

В. А. Солодков, С. И. Кормилицин, П. А. Норченко

СРАВНЕНИЕ ТЕПЛОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК УСТАНОВИВШЕГОСЯ И ПРЕРЫВИСТОГО РЕЗАНИЯ

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: v-a-solodkov@yandex.ru, fpo@vstu.ru, norchenko.p.a@yandex.ru

При врезании величина тепловых характеристик с высокой скоростью приближаются к значениям таких же характеристик для установившегося резания, выполняемого в тех же условиях обработки. Основной причиной подобного явления является более высокая интенсивность тепловыделений при врезании.

Ключевые слова: тепловые характеристики, врезание, установившееся резание, прерывистое резание, интенсивность тепловыделений

V. A. Solodkov, S. I. Kormilitsin, P. A. Norchenko

COMPARISON OF THERMAL CHARACTERISTICS STEADY AND INTERMITTENT CUTTING

Volgograd State Technical University

When cutting, the thermal characteristics at high speed approach the values of the same characteristics for steady cutting performed under the same processing conditions. The main reason for this phenomenon is the higher intensity of heat emissions during cutting.

Keywords: thermal characteristics, embedding, steady cutting, intermittent cutting, heat release intensity

В настоящих исследованиях расчет тепловых характеристик на рабочих поверхностях инструмента производился по методике профессора А. Н. Резникова, в основе которой лежит наиболее распространенный в технологической теплофизике метод решения дифференциального уравнения теплопроводности – ме-

тод источников теплоты [1]. При этом использовалась общепринятая схема распределения источников и стоков тепла при установившемся и прерывистом резании.

Сравнительные расчеты температуры резания при всех вариантах обработки производились по следующей итоговой формуле [1]:

$$\theta = \frac{l_1^2 \cdot M_1}{\lambda_p \cdot (l_1 + l_2)} \cdot \frac{0,142 \cdot \frac{\sqrt{\omega}}{\lambda} \cdot \sqrt{\frac{K \cdot l_1}{V}} \cdot q_{1T} + (1 + C) \cdot \theta_g}{M_1 \cdot \frac{l_1}{\lambda_p} + \frac{\Delta}{40 \cdot \lambda} + 0,184 \cdot \frac{\sqrt{\omega}}{\lambda} \cdot \sqrt{\frac{K \cdot l_1}{V}}},$$

где l_1 – длина площадки источника теплоты, мм; M_1 – безразмерная величина; l_2 – ширина площадки источника теплоты, мм; λ_p – коэффициент теплопроводности инструментального материала, кал/(см.с.с°); λ – коэффициент теплопроводности обрабатываемого материала, кал/(см.с.с°); ω – коэффициент температуропро-

водности обрабатываемого материала, см²/с; K – коэффициент продольной стружки; q_{1T} – теплота трения на площадке контакта между стружкой и передней поверхностью, кал/(см².с); Δ – высота зоны нароста (контактной зоны), мм; θ_g – температура деформации, кал/(см².с); v – скорость резания, м/мин; C – коэффициент,

учитывающий подогрев поверхностных слоев материала, из которых образуется стружка.

Для расчета тепловых характеристик необходимо использование следующих данных:

– параметры обрабатываемого материала: марка; коэффициент температуропроводности ω [см²/с]; коэффициент теплопроводности λ [кал/см·с·°C]; предел выносливости на сжатие σ_{-B} [кГс/мм²];

– параметры режущего инструмента: режущий материал и его свойства; геометрия режущей части – γ , β , α , ϕ , ϕ_1 [°]; коэффициент теплопроводности λ_p [кал/см·с·°C]; длина контакта по задней поверхности l_2 [мм]; диаметр инст-

румента (фрезы) d_ϕ [мм]; коэффициент температуропроводности ω_p [см²/с];

– режимы резания: скорость резания v [м/мин]; ширина срезаемого слоя b [мм]; подача s [мм/об]; толщина среза a [мм]; длительность рабочего хода τ_p [с]; длительность холостого хода τ_x [с];

– силы резания P_z , P_y , P_x [кГс]; усадка стружки k ; высота нароста Δ [мм]; длина контакта по передней поверхности l_1 [мм].

Сведем исходные данные в таблицы отдельно для постоянных величин (табл. 1) и отдельно для переменных величин (табл. 2):

Таблица 1

Постоянные исходные данные

Наименование показателя	Обозначение	Величина
Материал пары инструмент–заготовка	–	T5K10 – сталь 45
Диаметр обработки (фрезы или заготовки), мм	D_ϕ (d)	160
Ширина фрезерования (прерывистое резание), мм	B	90
Подача на оборот (зуб), мм/об(мм/зуб)	$S_o = S_z$	0,2
Глубина резания, мм	t	1
Передний угол, °	γ	0
Главный задний угол, °	α	10
Главный угол в плане, °	ϕ	45
Вспомогательный угол в плане, °	ϕ^*	15
Угол клина, °	β^*	68
Длина контакта по задней поверхности, мм	l_2	0,1
Толщина среза, мм	a	0,141
Ширина срезаемого слоя, мм	b	1,414
Характеристики обрабатываемого материала:		
коэффициент температуропроводности, см ² /с	ω	0,084
коэффициент теплопроводности, кал/см·с·°C	λ	0,11
предел выносливости на сжатие, кГс/мм ²	σ_{-B}	60
Характеристики инструментального материала:		
коэффициент температуропроводности, см ² /с	ω_p	0,144
коэффициент теплопроводности, кал/см·с·°C	λ_p	0,09

Главным критерием и необходимым условием при выборе исходных данных являлась идентичность следующих параметров процессов прерывистого и установившегося резания: материал инструмента и заготовки, диаметр обработки, геометрия инструмента, подача на оборот (зуб), параметры срезаемого слоя (глубина резания, толщина и ширина срезаемого слоя) и скорость резания. Для расчета были выбраны три скоростных режима – при 150, 120

и 90 м/мин. Для скорости резания и параметров срезаемого слоя важным также является соблюдение условия постоянства по длине реза.

Как видно из таблицы 2, такие характеристики, как длина контакта по передней поверхности, усадка стружки, высота контактной зоны, угол сдвига и составляющие силы резания при прерывистом и установившемся резании различаются весьма существенно. Природа этих отличий и их закономерности описаны в [2].

Таблица 2

Переменные исходные данные

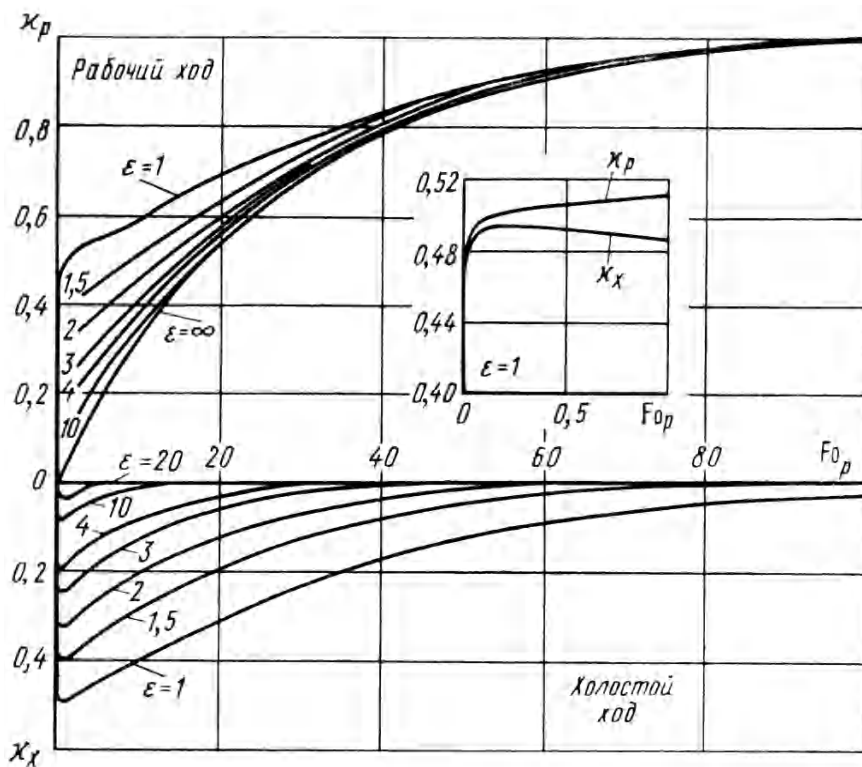
Наименование показателя	Расчетная формула	Величина					
Скорость резания, м/мин	v	150		120		90	
Характер резания (н – непрерывное, п – прерывистое)	–	н	п	н	п	н	п
Длина контакта по передней поверхности, мм	l_1	0,92	0,61	1,01	0,69	1,17	0,83
Высота контактной зоны, мм	Δ	0,072	0,051	0,088	0,057	0,114	0,071
Усадка стружки	K	2,51	2,12	2,79	2,28	3,16	2,38
Угол сдвига, °	Φ (β)	22	25	20	24	18	23
Время рабочего хода, с	τ_p	0,201	0,076	0,251	0,096	0,335	0,127
Время холостого хода, с	τ_x	0	0,125	0	0,156	0	0,208
Составляющие силы резания, кГс:							
осевая	P_{zo}	57,2	41,3	61,1	54,9	66,7	57,9
радиальная	P_{xyo}	42,7	35,2	44,2	37,7	48,8	41,9

Сам сравнительный расчет пошагово представлен в работе [3].

При этом при расчете тепловых характеристик прерывистого резания в соответствии с указаниями автора [1] в методику расчета для прерывистого резания вносились следующие коррективы с учетом рисунка.

При прерывистом резании процесс резания состоит из периодически повторяющихся рабо-

чего хода, во время которого выделяется тепло и холостого хода, во время которого теплота в режущий клин не поступает. Поэтому анализ закономерностей теплообмена при прерывистом резании с регулярно повторяющимися циклами требует при расчете тепловых характеристик вводить поправки χ_p и χ_x соответственно для определения температуры θ_p в конце рабочего хода и θ_x в конце холостого хода.



Функции χ_p и χ_x , используемые для расчета температуры при прерывистом резании [1]

Линия $\varepsilon = \infty$ на рис. 1 описывает закономерность нарастания температуры резания при единичном рабочем ходе.

При многократном повторении рабочих и холостых ходов температура резания тем выше температуры одиночного реза, чем меньше длительность холостого хода по отношению к рабочему (уменьшение ε). Это естественно, поскольку с уменьшением ε теплота в инстру-

менте накапливается более интенсивно. Однако даже при малых значениях ε температура установившихся процессов с высокой частотой прерывания ниже температуры при установившемся теплообмене.

Пошаговый расчет, выполненный в [3] позволил получить сравнительную величину тепловых характеристик для прерывистого и установившегося резания (табл. 3).

Таблица 3

Переменные исходные данные

Наименование показателя	Расчетная формула	Величина					
Скорость резания, м/мин	v	150		120		90	
Характер резания (н – непрерывное, п – прерывистое)	–	н	п	н	п	н	п
Интенсивность теплообразующего источника от энергии трения на передней поверхности, кал/см ² с	q_{IT}	10899	15863	7409	11220	4699	7494
Расчетная средняя температура на передней поверхности, °C	$\theta_{1рас}^{cp}$	722	586	622	589	611	328
Расчетная средняя температура на задней поверхности, °C	$\theta_{2рас}^{cp}$	317	288	324	339	329	328
Расчетная температура резания, °C	$\theta_{рас}$	682	544	631	557	588	504
Опытная температура резания (по методу естественной термопары), °C	$\theta_{оп}$	665	592	624	574	577	529
Абсолютное отклонение, °C	Δ	17	48	7	17	11	25
Относительное отклонение, %	δ	2,5	8,8	1,1	3,1	1,9	4,9

Сопоставление расчетных и экспериментальных данных позволяет говорить о достаточно хорошей их сходимости. Значения интенсивностей тепловыделения на передней поверхности, рассчитанные для различных скоростных режимов в условиях установившегося и прерывистого резания, позволяют сделать заключение о правильности сделанного предположения относительно существенно большей интенсивности тепловыделения при прерывистом резании.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Резников, А. Н. Теплофизика процессов механической обработки материалов / А. Н. Резников. – М. : Машиностроение, 1981. – 279 с.
2. Солодков, В. А. Физические основы контактных процессов при прерывистом резании : монография / В. А. Солодков ; ВолгГТУ. – Волгоград, 2018. – 156 с.
3. Солодков, В. А. Температурные особенности прерывистого резания / В. А. Солодков, С. И. Кормилицин, П. А. Норченко // Машиностроение : сетевой электронный научный журнал. – 2019. – Т. 7, № 3. – С. 30–35. – URL : <http://www.indust-engineering.ru/issues/2019/2019-3.pdf>.