{1,2} < 1; \\ N_{1,2} &= (0.04 + 0.02\eta_{1,2}^{0.6} \lg \eta_{1,2})B(l/h) \text{ при } \eta_{1,2} > 1; \\ N_{1,2} &= (0.04 + 0.028\eta_{1,2}^{0.22} \lg \eta_{1,2})B(l/h) \text{ при } \eta_{1,2} < 1. \end{aligned} \quad (2)$$

где  $\eta$  - безразмерная ширина реза,  $\eta_1 = b/l$ ,  $\eta_2 = b/h$ ;  $\beta$  - угол заострения,  $\beta = 90^\circ - \gamma - \alpha$ ;  $\alpha$  - задний угол реза;  $b$  - ирина реза,  $b = t/\sin\varphi$ ;  $B(l/h)$ ,  $B(h/l)$  - табулированные функции.

В результате аппроксимации (погрешность не превышает 5%) для коэффициента  $B(l/h)$  установлена линейная зависимость, для коэффициента  $B(h/l)$  – степенная в результате аппроксимации [3]:

$$\begin{aligned} B_p(h/l) &= 2,85 - 0,89(h/l); B_p(l/h) = 2,05(l/h)^{0,54}, \text{ при } \beta = 90^\circ; \\ B_p(h/l) &= 3,43 - 0,74(h/l); B_p(l/h) = 2,79(l/h)^{0,57}, \text{ при } \beta = 78^\circ; \\ B_p(h/l) &= 3,7 - 0,67(h/l); B_p(l/h) = 3,17(l/h)^{0,58}, \text{ при } \beta = 90^\circ. \end{aligned} \quad (3)$$

Плотность тепловых потоков на передней  $q_1$  и задней  $q_2$  поверхностях инструмента, принимаемая равномерно с их распределение по контактными площадкам  $b \times l$  и  $b \times h$ , может быть определена следующим образом [3, 5]:

$$\begin{aligned} q_1 &= \frac{K_1 T_u N_2 h + K_2 q_{T3} N_2 h - 1,82 K_1 K_3 \lambda_u - M_2 K_3 h}{1,82 K_1 K_4 \lambda_u + M_2 K_3 h - \frac{N_1 N_2 l h}{\lambda_u}}, \\ q_2 &= \frac{K_3 - K_4 q_1}{N_2 h}, \end{aligned} \quad (4)$$

где  $\lambda_u$  - коэффициенты теплопроводности материалов инструмента;  $T_u$  - безразмерная функция распределения температур в инструменте, вызванных теплотой деформации;  $K_1, K_2, K_3, K_4$  - безразмерные функции, учитывающие законы распределения плотности теплового потока на передней и задней поверхностях инструмента;  $q_{T3}$  – плотность теплового потока от сил трения на площадке контакта между задней поверхностью инструмента и деталью

На основании приведенных зависимостей разработан алгоритм для анализа тепловых процессов в зоне резания при вариации режимов резания: глубины  $t$ , подачи  $S$  и скорости  $V$  и оценки их влияния на закономерности формирования температуры резания.

Проведен расчет для следующих условий: обрабатываемый материал - сталь 45 ( $\lambda_u = 27,2$  Вт/м·К,  $\sigma = 625,42 \cdot 10^6$  Па,  $\tau = 485,106$  Н/м<sup>2</sup>);  $\sigma = 750$  МПа; коэффициент усадки  $k = 2,0$ ; инструментальный материал Т15К6; параметры резцов: углы в плане  $\phi = 45^\circ$ ; передний угол  $\gamma = 7^\circ$ ; задний угол  $\alpha = 7^\circ$ ; износ по задней поверхности  $h = 0,5$  мм; длина контактной площадки в направления схода стружки  $l = 30$  мм. Механические характеристики сталей и сплавов приведены в [2, 8, 9].

Графики двух параметрических зависимостей температуры резания от скорости резания  $V$  и подачи  $S$  для стали 12X18H9T и сплава ЭИ867(ХН62МВКЮ) представлены на рис. 3.

Существенное различие в температурах резания для указанных сталей в рассмотренных диапазонах скорости резания объясняет различие их физико-технических характеристик.

Проверка адекватности полученных зависимостей выполнена путем сравнения расчетных зависимостей с результатами экспериментов, представленных в [6, 7].

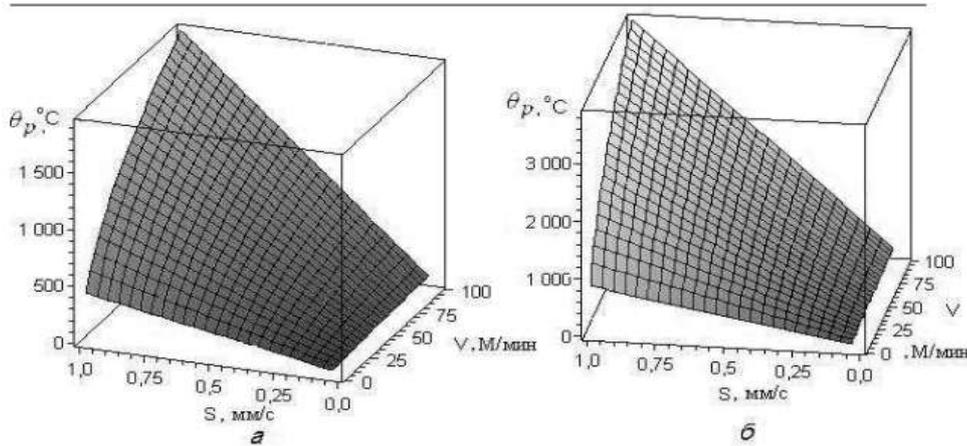


Рис. 3. Двух параметрические зависимости температуры резания от скорости резания  $V$  и подачи  $S$  для а) стали 12X18H9T; б) сплава ЭИ867 (ХН62МВКЮ).

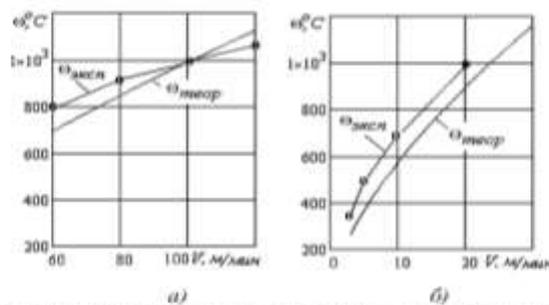


Рис. 4. Теоретические и экспериментальные зависимости температуры резания от скорости резания  $V$  для а) стали 12X18H9T; б) сплава ЭИ867 (ХН62МВКЮ)

Результаты сравнения, приведенные на рис. 4, свидетельствуют о том, что с погрешностью, не превышающей 10%, для рассмотренных материалов теоретические зависимости температуры резания  $\theta_{теор}$  от скорости резания  $V$  подтверждаются экспериментальными как по уровню температур, так и по характеру зависимостей.

Вывод по работе:

1. На основании анализа известных моделей тепловых процессов в зоне резания, в качестве исходной выбранной модель А. Н. Резникова с оценкой состояния обработанной материала в зависимости от условий резания.

2. Разработан алгоритм для анализа закономерности изменения распределения температуры резания на передней и задней поверхностях режущего инструмента в зависимости от режимов резания с учетом степени износа по задней поверхности инструмента в условиях черновой и чистовой токарной обработки конструкционных сталей твердосплавными резцами.

3. На основании проведенных исследований разработаны рекомендации по выбору оптимальных режимов резания в любых условиях токарной обработки различных материалов.

### **Foydalanilgan adabiyotlar:**

1. Якубов Ф. Я. Вопросы термодинамики процесса резания и ресурсосберегающей технологии в машиностроении.

2. Силин, С. С. Метод подобия при резании материалов Текст. М.: Машиностроение, 1979. - 152 с.

3. Резников А.Н. 1981 Теплофизика процессов механической обработки материалов.

4. Резников А.Н., Резников Л.А. Тепловые процессы в технологических системах. - М.: Машиностроение, 1990. -288с.

5. Ивченко Т.Г. Исследование закономерностей формирования тепловых потоков в зоне резания при точении// Источник: Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Машинобудування і машинознавство. Випуск 5. - Донецьк, ДонНТУ, 2008.- С.23-29.

6. Ивченко Т.Г. Влияние условий обработки на закономерности формирования тепловых потоков в зоне резания при точении // Наукові Праці Донецького національного технічного університету. Серія: Машино-будування и машинознавство. Випуск 5. - Донецк, Донну, 2008.- С.23- 29.

7. Ивченко Т.Г. Оптимизация режимов резания при точении труднообрабатываемых материалов с учетом температурных ограничений точении // Наукові Праці Донецького національного технічного університету. Серія: Машино-будування и машинознавство. Випуск 5. - Донецк, Донну, 2010. Вип. 39. -228 с.

8. Старков В.К. Обработка резанием. Управление стабильностью и качеством в автоматизированном производстве.- М.: Машиностроение 1989. - 296с.