

САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С. П. КОРОЛЕВА

---

---

ИССЛЕДОВАНИЕ  
ТЕМПЕРАТУРЫ РЕЗАНИЯ  
И ЯВЛЕНИЙ НАРОСТООБРАЗОВАНИЯ  
ПРИ ТОЧЕНИИ

---

---

САМАРА 1995 [1997]

Составители: К.Ф.М и т р я е в, М.Б.С а з о н о в

УДК 621.9

Исследование температуры резания и явлений наростообразования при точении: Метод.указ.к лаб.раб./ Самар.гос.аэрокосм.ун-т; Сост. К.Ф.Митряев, М.Б.Сазонов. Самара, 1995. 20 с.

Показаны источники теплообразования, значение температуры резания для износа инструмента, производительности и качества обработки. Изложена методика измерения температуры в процессе резания и экспериментального установления зависимости температуры от элементов режима резания, связи наростообразования и шероховатости поверхности с температурой.

Предназначены для проведения лабораторной работы студентами специальности 0537 дневного и вечернего факультетов "Двигатели летательных аппаратов". Выполнены на кафедре "Резание, станки и режущие инструменты".

Печатается по решению редакционно-издательского совета Самарского государственного аэрокосмического университета имени академика С.П.Королева.

Рецензент Г.В.С м и р н о в

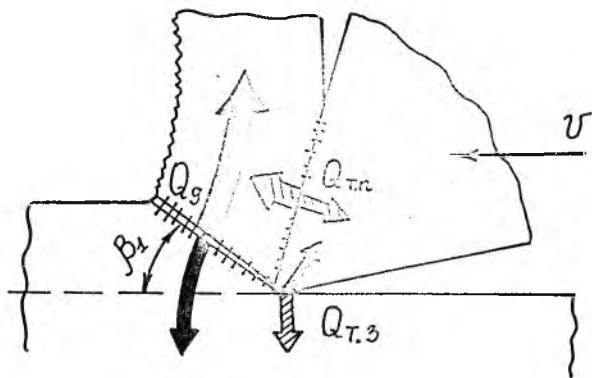
**ЦЕЛЬ РАБОТЫ:** ознакомление с методами измерения температуры резания; приобретение навыков работы с соответствующими приборами и оборудованием; изучение методики исследования и обработки экспериментальных данных для получения зависимости температуры от элементов режима резания; установление связи наростообразования с температурой резания.

### ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ПРОЦЕССЕ РЕЗАНИЯ

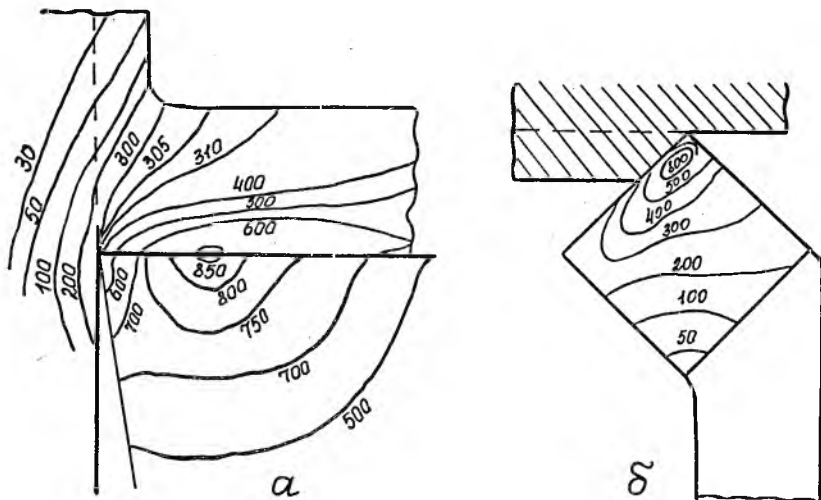
При механической обработке металлов лезвийным инструментом почти вся затраченная механическая энергия (работа) превращается в тепло. Основными источниками теплообразования являются: область наибольших пластических деформаций  $Q_d$  вблизи плоскости скалывания (сдвига) под углом  $\beta_d$ , зоны трения в месте контакта стружки с передней поверхностью инструмента  $Q_{т.п}$  и задних поверхностей резца с заготовкой  $Q_{т.з}$  (рис.1). Наибольшее количество выделяемого тепла уносится со стружкой. Несколько меньшая часть тепла отводится в заготовку и резец, вызывая их нагрев.

Переменное действие и суммирование тепловых потоков определяет неравномерность температурного поля (рис.2) и износа инструмента. Температура в зоне контакта стружки на передней поверхности может достигать  $900 \dots 1000^\circ\text{C}$  и на задних поверхностях  $700 \dots 800^\circ\text{C}$  при резании твердосплавными инструментами. Высокий уровень температуры обуславливает изменение физических сторон процесса резания – разупрочнение обрабатываемого материала и материала инструмента, изменение условий трения в связи с окислительными явлениями, явлениями адгезии и диффузии, увеличение интенсивности износа и снижение стойкости инструмента. В подповерхностном слое детали под действием тепла могут происходить структурно-фазовые изменения и термопластические деформации, приводящие к дополнительному упрочнению или разупрочнению

(отлукху) материала, к фформированию остаточных напряжений. Изменение в связи с разогревом условий контакта и трения в зоне резания поверхности приводит к образованию нароста или текущего слоя.

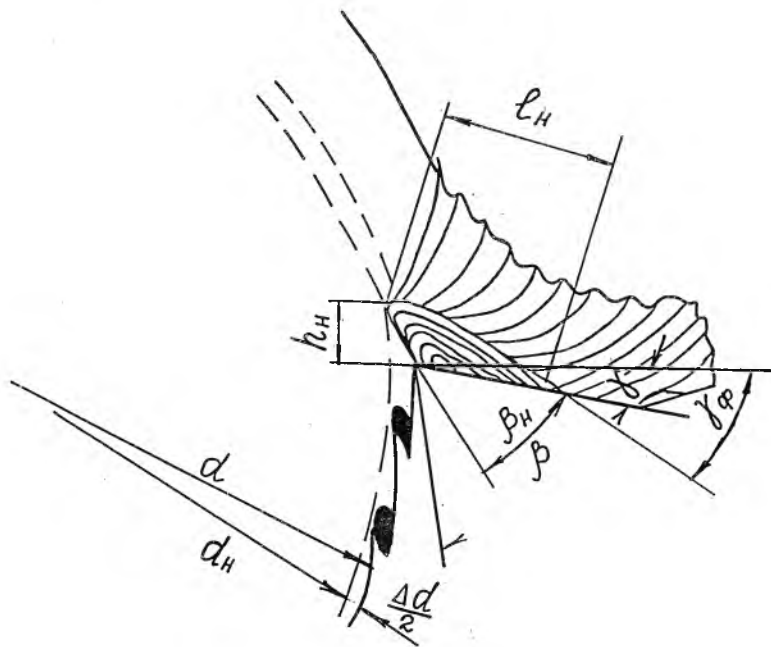


Р и с.1. Источники теплообразования  $Q_g, Q_{т.п}, Q_{т.з}$  и потоки отводимого тепла в стружку, резец и деталь



Р и с.2. Температурные поля в стружке, детали, резце (а) и на поверхности резца (б) при точении стали ШХ15 резцом Т14К8 ( $t=4$  мм,  $S_o=0,5$  мм/об,  $v=80$  м/мин)

Нарост – это очень сильно деформированный слой металла из прирезной части стружки, входящий в застойную зону и заторможенный на передней поверхности инструмента. Твердость нароста в 2,5...3 раза превосходит твердость обрабатываемого материала. Нарост имеет слоистое строение, причем его закругленная вершина контактирует со стружкой и срезаемым слоем (рис.3). Нарост изменяет геометрию режущего клина – уменьшает угол заострения  $\beta$  ( $\beta_{\text{н}} < \beta$ ) и увеличивает передний угол  $\gamma$  ( $\gamma_{\text{н}} > \gamma$ ). Нарост удлиняет носик инструмента и изменяет диаметр обработанной поверхности на  $\Delta d$ . Защищая переднюю и заднюю поверхности лезвия инструмента, нарост предохраняет его от износа.

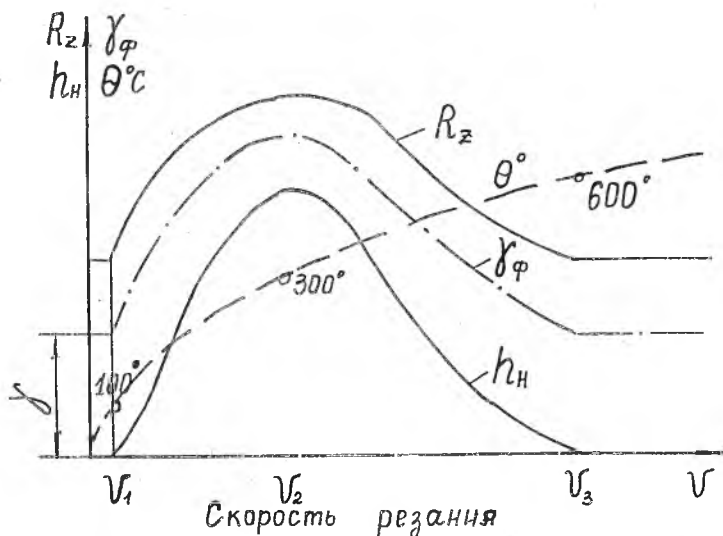


Р и с.3. Схема наростообразования и влияния нароста на геометрию режущего клина и шероховатость поверхности детали

Нарост – явление нестабильное, он непрерывно растет и разрушается. Частота образования нароста достигает 50...70 циклов в секунду [1]. Обломки нароста уносятся со стружкой и засоряют обработанную поверх-

ность, увеличивая ее шероховатость в 1,5...3 раза. Таким образом, при черновой обработке нарост – явление желательное, а при чистой он недопустим.

Нарост может иметь разную форму и размеры. Основное влияние на высоту и длину нароста оказывает скорость резания через температуру. Для среднеуглеродистых и низколегированных конструкционных сталей при резании на небольших скоростях (рис.4), когда температура меньше  $100^{\circ}\text{C}$ , нарост отсутствует. С увеличением скорости резания и температуры размеры нароста  $h_n$  и  $l_n$  возрастают. При температуре  $250...350^{\circ}\text{C}$  они достигают максимума. При дальнейшем увеличении скорости нарост уменьшается, прочность его снижается и при  $600^{\circ}\text{C}$  он исчезает, превращаясь в текущий слой. С уменьшением толщины среза диапазон наибольшего наростообразования смещается в сторону увеличения скоростей. При увеличении переднего угла размеры нароста уменьшаются. Этому же способствуют применение СОЖ и поводка передней поверхности. Следовательно, чтобы избавиться от нароста и получить чистую поверхность детали, следует работать либо на очень низких, либо на повышенных скоростях, использовать доведенные инструменты с большими передними углами и применять охлаждающие жидкости с хорошим смазывающим эффектом.



Р и с .4. Схема влияния скорости резания на температуру  $\theta$ , высоту нароста  $h_n$ , фактический передний угол  $\gamma_\phi$  и шероховатость поверхности детали  $R_z$

## 2. ОБОРУДОВАНИЕ, ИНСТРУМЕНТ, МАТЕРИАЛ, ПРИБОРЫ

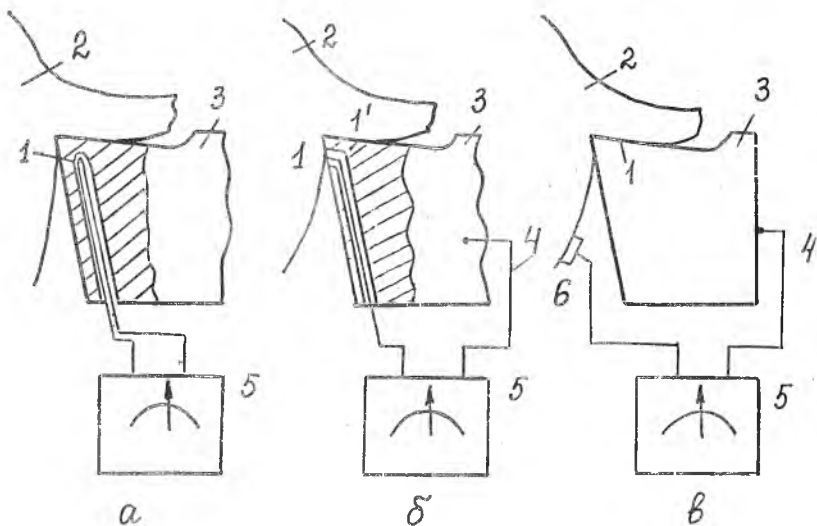
- 2.1. Токарно-винторезный станок ИКС2.
- 2.2. Цельный токарный резец из стали Р18 и резец, оснащенный пластинкой твердого сплава Т15К8 или ВК8 с геометрией:  $\alpha = \alpha_1 = 8^\circ$ ;  $\beta = 0^\circ$ ;  $\varphi = 45^\circ$ ;  $\varphi_1 = 15^\circ$ ;  $\lambda = 0^\circ$ ;  $r = 0,5$  мм.
- 2.3. Обрабатываемый материал - Ст.45 в состоянии поставки, без корки. Заготовка  $\varnothing = 40 \dots 100$  мм,  $l = 300 \dots 500$  мм.
- 2.4. Токоосъемное устройство для снятия термоЭДС (ТЭДС).
- 2.5. Градуировочный график заданной естественной термопары.
- 2.6. Милливольтметр (потенциометр) с диапазоном от 0 до 50 мВ.
- 2.7. Установка для градуирования термопары.

## 3. ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ РЕЗАНИЯ

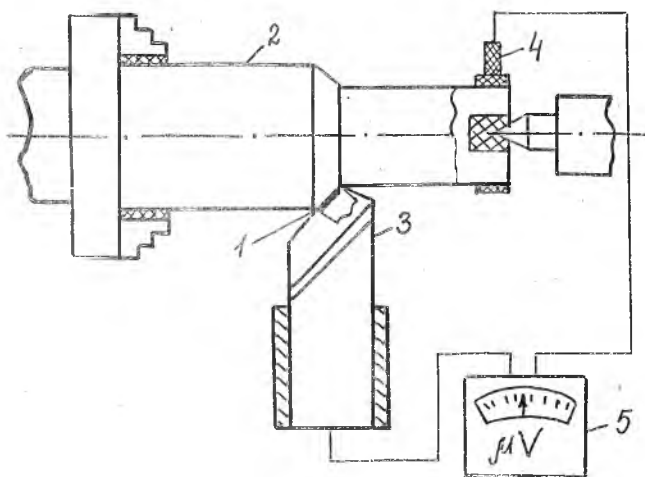
Измерение средней температуры резания может производиться по цветам побежалости и изменению структуры материала, радиационно-оптическим методом и методом термопар.

На рис. 5, а показана схема измерения температуры "искусственной" термопарой, которая вставляется в отверстие, просверленное в определенном месте инструмента [3] (предложена Я.Г. Усачевым в 1872г.). Место спая двух изолированных проводников 4 подводится возможно ближе к нагретым поверхностям инструмента, а холодные концы подсоединяются к милливольтметру 5. На рис. 5, б показан аналогичный метод - "полумискусственной" термопары, где один изолированный проводник выводится на заднюю I или переднюю I' поверхность инструмента и расклепывается. Вторым проводником является тело инструмента 3, который проводником 4 подсоединяется к милливольтметру 5. Оба метода позволяют измерить температуру в заданной точке, но очень трудоемки.

Наиболее простым и распространенным является метод "естественной" термопары (рис. 5, в и 6). Здесь проводниками являются деталь 2 и инструмент 3, а спаям термопары I - область контакта передней и задней поверхностей режущего лезвия с металлом стружки и заготовки. Для повышения точности показания термопары инструмент и заготовка тщательно изолируются от станка. Для передачи термотока к прибору 5 применяют токоосъемники со скользящим контактом 6, включающим бронзовое кольцо и бронзовую или медно-графитовую щетку.



Р и с.5. Схемы термопар: а - искусственная; б - полусинтетическая; в - естественная



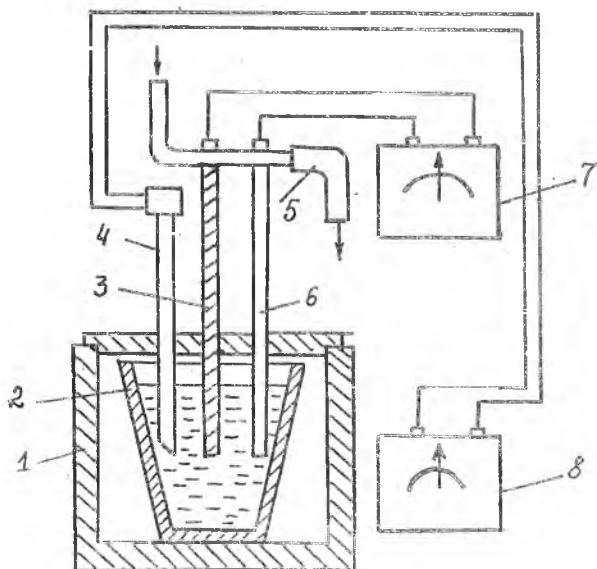
Р и с.6. Схема измерения температуры резания методом естественной термопары



"Естественная" термопара дает представление о среднеинтегральном значении температуры в зоне контакта. При тонких срезах и больших скоростях резания, когда площадь контакта мала, измененная температура близка к максимальной.

Достоинством метода "естественной" термопары является простота измерения и возможность его применения при любых видах лезвийной обработки (сверление, фрезерование и др.). Этот метод также может быть использован в автоматических адаптивных системах ЧПУ для поддержания в процессе резания постоянной оптимальной температуры, соответствующей оптимальной скорости, при изменении условий резания.

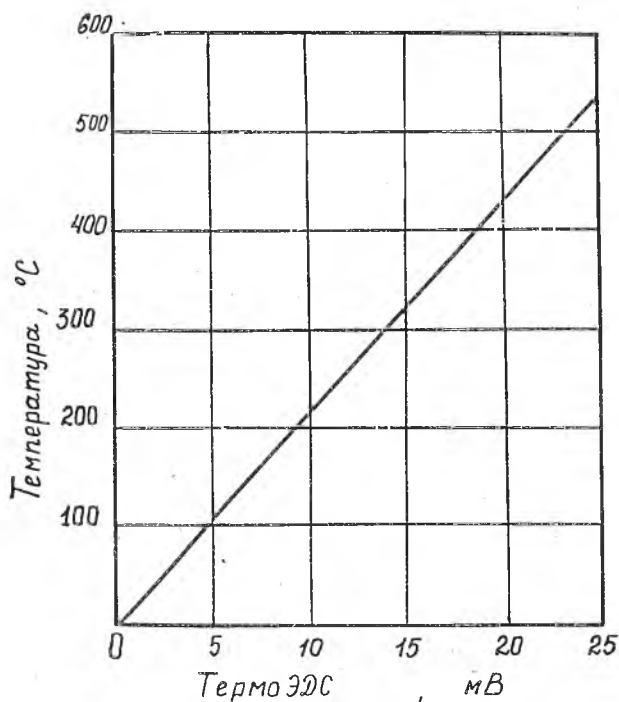
Для перекола показаний рабочего милливольтметра в градусы Цельсия производится его градуировка с "естественной" термопарой. Для этого в электрическую печь I (рис.7) помещают тигель 2 с расплавленным лег-



Р и с.7. Схема градуировки термопары "резец-деталь"

коплавким металлом (олово, сурьма, сплав Вуда и т.д.). В расплав на одинаковую глубину помещают стержни 3 и 6 из материала инструмента и заготовки, к концам которых через трубки с охлаждением 5 (для исключения появления паразитных термоЭДС) присоединяют проводники

рабочего милливольтметра 7. Рядом со стержнями устанавливают контрольную хромель-алюмелевую термопару 4, соединенную с прибором 8, имеющим шкалу в градусах Цельсия. Нагревая и охлаждая расплавленный металл, сравнивают показания рабочего милливольтметра 7 и прибора 8, строят градуировочный график зависимости  $^{\circ}\text{C}$ -мВ (рис.8).



Р и с.8. Градуировочный график рабочего милливольтметра

С помощью градуировочного графика по полученным в процессе резания значениям ТЭДС можно определить соответствующую температуру резания.

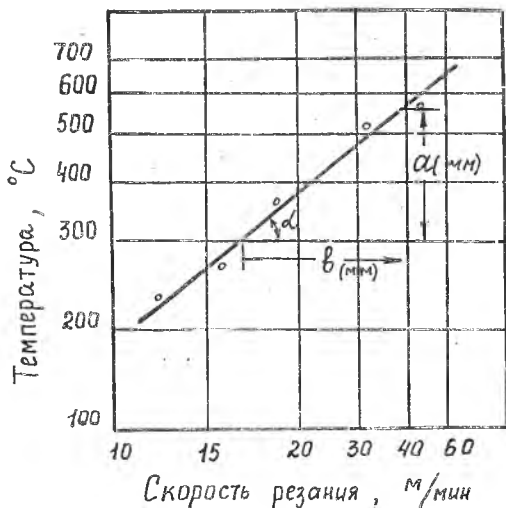
#### 4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ РЕЗАНИЯ

Экспериментальная зависимость температуры резания от скорости  $v$ , подачи  $S_0$  и глубины резания  $t$  обычно представляется в виде степенной функции

$$\theta = C_0 \cdot v^x \cdot S_0^y \cdot t^z \quad (1)$$

Анализ зависимости позволяет выяснить степень влияния элементов режима резания  $v$ ,  $S_0$  и  $t$  на температуру, установить порядок их назначения, оценить обрабатываемость материала и др.

В ходе проведения лабораторной работы производится точение заготовки из какой-либо конструкционной стали (Ст.30, Ст.45, Ст.40Х и т.п.) цельным быстрорежущим резцом Р18 с определенной геометрией. Проводятся три серии опытов: при переменной  $t$  и постоянных  $S_0$  и  $v$ ; при переменной  $S_0$  и постоянных  $t$  и  $v$ ; при переменной  $v$  и постоянных  $S_0$  и  $t$ . План экспериментов, переменные и постоянные параметры резания по сериям выбираются в соответствии с табл.1. Для каждой серии назначается по 4...5 опытов\*. Конкретные данные условий проводимых опытов, измеренные в процессе резания ТЭДС в мВ и переведенные по градуированному графику в значения температуры  $^{\circ}\text{C}$ , заносятся в протокол экспериментов (приложение 1).



Р и с.9. График зависимости температуры резания от скорости резания

\* План опытов может быть изменен по усмотрению преподавателя

По данным протокола строятся зависимости  $\theta - v$ ,  $\theta - S_0$ ,  $\theta - t$  в виде графиков с двойными логарифмическими шкалами. Через нанесенные для каждой зависимости экспериментальные точки проводят усредненные прямые. Отдельные, сильно отклоняющиеся от прямой точки, по внимание не принимаются. По тангенсах наклона прямых определяются показатели степеней  $z$ ,  $y$  и  $x$  при переменных в формуле (1). На рис. 9 в качестве примера приведена графическая зависимость температуры  $\theta$  от скорости резания, по которой можно написать частную зависимость  $\theta = c_1 \cdot v^z$ , где  $z = \lg \Delta = \frac{\alpha}{\beta}$ .

Таблица I

Рекомендуемые значения переменных и постоянных элементов режима резания при проведении экспериментов

t, мм	S <sub>0</sub> , мм/об	v, м/мин									
		Для получения температурной зависимости					для наблюдения за наростообразованием (твердосплавным резцом)				
		3	10	20	30	40	50	100	150	200	250
-	0,07			■	●						
3	0,1	○	○	■	○ ●		○	○	○	○	○
2	0,15	□	□	□ ■	●	□		□	□	□	
-	0,2			■	●						
-	0,3			■							
-	0,4				●						

Серия глубин для разных вариантов рекомендуется при  $t=1; 1,5; 2$  и  $3$  мм. Рекомендуемые постоянные значения  $v$  и  $S_0$  обозначены в таблице двойными знаками.

Подобным образом определяются частные зависимости  $\theta = c_2 \cdot S_0^y$  и  $\theta = c_3 \cdot t^x$ . Значение коэффициента  $C_0$  в формуле (1) определяется из выражения  $C_0 = \theta / v^z \cdot S_0^y \cdot t^x$ , в которое подставляются конкретные значения  $\theta$ ,  $v$ ,  $S_0$  и  $t$ , взятые из протокола для произвольно выбранных опытов. Из нескольких рассчитанных значений  $C_0$  определяется среднее арифметическое, которое и подставляется в формулу (1). Все расчеты проводятся на обратной

стороне протокола. В конце расчета записывается итоговая формула (I) с численными значениями  $C_0$ ,  $z$ ,  $y$ ,  $x$ . Например:

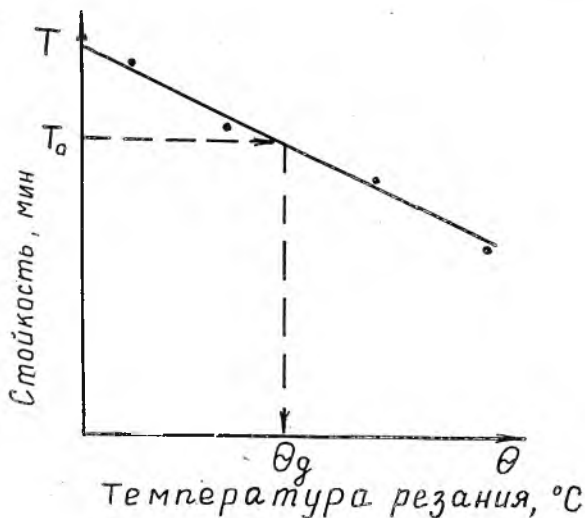
$$\theta = 450 \cdot v^{0,52} \cdot S_0^{0,35} \cdot t^{0,15}$$

Из анализа зависимости (I) обычно вытекает, что на температуру резания сильнее всего влияет скорость резания, меньше подача и еще меньше глубина резания. Поэтому при назначении режима резания для получения наименьшей интенсивности износа инструмента и наибольшей производительности обработки в первую очередь выбирают наибольшую глубину резания, затем подачу и затем, с учетом заданного периода резания, рассчитывают скорость резания.

Формула (I) может быть использована для ускоренного определения зависимости скорости от глубины резания и подачи при заданной стойкости  $T_0$  в зависимости от подачи  $S_0$  и глубины резания  $t$ . Для этого в левую часть зависимости (I) подставляем допустимую для данного инструментального материала температуру  $\theta_g$  и решаем ее относительно  $v$ :

$$v_v = \frac{\left(\frac{\theta_g}{C_0}\right)^{\frac{1}{z}}}{S_0^{y/z} \cdot t^{x/z}} = \frac{C_v}{S_0^{y_v} \cdot t^{x_v}} \quad (2)$$

Значение  $\theta_g$  для заданного периода резания  $T_0$  определяют по графику зависимости стойкость-температура (рис.10). График строится



Р и с.10. Зависимость стойкости инструмента от температуры резания

на основании нескольких стойкостных опытов, при проведении которых измеряют одновременно температуру резания, соответствующую износу  $h_z = 0, 1 \dots 0, 15$  мм. Чем выше заданный период резания  $T_0$ , тем ниже допустимая температура. Она обычно на  $100 \dots 200^\circ\text{C}$  ниже критической теплоустойчивости (красностойкости) инструментального материала. Так, для быстрорежущих сталей  $\theta_g = 450 \dots 550^\circ\text{C}$ , для твердых сплавов группы ВК  $\theta_g = 750 \dots 850^\circ\text{C}$ , для группы ТК  $\theta_g = 850 \dots 950^\circ\text{C}$ . По мере износа инструмента температура резания повышается и по достижении критерия притупления достигает критического значения.

По зависимости (2) определяют скорость резания для выбранной допустимой температуры.

## 5. ИССЛЕДОВАНИЕ ЯВЛЕНИЯ НАРОСООБРАЗОВАНИЯ

Наблюдение явления наростообразования и соответствующего изменения шероховатости поверхности производят при проведении серии экспериментов с различными скоростями резания. Так как весь диапазон скоростей при резании быстрорежущими резцами может сопровождаться наростообразованием, то производят дополнительные опыты без изменения  $t$  и  $S_0$  твердосплавным резцом с аналогичной геометрией. Скорость повышают ступенчато до  $200 \dots 250$  м/мин, до полного исчезновения нароста и получения блестящей поверхности на заготовке. По зависимости (1) и скорости, при которой исчезает нарост, определяют температуру. Составляют скорость и температуру при разных подачах, полученные при проведении опытов разными бригадами.

## 6. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТА НА ЭВМ

Обработка результатов экспериментов на ЭВМ позволяет исключить необходимость построения графиков зависимости температуры резания от элементов режима, упростить и ускорить процесс обработки, получить более точные коэффициенты и показатели степеней в зависимостях 1 и 2.

Для этого в ЭВМ вводят программу (см. приложение) с магнитной дискеты или вручную с клавиатуры дисплея (обычно эту работу выполняет лаборант). Затем ЭВМ переходит на рабочий режим, машиной делается последовательный запрос исходных данных, которые необходимо вводить с клавиатуры дисплея через запятую:

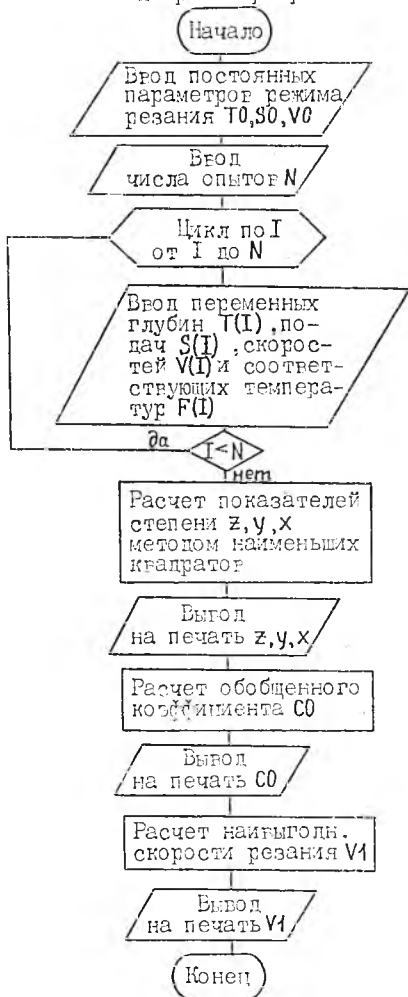
- постоянные значения глубины, подачи, скорости;
- число опытов (не более десяти);
- значение глубин и соответствующих температур;

- значение подачи и соответствующих температур;
- значение скоростей и соответствующих температур.

После ввода исходных данных ЭВМ выдает в распечатанном виде значения показателей степеней при  $v$ ,  $S_0$  и  $t$ , обобщенного коэффициента  $C_0$  в зависимости (1) и величину допустимой скорости резания  $v_1$  в зависимости (2) для постоянных значений подачи и глубины.

Программа расчета на мини-ЭВМ ДМК-3 приведена в приложении.

Алгоритм программы



## ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

1. Каковы достоинства и недостатки измерения температуры методом "искусственной" и полумискусственной" термопары?
2. В чем состоит суть измерения температуры методом "естественной" термопары и от чего зависит величина ТЭДС?
3. Какую температуру мы измеряем методом "естественной" термопары?
4. Как переводится ТЭДС в градусы Цельсия?
5. Какие мероприятия проводят для повышения точности измерения методом "естественной" термопары?
6. От чего зависит температура в процессе резания на контактных поверхностях?
7. Как влияют элементы режима резания  $v$ ,  $S_0$  и  $t$  на температуру и почему?
8. Как влияет температура резания на износ и стойкость инструмента?
9. Как влияет температура резания на шероховатость обработанной поверхности?
10. Как определяют степень влияния элемента режима резания на температуру резания?
11. Как влияет температура резания на состояние (качество) поверхностного слоя?
12. Какова связь нароста с температурой резания?
13. Как влияет нарост на процесс резания и качество поверхностного слоя?
14. Как избавиться от нароста?
15. Как получить формулу для расчета скорости резания из температурной зависимости?



```

1 OPEN "LP:"FOR OUTPUT AS FILE #3
3 PRINT #3,"обработка результатов"
4 PRINT #3,"исследования температуры резания"
5 PRINT "обработка результатов исследования температуры резания"
6 PRINT #3," ---"
7 PRINT #3," "
8 PRINT #3," "
9 PRINT #3," студентов: _____"
10 DIM A(10),F(10),V(10)
15 PRINT "введите постоянные значения глубины T0, подачи S0, скорости V0"
20 INPUT T0,S0,V0
25 PRINT "введите число опытов"
30 INPUT N
35 R=I
37 PRINT #3," "
38 PRINT #3," "
40 PRINT "обработка температуры резания"
42 PRINT #3,"для температуры резания"
43 PRINT #3," "
45 P=I
50 M1=0 / M3=0 / M4=0 / M5=0
55 FOR I=1 TO N
60 IF P=2 THEN GO
65 PRINT "введите значение глубины и соответствующей температуры"
70 GO TO 85
80 PRINT "введите значение подачи и соответствующей температуры"
85 INPUT A(I),F(I)
90 M1=M1+LOG(A(I))
95 M3=M3+(LOG(A(I)))^2
100 M4=M4+LOG(F(I))
105 M5=M5+LOG(F(I))*LOG(A(I))
110 NEXT I
115 M2=M1^2
120 B=EXP((M4*M3-M1*M5) / (N*M3-M2))
125 Q=(N*M5-M1*M4) / (N*M3-M2)

```

```

130 IF P=2 THEN 150
135 K=B / X=Q
140 PRINT 'X=';X
142 PRINT #3,"показатель степени при глубине резания X=";X
145 P=P+1 / GO TO 50
150 L=B / Y=Q
155 PRINT 'Y=';Y
157 PRINT #3,"показатель степени при подаче Y=";Y
160 C1=K/Q0^Y
165 C2=L/T0^X
170 C=(C1+C2)/2
171 L1=0 / L3=C / L4=0 / L5=0
172 FOR I=1 TO N
173 IF P=2 THEN 170
174 PRINT "введите значение подачи и соответствующей температуры"
175 GO TO 177
176 PRINT "введите значение скорости и соответствующей температуры"
177 INPUT F(I),V(I)
180 L1=L1+LOG(F(I))
185 L3=L3+(LOG(F(I)))^2
190 L4=L4+LOG(V(I))
195 L5=L5+LOG(V(I))*LOG(F(I))
200 NEXT I
215 L2=L1^2
220 B1=EXP((L4*L3-L1*L5)/(N*L3-L2))
225 Q1=(N*L5-L1*L4)/(N*L3-L2)
230 IF P=2 THEN 250
235 K1=B1 \ X1=Q1
240 PRINT X1= ;X1
242 PRINT #3,"показатель степени при подаче X1=";X1
245 P=P+1 \ GO TO 171
250 H=B1 \ Z=Q1
255 PRINT 'Z=';Z
257 PRINT #3,"показатель степени при скорости Z=";Z
260 C3=K1/V0^X1
265 C4=H/V0^X1

```

```
270 J=(C3+C4)/2
275 C0=(C+J)/C
280 V1=((500/C0)^(1/Z))/(S0^(Y/Z)*T0^(X/Z))
300 PRINT "коэффициент в обобщенной формуле C0=";C0
310 PRINT #3,"коэффициент в обобщенной формуле C0=";C0
313 PRINT "допустимая скорость резания V1=";V1;"м/мин."
315 PRINT #3,"допустимая скорость резания V1=";V1;"м/мин."
320 R=R+J
330 CLOSE #3
340 END
```

## Библиографический список

1. Бобров В.Ф. Основы теории резания конструкционных материалов. М.: Машиностроение, 1975.- 343 с.
2. Кацев П.Г. Статистические методы исследования режущего инструмента. М.: Машиностроение, 1973.- 147 с.
3. Резников А.Н. Теплообмен при резании и охлаждении инструментов. М.: Машгиз, 1968.- 149 с.
4. Технология обработки конструкционных материалов.  
/ Под ред. П.Г.Петрухи. М.: Высш.шк., 1991.- 512 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ РЕЗАНИЯ И ЯВЛЕНИЯ  
НАРОСТООБРАЗОВАНИЯ ПРИ ТОЧЕНИИ

Составители: Митряев Константин Федорович,  
Сазонов Михаил Борисович

Редактор Т.К.Кретина  
Техн.редактор Г.А.Усацева  
Корректор Н.С.Куприянова

Подписано в печать 16.01.96г. Формат 60x84<sup>I</sup>/16.

Бумага офсетная. Печать офсетная.

Усл.печ.л. I, 16. Усл.кр.-отт. I, 32. Уч.-изд.л. I, 2.

Тираж 200 экз. Заказ 35.

Самарский государственный аэрокосмический университет  
имени академика С.П.Королева  
443086 Самара, Московское шоссе, 34.

---

Издательство Самарского государственного  
аэрокосмического университета  
443001 Самара, ул. Ульяновская, 16.

Отпечатано в ИПЦ АО "САМЕКО" Тир.200 Зак.1418