

УДК 621. 923.

**ВЛИЯНИЕ НЕОДНОРОДНОСТИ НАПЛАВЛЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ТЕМПЕРАТУРУ РЕЗАНИЯ**

**Коломиец В.В.,** докт. техн. наук, **Спольник А.И.,** докт. физ.-мат. наук, **Ридный Р.В.,** канд. техн. наук, **Любичева К.М.,** Карпова Л.В. студентка  
(Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства им. П. Василенко)

**Vijay Kumar, prof, (Dr)**  
(IIMN GREANER NOIDA, India)

*Приведены результаты экспериментального определения и расчета температуры резания наплавленных материалов резцами из гексанита-Р*

**Актуальность.** Проведенными исследованиями процесса резания наплавленных материалов инструментами из поликристаллического сверхтвердого материала (ПСТМ) на основе нитрида бора типа гексанит-Р установлено, что тепловые явления в зоне резания являются одной из главных характеристик процесса, определяющих работоспособность и надежность инструментального материала, производительность обработки и качество обработанной поверхности. Поэтому анализ методов расчета и экспериментальное определение температуры в зоне чистовой обработки покрытий является актуальной задачей.

**Целью работы** явилось проведение анализа теоретических методов расчета усредненных температур в зоне резания от разных источников и экспериментального определения коэффициентов и показателей степени основных параметров для расчета температур в зоне резания наплавленных материалов высокой твердости.

**Анализ методов определения средних температур резания.**

При черновой обработке наплавленных материалов усредненные значения температур резания при их больших колебаниях, вызванных наличием макро неровностей на восстановленной поверхности, вызывающих ударные и колебательные нагрузки, не будут отражать действительного влияния температурного фактора на характеристики процесса резания [1...3].

Проведенным анализом теоретического обоснования и расчета тепловых явлений при резании материалов установлено три основных направления возглавляемых А.Н Резником [4], В.А. Остафьевым [5], и С.С. Силиным [6].

Для описания температуры любой точки инструмента с координатами X, Y, и Z в любой момент времени применяют дифференциальное уравнение теплопроводности:

$$\frac{\partial \dot{\theta}}{\partial t} = \frac{\lambda}{C \cdot P_0} \left( \frac{\partial^2 T}{\partial^2 X} + \frac{\partial^2 T}{\partial^2 Y} + \frac{\partial^2 T}{\partial^2 Z} \right), \quad (1)$$

где:  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности,  $C$  – удельная массовая теплостойкость,  $P_o$  – плотность инструментального материала.

Температура в любой точке инструмента в данном случае не учитывает влияние неоднородности наплавленного материала.

Усредненное значение главного источника тепловыделения, теплоты деформации определяется без учета характеристик неоднородности срезаемого слоя [4]:

$$Q_{\text{деф}} = Q_{\text{общ}} + Q_{\text{тр}} = 0,039(P_{Z_o} - (P_{N_o} \cdot \cos\gamma + P_{Z_o} \cdot \sin\gamma) \cdot V/K, \quad (2)$$

где:  $K$  - коэффициент усадки стружки;  $V$ ,  $P$ ,  $\gamma$  – скорость и силы резания и передний угол реза.

Средняя температура резания рассчитывается по формуле:

$$\theta = \frac{\ell_1 \cdot \dot{I}_1}{\lambda_s \cdot (\ell_1 + \ell_2)} \cdot \frac{0,142 \cdot \frac{\sqrt{\omega}}{\lambda} \cdot \sqrt{\frac{\hat{E} \cdot \ell_1}{V}} \cdot q_{\text{IT}} + (1+C) \cdot Q_{\text{аао}}}{\dot{I}_1 \cdot \frac{\ell_1}{\lambda_p} + \frac{\Delta}{40 \cdot \lambda} + \frac{0184 \cdot \sqrt{\omega}}{\lambda} \cdot \sqrt{\frac{\hat{E} \cdot \ell_1}{V}}}, \quad (3)$$

где:  $M_1$  – безразмерная величина, зависящая от параметров среза.

Усредненная величина температуры резания в данном случае не учитывает характеристик неоднородности наплавленных материалов, которые приводят к значительному колебанию нагрузок в процессе резания.

До некоторой степени этим условиям отвечает методика расчета температурного поля по конечным элементам, позволяющая изучать его изменения за  $10^{-5} \dots 10^{-6}$  с в течение длительного периода, разработанная В.А. Остафьевым на основе численного расчета температурного поля нестационарного процесса с помощью ЭЦВМ [5]. Значение температуры каждой точки поля в любой момент процесса резания и ее изменение в зависимости от времени определяется по следующей формуле:

$$\begin{aligned} \dot{\theta}_{m,n}^{P+1} = & T_{m,n}^P \cdot \left[ 1 - \frac{m_1 \cdot \Delta t \cdot (K_{j-1} + K_{j+1})}{(\Delta X)^2 \cdot (P + P \cdot C)} - \frac{2m \cdot \Delta t \cdot (K_{in} + K_{i-1})}{(P \cdot C + P_p \cdot C_p) \cdot (\Delta \dot{\theta}_i)^2} \right] + \frac{m_1 \cdot \Delta t}{(\Delta X)^2 \cdot (P_c + P_p \cdot \ell_p)} \cdot x \\ & \cdot (T_{m+1,n}^P \cdot K_{m+1} + T_{m-1,n}^P \cdot K_{m-1}) + \frac{2m_1 \cdot \Delta t}{(P_c + P_p \cdot C_p) \cdot (\Delta \dot{\theta}_i)^2} \cdot \tilde{\alpha} (T_{m+1,m}^P \cdot K_{n+1} + T_{n-1,m}^P \cdot K_{n-1}), \quad (4) \end{aligned}$$

где: индексы возле параметров - обозначение отдельных комплексов элементов режущего клина инструмента.

Из приведенной формулы (4) видно, что она более точно позволяет определять среднюю температуру резания, однако она чрезвычайно громоздкая, требует применения ЭЦВМ и не учитывает целый ряд характеристик

неоднородности, которые сопровождают процесс обработки наплавленных материалов.

Более точной методикой расчета температур и тепловых полей при резании неоднородных наплавленных материалов считается методика С.С. Силина – метода подобия при резании [6].

Относительная температура резания по этой методике может быть определена из такого общего выражения:

$$\theta = \frac{0,95 \cdot \tau_p \cdot P_e^{0,375} \cdot E^{0,055} \cdot erf^{0,4} \cdot \sqrt{\frac{P_e \cdot B}{4}}}{C_p \cdot B^{0,625} \cdot F^{0,15} \cdot D^{0,045} \cdot (1 - \sin \gamma)^{0,65} \cdot \sin^{0,03} \alpha}, \quad (5)$$

где: В, Д, Е, F – комплексные критерии, характеризующие только параметры среза и параметры режущего инструмента.

Таким образом, и в эту формулу входит ряд параметров, которые при обработке наплавленных материалов будут переменными и будут вызывать значительные колебания тепловых характеристик и не отражать неоднородность обрабатываемого материала.

Экспериментальное определение температуры резания наплавленных материалов резцами из гексанита-Р.

Наличие в наплавленном материале целого ряда дефектов приводит к образованию дополнительных концентраторов тепла, которые препятствуют нормальному теплообразованию и теплопередаче при резании. Резание наплавленных материалов характеризуется большими колебательными нагрузками, которые вызывают термоциклические и случайные изменения тепловых потоков, приводящее к быстрому износу режущего инструмента. Установлено, что при обработке наплавленных материалов дополнительными микроисточниками теплообразования является внутреннее трение между дефектными частицами наплавленного материала, которое превращается во внешнее трение отдельных элементов срезаемого слоя. Общее количество выделившегося тепла при резании в единицу времени приближенно может быть определено по формуле:

$$Q = A/E = P_z \cdot V/4200, \quad (6)$$

где: Q – количество теплоты в единицу времени, Ккал/мин;

A – работа резания, Дж/мин;

E – механический эквивалент теплоты, Дж/Ккал.

Тепловой баланс при резании определяется по формуле:

$$Q = Q_d + Q_{тп} + Q_{тз} = Q_c + Q_{дет} + Q_{и} + Q_{ср}, \quad (7)$$

где:  $Q_d$ ,  $Q_{тп}$ ,  $Q_{тз}$  – количество теплоты, выделившееся при деформации, трении о переднюю и задние поверхности инструмента;

$Q_c$ ,  $Q_{дет}$ ,  $Q_{и}$ ,  $Q_{ср}$  – количество теплоты переходящее из зоны резания в стружку, деталь, инструмент и окружающую среду.

Соотношения между всеми членами уравнения теплового баланса зависят от вида операции, наплавленного и инструментального материалов, режимов обработки, окружающей среды и характеристик неоднородности срезаемого наплавленного слоя. Знание и управление процессами теплообразования и его распределением позволяет повышать стойкость режущего инструмента и производительность процесса обработки восстановленных деталей машин. Из-за множества различных дефектов в наплавленном материале и зоне сплавления тепловые потоки являются нестационарными. Для расчета температуры резания и температур отдельных элементов режущего инструмента и обрабатываемой заготовки чаще всего пользуются эмпирическими зависимостями, полученными при обработке конкретного материала с помощью искусственных термопар [8...11].

Экспериментальное определение температуры резания при точении ряда наплавленных материалов проводилось методом искусственной хромельалюмелевой термопары с толщиной проволочек 0,1...0,2 мм, встроенной в отверстие заготовки из гексанита-Р. Отверстия были выполнены с помощью луча лазера с последующим ультразвуковым рассверливанием алмазной пастой АСМ 1/3. Э.д.с. термопары устанавливалась компенсационным усилителем постоянного тока Ф359 и регистрировалась показывающим двух координатным миллиамперметром Н359, позволяющим получать растянутую шкалу температур с точностью 0,5 град. Координаты размещения термопары в заготовке режущего инструмента определялись с помощью длинномера ИЗВ-21 с точностью до 0,001 мм.

Диэлектрические свойства гексанита-Р не позволяют определять коэффициент теплопроводности стационарными методами, которые широко используются в народном хозяйстве при измерении температурных полей электропроводных материалов [12]. Поэтому температурные изменения определяли по градиенту температур и установлению его зависимости от температуры теплового источника.

Градиент температуры в заготовке гексанита-Р определяли по формуле:

$$\text{grad } \Theta = \Delta T / \Delta \ell, \quad (8)$$

где:  $\Delta T$  – разность температур на участке длиной  $\Delta \ell$ .

С помощью полученного градиента методом экстраполяции определялась температура резания и температурное поле резца. Было установлено, что температурные градиенты в заготовке из гексанита-Р зависят от температуры, при которой они определялись [табл. 1].

Таблица 1 - Температурные градиенты в заготовках гексанита-Р

Интервалы температур источника, °С					
500...600	600...700	700...800	800...900	900...1000	1000...1100
Температурные градиенты, °С/мм					
140	150	170	200	240	290

Было установлено, что при чистовом точении наплавленных материалов резцами из гексанита-Р влияние технологических параметров процесса резания и геометрических параметров инструмента на температуру резания подчиняется общим закономерностям процессов обработки, но отличаются по величине этого влияния.

Общую зависимость температуры резания от таких параметров как скорость, подача и глубина резания, износ резца и твердость наплавленного материала степень его неоднородности можно выразить следующей эмпирической зависимостью:

$$\Theta^{\circ\text{C}} = C_0 \cdot V^{X_0} \cdot S^{Y_0} \cdot t^{Z_0} \cdot h^{I_0} \cdot H^{H_0}, \quad (9)$$

где:  $C_0$  – коэффициент, зависящий от условий обработки и характеристик неоднородности срезаемого слоя;

$V, S, t$  – скорость, подача и глубина резания;

$h$  – величина износа резца по задней поверхности, мм;

$H$  – твердость срезаемого наплавленного слоя, HRC.

Расчетные значения коэффициента и показателей степени параметров в формуле (9) для определения температуры резания при чистовом точении наплавленных материалов с учетом характеристик их неоднородности приведены в табл.2.

Таблица 2 - Опытные значения коэффициента и показателей степени параметров для определения температуры резания ряда наплавленных материалов резцами из гексанита-Р.

Марка наплавки	$C_0$	$X_0$	$Y_0$	$Z_0$	$I_0$	$H_0$
Нп – 30ХГСА	643,6	0,31	0,13	0,07	0,14	0,18
Нп – 12Х18Н9Т	664,2	0,45	0,16	0,09	0,18	0,19
ПП-Нп-25Х5ФМС	799,2	0,42	0,14	0,09	0,17	0,20
ПП-Нп-10Х14Т	617,4	0,42	0,15	0,08	0,16	0,22
ПП-Нп-30Х5Г2СМ	528,5	0,50	0,16	0,10	0,19	0,24
ПП-Нп-250Х10Б8С2Т	698,3	0,46	0,15	0,09	0,17	0,22

Опытные величины в табл. 2 получены при оптимальной скорости резания для каждого наплавленного материала и коэффициентов неоднородности и относительной их обрабатываемости резцами из гексанита-Р приведены в табл.3.

Таблица 3 - Опытные значения коэффициентов неоднородности и обрабатываемости ряда наплавленных материалов резцами из гексанита-Р

Марка наплавки	Твердость, HRC	Скорость резания, м/с	Коэффиц. неоднород.	Коэффиц. обработыв
Нп – 30ХГСА	38	2,0	3,0	1,0
Нп – 12Х18Н9Т	38	2,0	3,5	0,93
ПП-Нп-25Х5ФМС	38	1,8	3,6	0,86
ПП-Нп-10Х14Т	52	1,5	4,8	0,81
ПП-Нп-30Х5Г2СМ	56	1,4	5,6	0,76
ПП-Нп-250Х10Б8С2Т	58	1,4	5,5	0,78

Примечание: переменные:  $S = 0,07-0,1$  мм/об;  $t = 0,15-0,2$  мм;  $h = 0,2...0,4$  мм.

**Выводы.** Рассчитанные температуры резания по предложенной методике мало отличаются от экспериментально определенных температур с помощью искусственной термопары. Кроме того, подставляя в формулу (9) переменные параметры можно предопределять оптимальный температурный интервал для обработки подобных наплавленных материалов.

### Список литературы

1. Веретенников В.Е. Разработка комплексных технологических мероприятий с целью обеспечения качества поверхностного слоя деталей при обработке инструментами из СТМ. Дис.. канд. техн. наук. – Куйбышев, 1980. – 181 с.
2. Архангельский С.С. Остаточные напряжения и температура резания при черновом точении слоев, нанесенных на металл автоматической наплавкой в среде углекислого газа с направленным охлаждением. //Чистовая обработка деталей машин. – Саратов, 1975. – Вып. 1. – С. 126...132.
3. Иващенко Г.А. Сравнительные исследования температуры в зоне резания при обработке сталей и наплавленного слоя. //Технология восстановления и ремонта деталей сельскохозяйственной техники. Сб. н. тр. МИИСП, - М. 1979. – С. 70...73.
4. Резников А.Н. Теплофизика процессов механической обработки материалов. – М.: Машиностроение, 1981. – 279 с.
5. Остафьев В.А. Расчет динамической прочности режущего инструмента. – М.: Машиностроение, 1979. – 168 с.
6. Силин С.С. Метод подобия при резании материалов. М.: Машиностроение, 1979. – 152 с.
7. Силин С.С. Расчет температурных полей при действии движущихся источников тепла. – Инженерно физический журнал, 1963., Т. 3. – С. 763...766.

8. Остафьев В.А., Мазур Н.П. Применение метода тепловых источников для расчета температурных полей режущего инструмента. – ТЕМАН, №8, 1999. – С. 8...11.

9. Коломиец В.В., Тимофеев П.В., Барабан В.П., Карюк Г.Г., Федосеев В.В. Температурные поля в резцах из гексанита-Р при точении наплавленных поверхностей. – Алмазы и сверхтвердые материалы. М.: 1976. №10.- С. 3...4.

10. Обработка резанием деталей с покрытиями. /С.А. Клименко, В.В. Коломиец, М.Л. Хейфец и др. Под общей редакцией С.А. Клименко – К.: ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2011. – 353 с.

11. Ярмонов Н.А. Исследование нестационарных тепловых режимов при шлифовании прерывистыми и композиционными кругами. Автореф. дис.. канд. техн. наук. – Пермь, 1974. – 17 с.

12. Спольник А.И., Волчок И.В. Методы и установка для измерения коэффициента теплопроводности твердых тел в широком интервале температур. /Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенко. Технічні науки. «Технічний сервіс АПК, техніка та технології у сільськогосподарському машинобудуванні». Харків, 2011. Випуск 118. – С. 81...84.

## Анотація

**Вплив неоднорідності наплавлених матеріалів на температуру різання**  
Коломієць В.В., Спольник О.І., Рідний Р.В., Любичева К.М., Карпова Л.В.,  
Vijay Kumar

*Приведені результати експериментального визначення і розрахунку температури різання наплавлених матеріалів різцями із гексаніту-Р.*

## Abstract

**The influence of heterogeneity of surfacing materials on the temperature of cutting**

Kolomiets V.V., Spolnic A.I., Ridniy R.V., Liubicheva K.M., Karpova L.V., Vijay Kumar

*The results of experimental determination and calculation of the temperature of cutting of surfacing materials by chisels made of hexanit-R*