

Владимирский государственный университет

# ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ МЕТАЛЛОВ

Методические указания  
к лабораторным работам

Владимир 1999

Министерство образования Российской Федерации  
Владимирский государственный университет  
Кафедра технологии машиностроения

ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ  
ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ  
МЕТАЛЛОВ

Методические указания  
к лабораторным работам

Составитель  
А.А.РЯЗАНОВ

Владимир 1999

УДК 621.9.02.001.2(035)

Рецензент  
Кандидат технических наук, доцент Владимирского  
государственного университета  
*А.В. Белевич*

Печатается по решению редакционно-издательского совета  
Владимирского государственного университета

**Физические основы процесса резания металлов** : Метод. указания к лабораторным работам /Владим. гос. ун-т; Сост. А.А.Рязанов. Владимир, 1999. 48 с.

Составлены в соответствии со стандартом специальностей 120100 - технология машиностроения и 120700 - машины и технология высокоэффективных процессов обработки и предназначены для всех форм обучения, включая ускоренную. Содержат четыре лабораторные работы, предусматривающие закрепление полученных знаний по отдельным разделам теоретического курса дисциплины «Процессы формообразования и инструмент», изучение и освоение необходимых средств и методов измерений, методики проведения эксперимента и обработки полученных результатов.

Ил. 22. Библиогр.: 4 назв.

УДК 621.9.02.001.2(035)

## ТРЕБОВАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ И ОФОРМЛЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

К выполнению лабораторных работ допускаются только студенты, прошедшие инструктаж по охране труда и мерах пожарной безопасности. Лабораторные работы проводятся только под наблюдением преподавателя или учебного мастера.

Отчёт о проделанной работе выполняется в соответствии с требованиями стандарта (СТП 71.4-84. Общие положения, структура, требования и правила оформления отчётов о лабораторных работах).

Отчёт должен содержать : название лабораторной работы; цель работы; основы теории, схемы и краткое описание работы; результаты измерений и вычислений; необходимые графические зависимости; выводы. Результаты измерений и вычислений необходимо оформить в виде таблицы, форма которой разрабатывается студентом. При этом следует исходить из следующих рекомендаций : 1) в таблицу включать только параметры, изменяющиеся в процессе эксперимента, все постоянные данные (например марка станка, материал заготовки и т.д.) записываются перед таблицей; 2) каждая строка таблицы имеет номер; 3) таблица должна состоять из двух частей : сначала идут столбцы, содержащие сведения о параметрах, *задаваемых* при эксперименте (подача, скорость резания и т.д.), затем идут столбцы, содержащие *измеряемые и вычисляемые* величины.

### Лабораторная работа № 1

#### ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ И ГЕОМЕТРИИ РЕЗЦА НА ПРОЦЕСС НАРОСТООБРАЗОВАНИЯ

##### 1. Цель работы

- Ознакомиться с процессом и механизмом наростообразования.
- Изучить влияние элементов режима резания и геометрии резца на процесс наростообразования.

##### 2. Оборудование, приборы, инструмент и материалы

Токарно-винторезный станок, заготовки из стали, чугуна, бронзы и других материалов, резцы с различными углами заточки, инструментальный микроскоп.

### 3. Краткие теоретические сведения

Резанию большинства конструкционных материалов при определённых условиях сопутствует явление, называемое наростообразованием. **Наростом** называют клиновидную, неподвижную часть материала обрабатываемой заготовки, расположенную у лезвия инструмента на его передней поверхности (рис.1). Нарост образуется из обрабатываемого материала и его окисных плёнок. Вследствие явления наклёпа материал нароста упрочняется и его твёрдость повышается в 2,5...3 раза по сравнению с обрабатываемым материалом. Форму и размеры нароста можно характеризовать тремя основными параметрами: высотой  $H$ , шириной подошвы  $l$  и фактическим передним углом  $\gamma_{\text{ф}}$  (см. рис.1).

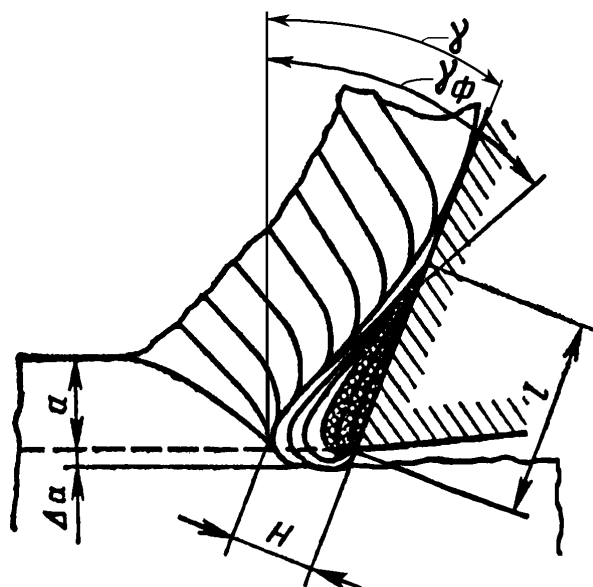


Рис. 1. Схема строения нароста

С помощью высокоскоростной киносъёмки было установлено, что нарост не является стабильным, а постоянно и очень быстро меняет свои размеры. В сотые доли секунды нарост возникает, увеличивается до максимального размера, а затем частично или полностью разрушается. Частота срывов нароста растёт с увеличением скорости резания и при  $V = 40...60$  м/мин составляет 3000...4000 циклов в минуту.

Процесс образования нароста схематически можно представить следующим образом. На ювенильных (химически чистых) поверхностях стружки и инструмента при определённых температуре и давлении создаются условия для адгезионного (межмолекулярного) схватывания материалов стружки и инструмента. В результате происходит прочное присоединение контактного слоя стружки к передней поверхности и образование заторможенного слоя, служащего фундаментом для нароста. При скольжении стружки по заторможенному слою происходит аналогичное схватыва-

ние и образование следующего слоя нароста, приводящее к увеличению его высоты. Высота нароста растёт до тех пор, пока его прочность становится недостаточной для восприятия нагрузки со стороны стружки, и нарост разрушается. Разрушению нароста способствует и то, что после достижения им определённой высоты нарост свешивается за лезвие инструмента, в результате чего тело нароста перестаёт находиться в условиях всестороннего сжатия. Обычно нарост разрушается не весь, а только его верхняя, менее прочная область. Одна часть разрушенного нароста уносится стружкой, а вторая – обработанной поверхностью. После разрушения нарост вновь возрастает и т.д.

На размеры нароста основное влияние оказывают род и механические свойства обрабатываемого материала, скорость резания, толщина срезаемого слоя (подача), передний угол инструмента и род применяемой смазывающе-охлаждающей жидкости.

Все материалы можно разделить на материалы склонные к наростообразованию и не склонные. К первой группе относятся конструкционные, углеродистые и большинство легированных сталей, серый чугун, алюминий, силумин. Ко второй – медь, латунь, бронза, олово, свинец, большинство титановых сплавов, белый чугун, закалённые стали, легированные стали с большим содержанием хрома и никеля. Если материал склонен к наростообразованию, то размеры нароста возрастают при уменьшении твёрдости и повышении пластичности материала.

Наиболее сложно на размеры нароста влияет скорость резания (рис.2). При очень малых скоростях резания (зона I) нароста нет. При повышении скорости резания от  $V_1$  до  $V_2$  высота нароста растёт, достигая максимума, а затем при дальнейшем повышении скорости до  $V_3$  – уменьшается (зона II). В зоне III нарост отсутствует. Для среднеуглеродистых конструкционных сталей величины скоростей имеют следующие значения :  $V_1 = 0.5...1$  м/мин,  $V_2 = 15...30$  м/мин,  $V_3 = 80...100$  м/мин. Интересный результат получается при сопоставлении величины нароста и температуры в зоне резания. Экспериментально установлено, что при наиболее распространённых условиях резания сталей на-

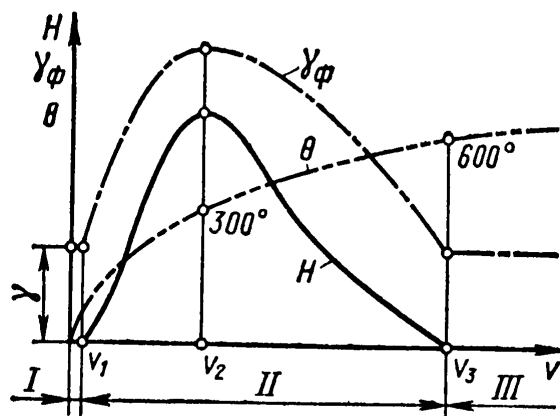


Рис. 2. Схема влияния скорости резания на высоту нароста  $H$ , фактический передний угол  $\gamma_\phi$  и температуру резания  $\theta$

рост имеет максимальную высоту при таком значении скорости резания, при котором температура в зоне резания  $\Theta \approx 300^\circ\text{C}$ , и исчезает при значении скорости, при которой температура –  $\Theta \approx 600^\circ\text{C}$  (см.рис.2). Это объясняется значительным снижением сопротивления материала нароста пластическому сдвигу при температурах более  $300^\circ\text{C}$ .

На рис.3 представлено влияние скорости резания на высоту нароста при различных передних углах (рис. 3,а) и толщинах срезаемого слоя (подачах) (рис. 3,б). Все кривые  $H=f(V)$  имеют горбообразную форму, но при меньших углах  $\gamma$  и больших толщинах срезаемого слоя высота кривых

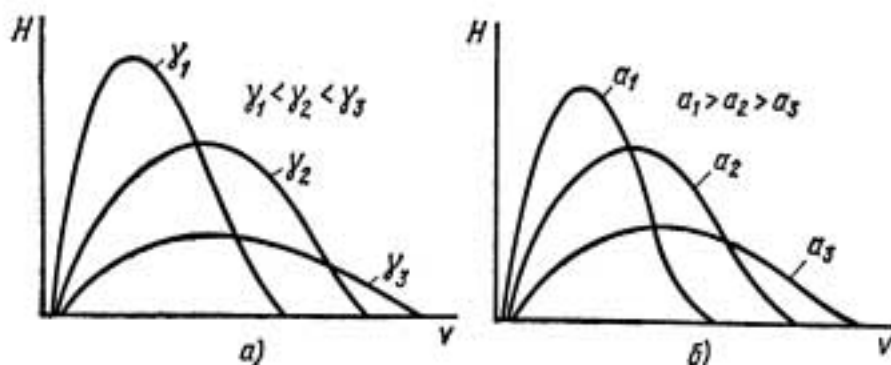


Рис. 3. Схема влияния скорости резания на высоту нароста при различных передних углах  $\gamma$  и толщинах  $a$  срезаемого слоя

больше, а основание – меньше. Также, чем меньше передний угол и больше толщина срезаемого слоя, тем меньше величины скоростей  $V_2$  и  $V_3$ . Это легко объяснить, вспомнив зависимость величины нароста от температуры. Действительно, при уменьшении угла  $\gamma$  и увеличении толщины срезаемого слоя силы резания и степень деформации срезаемого материала увеличиваются и поэтому температура в зоне резания достигает значений  $300^\circ\text{C}$  и  $600^\circ\text{C}$  уже при меньших скоростях резания. Если передний угол  $\gamma > 40...45^\circ$ , то при любых условиях обработки нарост не образуется.

Всё, что уменьшает силы адгезии на передней поверхности инструмента, уменьшает размеры нароста. Поэтому при применении смазывающе-охлаждающих жидкостей, образующих на материале инструмента прочные смазочные плёнки и снижающих коэффициент трения, высота нароста становится меньше.

Возникновение нароста изменяет условия работы инструмента. Вследствие высокой твёрдости и клиновидной формы нарост выполняет функцию режущего клина. При этом инструмент работает с фактическим передним углом  $\gamma_f$  значительно большим, чем угол заточки  $\gamma$  (см.рис.1 и рис.2). Это уменьшает степень деформации срезаемого слоя и силы резания. Нарост также выполняет защитные функции по отношению к инструменту. Перемещаясь по наросту, стружка меньше изнашивает переднюю

поверхность.

Однако образование нароста имеет и отрицательную сторону. Из-за того, что вершина нароста свешивается за лезвие инструмента, действительная толщина срезаемого слоя становится больше (на  $\Delta a$ , см.рис.1). Нарост увеличивает шероховатость обработанной поверхности. При периодическом разрушении вершины нароста на обработанной поверхности образуются надрывы и борозды, а часть нароста внедряется в обработанную поверхность (рис.4). Таким образом, при чистовой обработке нарост не допустим. При росте и разрушении нароста происходит периодическое изменение фактического переднего угла инструмента и, как следствие, периодическое изменение силы резания. Это может привести к возникновению вынужденных колебаний системы СПИД (вибрации инструмента и детали). Поэтому нарост может быть не желателен не только при чистовой, но и при черновой обработке.

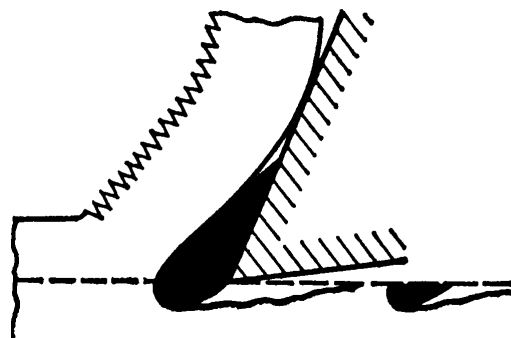


Рис. 4. Разрушение вершины нароста и образование неровностей на поверхности резания

Так как процессы деформации обрабатываемого материала в зоне стружкообразования имеют одну и ту же физическую основу не только при токарной, но и при остальных методах обработки резанием, то нарост образуется и на рабочих лезвиях других режущих инструментов. Так, обработку конструкционных сталей фасонными резцами обычно ведут со скоростями резания  $V = 30 \dots 50$  м/мин и подачами  $S = 0.02 \dots 0.05$  мм/об, что соответствует зоне устойчивого наростообразования (зона II, см. рис.2). То же касается и развёрток, которые работают со скоростями резания  $V = 10 \dots 30$  м/мин. Экспериментально установлено образование весьма развитого нароста при протягивании (обычно скорость резания при протягивании составляет  $V = 1 \dots 10$  м/мин). Киносъёмка процесса резания протяжками показывает, что нарост образуется и при срезании лезвиями инструмента исключительно тонких слоёв металла ( $0.003 \dots 0.008$  мм).

#### 4. Выполнение работы

1. Получить образцы корней стружек при различных режимах резания и углах заточки резца. Рекомендуются следующие серии опытов и примерные значения варьируемых параметров:



- а) при различных скоростях резания ( $V_{рез} = 0.1; 0.2; 0.3; 0.4; 0.5$  м/с);
- б) при различных подачах ( $S = 0.1; 0.2; 0.3; 0.4$  мм/об);
- в) при различных передних углах резца ( $\gamma = 5; 10; 15; 20$  °).

В каждой серии опытов варьируется только один параметр. Остальные элементы режимов резания и заточки резца остаются постоянными.

2. Рассмотреть нарост с помощью инструментального микроскопа и измерить его величину для каждого полученного образца. Результаты измерений занести в таблицу.

3. Построить графики зависимости величины нароста от режимов резания и геометрии резца. Проанализировать полученные результаты.

4. Оформить отчёт по работе.

## 5. Вопросы для самопроверки

1. Что называется наростом? Какими параметрами характеризуются его форма и размеры? Как зависит нарост от времени?

2. Механизм образования нароста.

3. Как влияют на размеры нароста :

а) физико-механические свойства обрабатываемого материала;

б) скорость резания;

в) передний угол резца;

г) толщина срезаемого слоя;

д) СОЖ?

4. Как влияет нарост на процесс резания, на качество обработанной поверхности?

5. Процесс наростообразования при различных видах обработки металлов резанием.

## Лабораторная работа № 2

### ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ И ГЕОМЕТРИИ РЕЗЦА НА УСАДКУ СТРУЖКИ

#### 1. Цель работы

- Ознакомиться с типами стружек при резании пластичных и хрупких материалов и с явлением усадки стружки.
- Ознакомиться с методикой проведения работы, с измерительными приборами и методами измерений.
- Исследовать влияния режимов резания и геометрии резца на величину усадки стружки.

## 2. Оборудование, приборы, инструмент и материалы

Токарно-винторезный станок, заготовки из стали, чугуна, бронзы и других материалов, резцы с различными углами заточки, весы торсионные или аналитические, штангенциркуль, микрометр, линейка, инструментальный микроскоп, тонкая проволока ( $\varnothing 0.2 \dots 0.3$  мм).

## 3. Краткие теоретические сведения

**Типы стружек.** В 1870 г. И.А.Тиме была предложена классификация типов стружек, которая оказалась настолько удачной, что ею пользуются и в настоящее время. Согласно данной классификации стружку подразделяют на три вида: *скалывания*, *сливная* и *надлома*. Стружки скалывания и сливную называют стружками сдвига, так как их образование связано с напряжениями сдвига. Стружку надлома называют стружкой отрыва, так как её образование связано с растягивающими напряжениями. Внешний вид перечисленных типов стружек изображён на рис.1. Стружка скалывания (рис.1,а) состоит из отдельных пластически деформированных и взаимно сдвинутых “элементов” 1, достаточно прочно соединённых по плоскостям скалывания. Границу *m-n*, отделяющую образовавшийся элемент стружки от срезаемого слоя, называют *поверхностью скалывания*. Основным признаком сливной стружки (рис.1,б) является её сплошность (непрерывность). При отсутствии препятствий на её пути сливная стружка сходит непрерывной лентой, завиваясь в спираль. Контактная поверхность стружки 1, прилегающая к передней поверхности инструмента, сравнительно гладкая, а при высоких скоростях резания отполирована в результате трения о переднюю поверхность инструмента. Свободная поверхность стружки 2 покрыта мелкими зазубринами - насечкой и при высоких скоростях резания имеет бархатистый вид. Стружка надлома (рис.1,в) состоит из отдельных, не связанных друг с другом кусочков различной формы и размеров. Образованию стружки надлома сопутствует мелкая металлическая пыль. Поверхность разрушения *m-n* может располагаться ниже поверхности резания, в результате чего обработанная поверхность покрыта следами

от выломанных из неё кусочков стружки и имеет неровный шероховатый вид.

Тип стружки во многом зависит от обрабатываемого материала и его механических свойств. При резании пластичных материалов образуется сливная стружка, которая по мере увеличения твёрдости и

прочности обрабатываемого материала переходит в стружку скалывания. При обработке хрупких материалов (чугун, бронза) образуется стружка надлома.

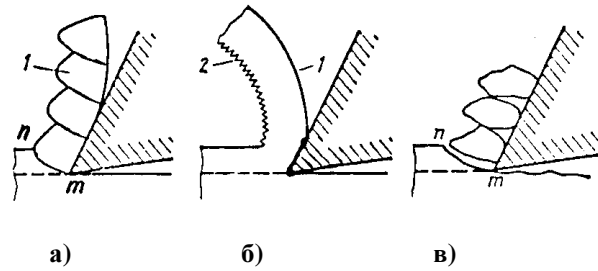


Рис. 1. Типы стружек, образующихся при резании пластичных и хрупких материалов

Из геометрических параметров инструмента наиболее сильно на тип стружки влияют передний угол  $\gamma$  и угол наклона главного лезвия  $\lambda$ . При обработке пластичных материалов по мере увеличения углов  $\gamma$  и  $\lambda$  стружка скалывания переходит в сливную. При резании хрупких материалов стружка надлома может переходить в стружку скалывания при уменьшении переднего угла  $\gamma$  и при увеличении угла  $\lambda$ .

При увеличении подачи (толщина срезаемого слоя) у пластичных материалов сливная стружка переходит к стружке скалывания, а у хрупких - стружка скалывания переходит в стружку надлома.

Наиболее сложно на тип стружки влияет скорость резания. При обработке большинства углеродистых и легированных конструкционных сталей по мере увеличения скорости резания стружка скалывания переходит в сливную. Однако при обработке некоторых жаропрочных сталей и сплавов наблюдается обратная картина. Повышение скорости резания при обработке хрупких материалов приводит к уменьшению размеров отдельных элементов стружки надлома и упрочнению связи между ними.

Глубина резания (ширина срезаемого слоя) на тип стружки практически не влияет.

**Изменение размеров стружки по сравнению со срезаемым слоем.** При превращении срезаемого слоя в стружку его размеры изменяются. Стружка короче, толще и шире срезаемого слоя. Если обозначить длину срезаемого слоя  $L$ , толщину -  $a$  и ширину -  $b$ , а длину, толщину и ширину стружки -  $L_c$ ,  $a_c$ ,  $b_c$  (рис. 2), то справедливы следующие соотношения:

$$L > L_c ;$$

$$a < a_c ;$$

$$b < b_c .$$

Степень изменения размеров стружки по сравнению со срезаемым

слоем характеризуют тремя коэффициентами:

коэффициентом продольной усадки –  $K_L = L/L_c$ ;

и коэффициентами поперечной усадки:

коэффициентом утолщения

$$- K_a = a_c/a;$$

и коэффициентом уширения

$$- K_b = b_c/b.$$

Так как объём стружки равен объёму срезаемого слоя, то  $Lab = L_c a_c b_c$ , а поэтому

$$K_L = K_a K_b. \quad (1)$$

Уширение стружки обычно невелико и даже при свободном резании составляет 5...15%, то есть  $K_b = 1.05...1.15$ . В то же время укорочение и утолщение стружки оценивается в 250...600% и более. Поэтому уширением стружки можно пренебречь и считать

$$K_L = K_a. \quad (2)$$

Формулы (1) и (2) справедливы только в том случае, если сливная стружка сохраняет свою сплошность. Если же на свободной стороне стружки имеются достаточно большие выступы и впадины (рис.3), то в эти формулы необходимо ввести поправку. Считая впадину стружки треугольной, на основании рис. 3 можно записать

$$\Delta Lab = (\Delta L_c a_c - \frac{1}{2} \Delta L_c h) b_c.$$

Выразив глубину впадин в долях толщины стружки  $h = \xi a_c$  ( $0 < \xi < 1$ ), получим  $\Delta Lab = \Delta L_c a_c b_c (1 - \frac{1}{2} \xi)$ . Выраже-

ние  $1 - \frac{1}{2} \xi$  называют коэффициентом сплошности  $K_\xi$  стружки ( $\frac{1}{2} < K_\xi < 1$ ). Таким образом, формулы (1) и (2) принимают вид:

$$K_L = K_a K_b K_\xi;$$

$$K_L = K_a K_\xi.$$

Учитывая коэффициент сплошности стружки, получаем, что  $K_L < K_a$ . Иногда  $K_L$  может быть даже меньше единицы. Так, например, при обработке высокопрочных титановых сплавов с определёнными ре-

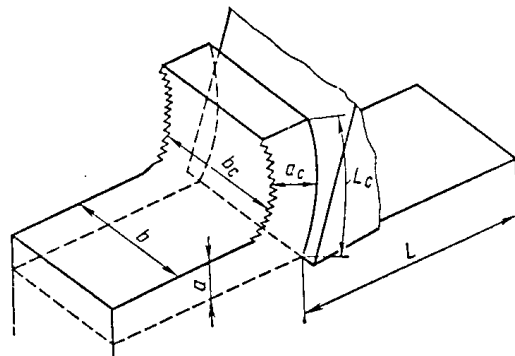


Рис. 2. Размеры срезаемого слоя и стружки

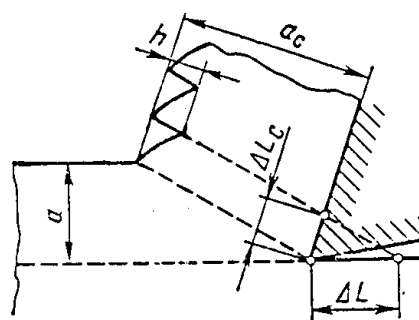


Рис. 3. Схема для определения расчётного коэффициента усадки стружки

жимами резания образуется пилообразная стружка скалывания. При этом длина стружки за счёт пустот на свободной стороне становится больше длины срезаемого слоя. Коэффициент усадки достигает значений  $K_L = 0.75...0.9$ . Это явление получило название “*отрицательная усадка*”.

На коэффициент усадки стружки основное влияние оказывает материал обрабатываемой детали и его механические свойства, передний угол инструмента, температура в зоне резания и применяемая смазывающе-охлаждающая жидкость.

При резании пластичных материалов коэффициент усадки больше, чем при резании хрупких материалов. Чем прочнее и твёрже обрабатываемый материал, тем меньше коэффициент усадки.

Влияние скорости резания на коэффициент усадки показано на рис.4. Кривая 1 соответствует резанию материалов, не склонных к наростообразованию. При увеличении скорости резания коэффициент усадки сначала быстро, а затем более медленно уменьшается. Данная зависимость объясняется уменьшением коэффициента трения между стружкой и передней поверхностью при увеличении температуры в зоне резания вследствие возрастания скорости резания. При резании материалов, склонных к наростообразованию (кривая 2), коэффициент усадки вначале уменьшается, достигая минимума при скорости  $V_2$ , а затем вновь возрастает. Это связано с влиянием нароста. Увеличение скорости резания от  $V_1$  до  $V_2$  приводит к появлению и увеличению нароста. Вследствие этого увеличивается фактический передний угол, который становится максимальным при скорости резания  $V_2$ . Коэффициент  $K_L$  при этом достигает минимума. При дальнейшем возрастании скорости резания от  $V_2$  до  $V_3$  высота нароста уменьшается так же, как и величина фактического переднего угла. При скоростях больших  $V_3$  нарост отсутствует, и скорость резания влияет на коэффициент  $K_L$  только через увеличение температуры в зоне резания и соответственно уменьшение коэффициента трения (аналогично кривой 1).

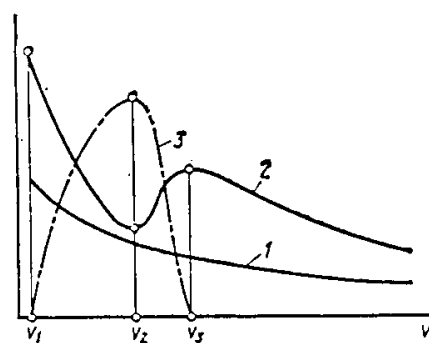


Рис. 4. Схема влияния скорости резания на высоту нароста (кривая 3) и коэффициент усадки стружки при резании материалов, не склонных к наростообразованию (кривая 1) и склонных к наростообразованию (кривая 2)

Влияние переднего угла на коэффициент  $K_L$  представлено на рис.5. По мере увеличения угла  $\gamma$  коэффициент усадки стружки уменьшается, а горбы на кривых  $K_L = f(V)$  сглаживаются. Это связано с соответствующим влиянием угла  $\gamma$  на величину нароста. При углах  $\gamma > 30^\circ$  скорость резания практически не влияет на коэффициент усадки стружки.

На рис.6 представлено влияние на коэффициент усадки стружки толщины срезаемого слоя. Из рисунка видно, что максимумы на кривых  $K_L = f(V)$  для меньших толщин срезаемого слоя сдвинуты в область более высоких скоростей резания, причём максимальные значения коэффициента усадки не зависят от толщины срезаемого слоя. Это объясняется тем, что при меньшей толщине срезаемого слоя та же температура в зоне резания достигается уже при большей скорости резания.

Более глубокие исследования показывают, что если при изменении толщины срезаемого слоя обеспечить постоянную температуру в зоне резания соответствующим изменением скорости резания, то коэффициент усадки остается постоянным. То есть при постоянной температуре в зоне резания толщина срезаемого слоя не влияет на коэффициент усадки стружки. Аналогичное утверждение справедливо и для скорости резания. Это позволяет сделать заключение о преобладающем влиянии на коэффициент усадки стружки не толщины срезаемого слоя или скорости резания, а температуры на передней поверхности.

Смазывающе-охлаждающие жидкости, снижающие величину коэффициента трения, уменьшают коэффициент усадки стружки, причём эффект тем сильнее, чем меньше толщина срезаемого слоя и скорость резания.

#### Методы определения размеров стружки и срезаемого слоя.

а) Определение размеров срезаемого слоя

Ширина и толщина срезаемого слоя однозначно определяются пода-

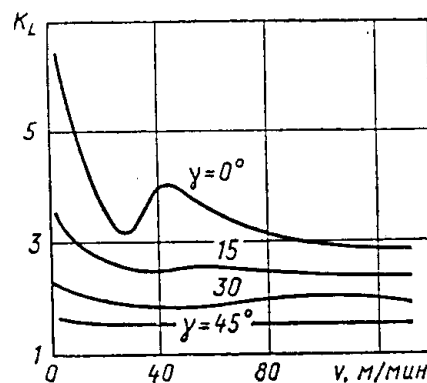


Рис. 5. Влияние переднего угла на коэффициент усадки стружки  $K_L$  при различных скоростях резания

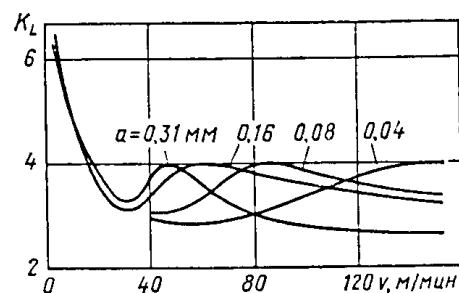


Рис. 6. Влияние толщины срезаемого слоя на коэффициент усадки стружки  $K_L$  при различных скоростях резания

чей  $S$ , мм/об, глубиной резания  $t$ , мм и главным углом в плане  $\varphi$ . Из рис. 7 легко найти, что толщина срезаемого слоя

$$a = S \sin \varphi,$$

а ширина

$$b = \frac{t}{\sin \varphi}.$$

Площадь поперечного сечения срезаемого слоя равна

$$ab = St. \quad (3).$$

Длину срезаемого слоя можно определить как путь, пройденный резцом в материале детали, на котором снималась стружка. Однако нельзя точно зафиксировать момент начала и окончания снятия конкретного куска стружки, так как процесс резания непрерывен. Поэтому для определения длины срезаемого слоя необходима специально подготовленная заготовка, имеющая один или несколько пазов (рис. 8). При прохождении лез-

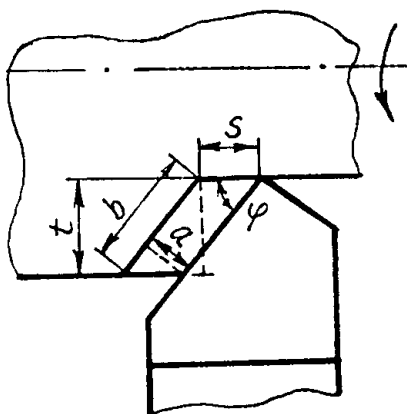


Рис. 7. Схема для определения толщины и ширины срезаемого слоя

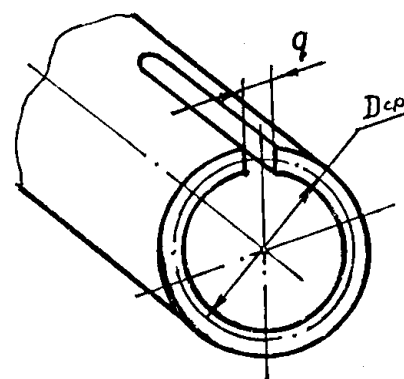


Рис. 8. Схема для определения длины срезаемого слоя

вия резца через паз процесс резания прерывается и начинается снятие нового куска стружки. Таким образом, длина срезаемого слоя равна длине дуги окружности заготовки между двумя пазами. Если заготовка имеет один паз, то

$$L = \pi D_{cp} - q.$$

Также длину срезаемого слоя можно определить весовым методом. Для этого необходимо взвесить кусок стружки длиной 20...30 мм. Приблизительно считая срезаемый слой прямой лентой, можно найти его длину как объём срезаемого слоя, делённый на площадь его поперечного сечения  $St$  (см. формулу (3)). В свою очередь, объём срезаемого слоя получаем, разделив вес стружки  $G$  на удельный вес материала  $\rho$ . Окончательно длина срезаемого слоя равна

$$L = \frac{G}{\rho St}. \quad (10)$$

Тогда коэффициент усадки можно определить по формуле

$$K_L = \frac{L}{L_c} = \frac{G}{\rho L_c S t} \cdot \quad (11)$$

#### б) Определение размеров стружки

Ширина и толщина стружки измеряются с помощью средств измерения линейных размеров, например: микрометром, штангенциркулем, инструментальным микроскопом и т.д. Длину стружки можно измерить с помощью тонкой проволоки или нитки. Для этого кусочек проволоки прикладывают вдоль контактной поверхности стружки, замечая её начало и конец, а затем длина распрямлённой проволоки измеряется линейкой или штангенциркулем.

### 4. Выполнение работы

1. Получить образцы стружек различных материалов. Рассмотреть с помощью инструментального микроскопа и описать форму и цвет стружки, вид контактной и наружной поверхностей, определить тип стружки.

2. Получить образцы стружек при различных режимах резания и углах заточки резца. Рекомендуются следующие серии опытов и примерные значения варьируемых параметров:

а) при различных скоростях резания ( $V_{рез}=0.1; 0.2; 0.3; 0.4; 0.5$  м/с);

б) при различных подачах ( $S = 0.1; 0.2; 0.3; 0.4$  мм/об);

в) при различных передних углах резца ( $\gamma = 5; 10; 15; 20^\circ$ ).

В каждой серии опытов варьируется только один параметр. Остальные элементы режимов резания и заточки резца остаются постоянными.

3. Измерить и рассчитать размеры стружки и срезаемого слоя. Определить коэффициенты усадки стружки. Результаты измерений и расчётов занести в таблицу. Длину срезаемого слоя рекомендуется определять с помощью специально подготовленной заготовки и весовым методом. Полученные результаты сравнить.

4. Построить графики зависимостей усадки стружки от режимов резания и геометрии резца. Проанализировать полученные результаты.

5. Оформить отчёт по работе.

### 5. Вопросы для самопроверки

1. Какие различают типы стружек? При обработке каких материалов образуется тот или иной тип стружки?

2. Что называется усадкой стружки? Как определяются коэффициенты усадки?

3. Какие факторы оказывают наибольшее влияние на усадку стружки?



4. Как влияют на коэффициент усадки стружки :
  - а) физико-механические свойства обрабатываемого материала;
  - б) скорость резания;
  - в) передний угол резца;
  - г) толщина срезаемого слоя?
5. Как определяются размеры стружки и срезаемого слоя?
6. В чём заключается весовой метод определения усадки?

### **Лабораторная работа № 3**

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УГЛА НАКЛОНА ГЛАВНОЙ РЕЖУЩЕЙ КРОМКИ РЕЗЦА НА ДВИЖЕНИЕ СТРУЖКИ ИЗ ЗОНЫ РЕЗАНИЯ**

### **1. Цель работы**

- Ознакомиться с определением величины и знака угла наклона главной режущей кромки.
- Исследовать влияние угла наклона главной режущей кромки на угол схода стружки и на процесс резания.

### **2. Оборудование, приборы, инструмент и материалы**

Токарно-винторезный станок, заготовки из стали, резцы с различными углами заточки, инструментальный микроскоп.

### **3. Краткие теоретические сведения**

Главная режущая кромка резца может быть параллельна или наклонена под некоторым углом к опорной плоскости (плоскости основания резца). Вершины резцов А, Б и В на рис.1 лежат на линии М-М, параллельной опорной плоскости (плоскость  $xy$ ). Резцы расположены так, что их главная режущая кромка лежит в плоскости Н, перпендикулярной плоскости  $xy$  и проходящей через линию М-М. У резца А вершина 1 является самой низкой точкой главной режущей кромки, которая оказывается лежащей над горизонтальной линией М-М, образуя с ней **положительный угол  $\lambda$** . У резца Б главная режущая кромка целиком лежит на линии М-М и угол  $\lambda=0$ . У резца В вершина 1 является самой высшей точкой главной режущей кромки. Режущая кромка при этом лежит

под линией М-М и образует с ней *отрицательный угол  $\lambda$* .

Таким образом, *угол наклона главной режущей кромки  $\lambda$*  есть угол между главной режущей кромкой или касательной к ней и опорной плоскостью. Этот угол является одним из геометрических параметров резца и проставляется на рабочем чертеже.

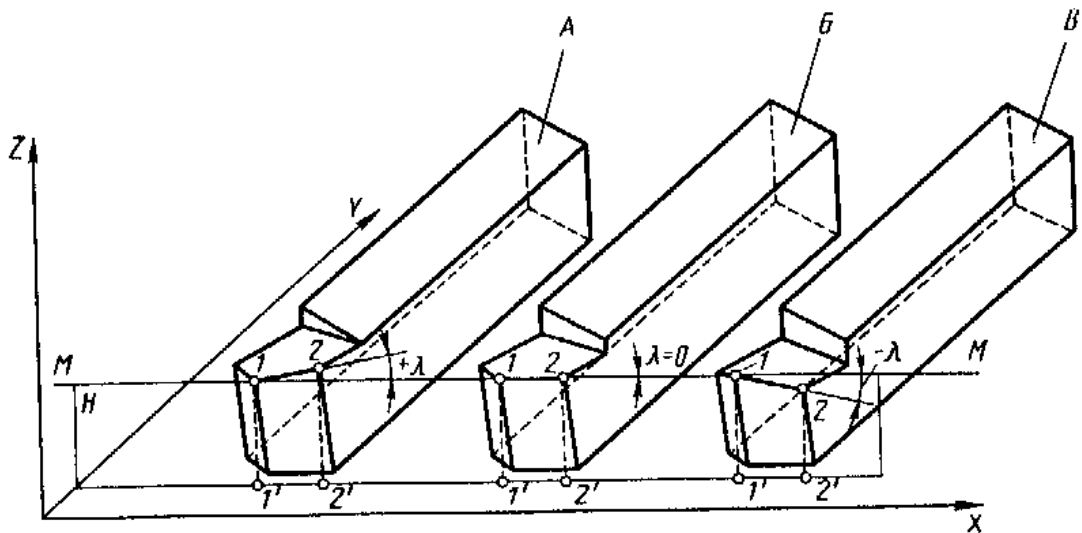


Рис. 1. Определение угла наклона главной режущей кромки

Наличие угла  $\lambda$  оказывает существенное влияние на процесс резания: изменяется направление равнодействующей силы резания, что в свою очередь влияет на прочность режущего клина, на направление деформаций в зоне резания; изменяется рабочая длина режущей кромки, что влияет на теплоотвод из зоны резания; изменяются действительные передний и задний углы резца и т.п.

Величина и знак угла наклона главного лезвия определяют направление схода стружки по передней поверхности, которое характеризуется *углом схода стружки  $\eta$* . Угол  $\eta$  - это угол между направлением движения стружки (продольными рисками на контактной поверхности стружки) и плоскостью, нормальной к главной режущей кромке (или следу от неё на обрабатываемой заготовке) (рис.2).

При свободном прямоугольном резании, когда угол  $\lambda=0$ , а режущая кромка составляет с вектором скорости резания угол  $90^\circ$ , стружка по передней поверхности сходит перпендикулярно к режущей кромке и угол схода стружки  $\eta=0$ . Когда угол  $\lambda \neq 0$  и вектор скорости резания не перпендикулярен к режущей кромке, стружка отклоняется от нормали к режущей кромке в правую или левую сторону, образуя угол схода стружки  $\eta \neq 0$ . Угол схода стружки  $\eta$  по величине несколько превышает угол наклона главной режущей кромки, причём разность углов  $\eta$  и  $\lambda$  растёт при увеличении угла  $\lambda$  и толщины срезаемого слоя. Наибольшая разность углов не превышает  $6...8^\circ$ , и при углах  $\lambda < 45^\circ$  и толщинах срезаемого слоя  $a < 0.3$  мм можно считать, что угол  $\eta = \lambda$ .

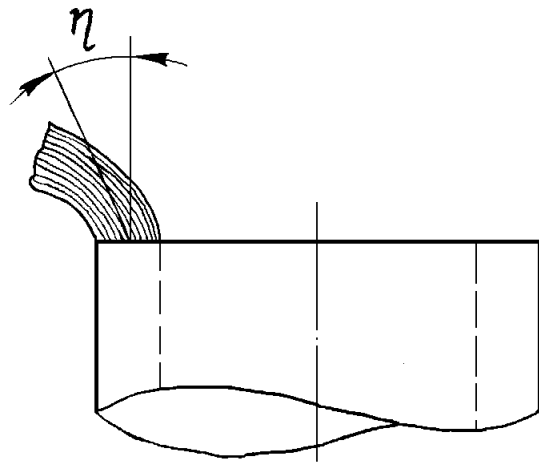


Рис. 2. Определение угла схода стружки

Задавая знак и величину угла  $\lambda$ , можно управлять движением стружки и транспортировать её в определённом направлении (рис.3). При положительном угле  $\lambda$  стружка отклоняется в сторону вершины резца, завиваясь в винтовую спираль. Стружка в этом случае перемещается в сторону задней бабки станка (рис.3,а). При  $\lambda=0$  стружка сходит перпендикулярно главной режущей кромке, завиваясь в плоскую спираль (рис.3,б). Если угол  $\lambda$  отрицательный, то стружка отклоняется в сторону от вершины резца, также завиваясь в винтовую спираль. При этом движение

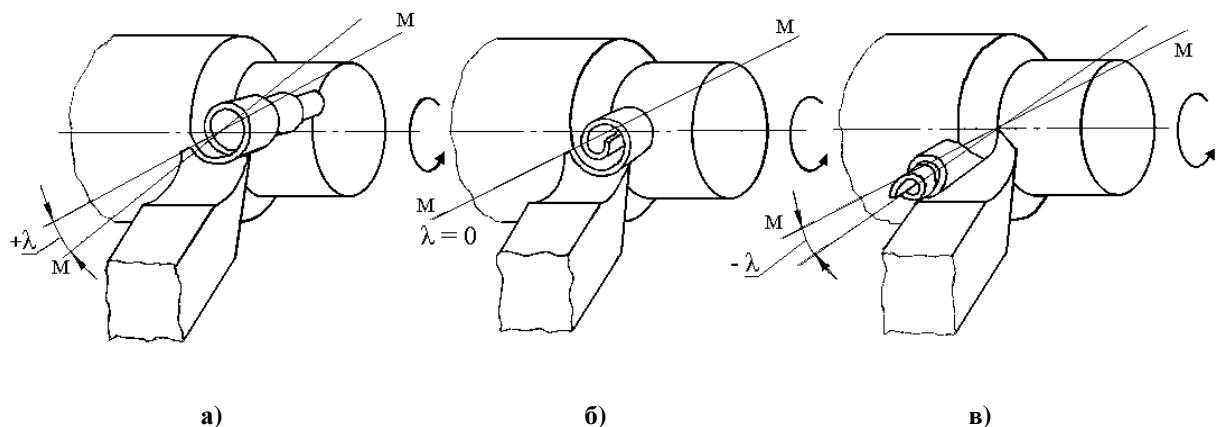


Рис. 3. Направление движения срезанной стружки при положительном (а), нулевом (б) и отрицательном (в) углах наклона главной режущей кромки

стружки происходит уже в сторону передней бабки (рис.3,в).

Транспортировка стружки в сторону передней бабки не желательна, так как в этом случае она может коснуться рабочего, стоящего слева от суппорта, запутаться в патроне или воротке. Транспортировка стружки в сторону задней бабки более безопасна для рабочего. Меньше вероятность запутывания стружки вокруг детали, так как обработанная поверхность имеет цилиндрическую форму без выступов. Таким образом, при токарных работах положительный угол  $\lambda$  является предпочтительным с точки зрения безопасности и удобства работы.

Величина и знак угла  $\lambda$  оказывают влияние и на условия врезания резца в срезаемый слой при прерывистом резании (например в случае, если заготовка имеет продольный паз). Если угол  $\lambda=0$  (рис.4,а), то все точки главного лезвия вступают в соприкосновение со срезаемым слоем одновременно и сила резания возрастает мгновенно от нуля до максимума (ударное приложение нагрузки). При отрицательном угле  $\lambda$  точкой первоначального контакта со срезаемым слоем является вершина резца (точка 1 рис.4,б). Очевидно, что это наиболее уязвимая точка, так как сечение режущего клина в этом месте минимальное. При положительном угле  $\lambda$  точкой первоначального контакта режущего лезвия со срезаемым слоем является точка 2 (рис.4,в), удалённая от вершины инструмента и менее подверженная хрупкому разрушению. В обоих случаях нагрузка на инструмент возрастает не мгновенно, а постепенно, причём время нарастания тем больше, чем больше величина угла  $\lambda$ . То есть за счёт угла  $\lambda \neq 0$  удаётся значительно снизить величину ударной нагрузки. Поэтому у инструмента, работающего в условиях прерывистого резания (токарные резцы, торцовые фрезы и др.), угол  $\lambda$  делают положительным, особенно если инструмент оснащён пластинами из твёрдого сплава.

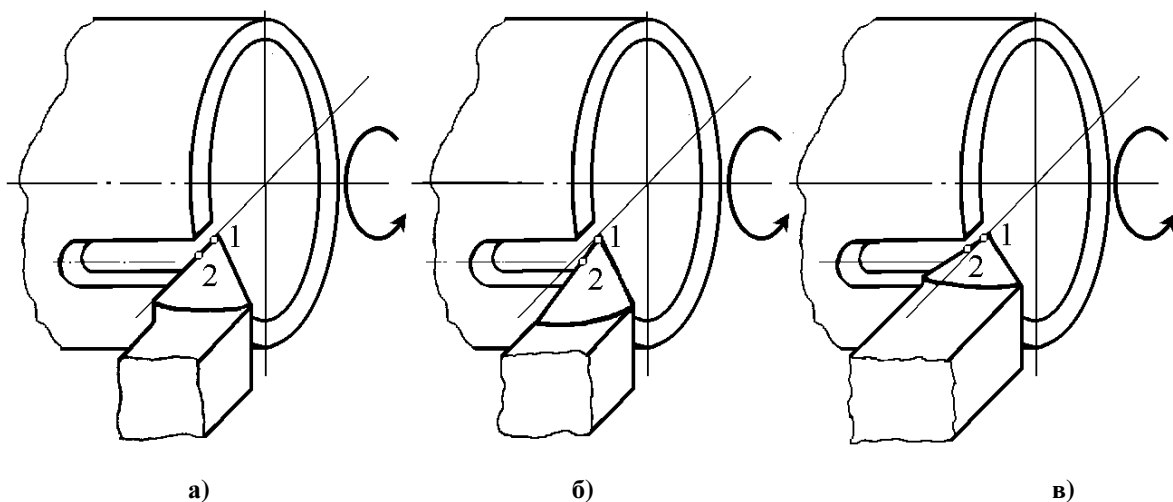


Рис. 4. Врезание резца при прерывистом резании при нулевом (а), отрицательном (б) и положительном (в) углах наклона главной режущей кромки

Величина угла  $\lambda$  зависит от инструмента и вида обработки, так у проходных токарных резцов угол  $\lambda$  выполняют в пределах  $\pm 3^\circ$ . При черновой обработке с подачами  $S \geq 0,15$  мм/об из условий безопасности предпочтительнее  $\lambda = +3^\circ$ . На чистовых операциях ( $S < 0,15$  мм/об), когда срезаемая мелкая стружка не представляет опасности нанесения травмы, угол наклона главной режущей кромки может быть  $\lambda = -3^\circ$ .

#### **4. Выполнение работы**

1. Получить образцы корней стружек при различных углах наклона главной режущей кромки (рекомендуются следующие значения угла наклона режущей кромки  $\lambda = -45; -30; -15; 0; 15; 30; 45^\circ$ ).

2. Рассмотреть визуально и с помощью инструментального микроскопа направление схода стружки.

3. Измерить углы  $\eta$  у полученных образцов.

4. Построить график зависимости угла схода стружки от угла наклона главной режущей кромки.

5. Оформить отчёт по работе.

#### **5. Вопросы для самопроверки**

1. Что называется углом наклона главной режущей кромки резца?
2. Как определяется знак угла  $\lambda$ ?
3. Что называется углом схода стружки?
4. Как влияют величина и знак угла  $\lambda$  на угол  $\eta$  и направление движения стружки из зоны резания?
5. Как влияет угол  $\lambda$  на процесс резания?

### **Лабораторная работа N 4**

#### **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ И ГЕОМЕТРИИ РЕЗЦА НА ТЕМПЕРАТУРУ В ЗОНЕ РЕЗАНИЯ ПРИ ТОЧЕНИИ**

##### **1. Цель работы**

- Изучить тепловой баланс процесса резания.
- Ознакомиться с измерительными приборами и методами измерения температуры в зоне резания.
- Изучить влияние режимов резания и геометрии резца на температуру

в зоне резания при точении.

## 2. Оборудование, приборы, инструмент и материалы

Токарно-винторезный станок, заготовки из стали, резцы с различными углами заточки, штангенциркуль, милливольтметр, эталонная термопара, муфельная печь.

## 3. Краткие теоретические сведения

**Источники образования тепла.** Опытным путём установлено, что при резании конструкционных материалов более 99.5% работы резания переходит в тепло. Работа резания, в свою очередь, определяется работой, затрачиваемой на пластическую деформацию и разрушение обрабатываемого материала, а также работой сил трения инструмента о деталь и стружку. В соответствии с этим можно выделить источники тепла, расположение которых показано на рис.1.

Первый и основной источник выделения теплоты – тепло деформации  $Q_d$ , – образуется в зоне пластической деформации и разрушения металла в плоскости сдвига. Сюда следует отнести и небольшой объём металла перед плоскостью сдвига, который также испытывает пластическую деформацию. Данный источник составляет  $\approx 75...80\%$ , тепла выделяемого при резании.

Второй источник выделения теплоты – тепло трения на передней поверхности  $Q_{mn}$ . Этот источник образуется в пределах площадки контакта между стружкой и инструментом шириной  $C$ . Доля тепла данного источника возрастает при увеличении скорости резания и составляет  $\approx 19...22\%$  от общего выделяемого тепла.

Третий источник выделения теплоты – тепло трения на задней поверхности  $Q_{mz}$  – образуется в пределах площадки контакта между поверхностью резания и инструментом шириной  $C_1$ . Количество тепла, выделяемое этим источником, составляет  $\approx 2...3.5\%$ , причём большая цифра соответствует меньшей скорости

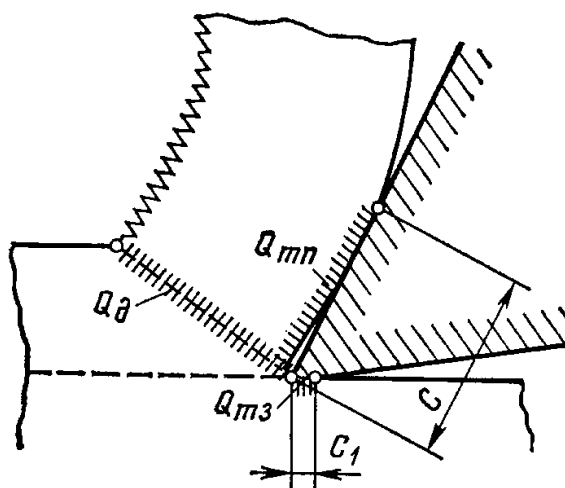


Рис. 1. Источники образования тепла в зоне резания

резания, то есть при увеличении скорости резания удельное количество тепла  $Q_{mз}$  уменьшается.

На основании этого количество тепла, образующееся при резании, можно определить с помощью выражения

$$Q = Q_{\partial} + Q_{mn} + Q_{mз} \quad (1)$$

Поскольку образовавшееся тепло пропорционально совершаемой работе, общее количество тепла, выделяемое при резании, зависит от рода и механических свойств материала обрабатываемой детали, геометрических параметров инструмента и режима резания.

**Отвод теплоты из зоны резания.** Так как процесс резания обычно является достаточно продолжительным и устойчивым, то непрерывно выделяющаяся за время работы теплота также непрерывно отводится из зоны резания, распределяясь между стружкой, деталью и инструментом (рис.2).

В инструмент переходит часть тепла из зоны трения на передней поверхности  $Q_n$  и часть тепла из зоны трения на задней поверхности  $Q_з$ . Таким образом, температура инструмента определяется тепловым потоком

$$Q_u = Q_n + Q_з.$$

В стружку переходит часть тепла деформации  $Q_{\partial c}$  и часть тепла из зоны трения на передней поверхности, равная  $Q_{mn} - Q_n$ , то есть тепловой поток в стружку будет равен  $Q_c = Q_{\partial c} + Q_{mn} - Q_n$ .

Соответственно тепловой поток в деталь будет равен  $Q_{\partial det} = Q_{\partial det} + Q_{mз} - Q_з$ , где  $Q_{\partial det}$  – часть тепла деформации, переходящая в деталь, а  $Q_{mз} - Q_з$  – часть тепла, переходящая в деталь из зоны трения на задней поверхности.

На основании этого можно написать выражение, описывающее расход образовавшегося при резании тепла :

$$Q = Q_c + Q_{\partial det} + Q_u + Q_{cp}, \quad (2)$$

где  $Q_{cp}$  – количество тепла, уходящего в окружающую среду.

Выражения (1) и (2) в совокупности описывают тепловой баланс при резании материалов.

На процентное распределение тепла между стружкой, деталью и ин-

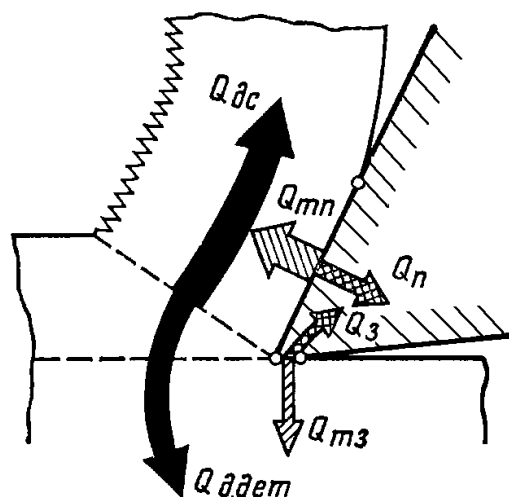


Рис. 2. Потoki тепла в стружку, инструмент и деталь

струментом главное влияние оказывают механические и теплофизические свойства материала детали и скорость резания. Установлено, что наибольшее количество тепла переходит в стружку, составляя при обработке стали от 60 до 85% от общего количества тепла. С увеличением скорости резания доля тепла, уходящего в стружку, увеличивается, а её средняя температура растёт.

Количество тепла, уходящего в инструмент, очень мало и при резании любых материалов с любыми режимами резания намного меньше количества тепла, уходящего в стружку и деталь. В среднем величина  $Q_u$  составляет 1...3 % от общего количества выделяемого тепла. Основной причиной низкой интенсивности теплоотвода в инструмент является более низкая теплопроводность инструментального материала по сравнению с обрабатываемым.

Остальное тепло выделяется в деталь и окружающую среду. Причём величина тепла, отводимого в окружающую среду  $Q_{cp}$ , очень сильно зависит от того, применяется ли смазывающе-охлаждающая жидкость и от её состава.

Влияние материала детали на количество выделяемого тепла и его распределение между инструментом, стружкой и деталью заключается в следующем. Во-первых, при резании материала, обладающего более высокими физико-механическими свойствами (твёрдость, вязкость и т.д.), общее количество выделяемого тепла будет больше. Так, общее количество тепла, выделяемого при обработке чугуна и стали, примерно в 1.5 раза выше, чем при обработке алюминия с теми же режимами резания. Во-вторых, на распределение тепла между стружкой, деталью и инструментом значительное влияние оказывает теплопроводность материала. Так, при обработке алюминия, обладающего высокой теплопроводностью, большая часть тепла выделяется в деталь, а при обработке стали – в стружку. В-третьих, на распределение выделяемого тепла влияет вид стружки. При обработке чугуна образуется элементная стружка, и отводимое тепло практически поровну распределяется между стружкой и деталью. В то же время при обработке стали большая часть тепла отводится в стружку.

Распределение тепла между стружкой, деталью и инструментом коренным образом изменяется при увеличении скорости резания : количество тепла, уходящего в стружку, возрастает, а в деталь и инструмент уменьшается. Например, при точении стали 40Х со скоростью резания 20...50 м/мин в стружку уходит в среднем около 45 % тепла, а в деталь и инструмент соответственно 47% и 4.5%; при скорости резания 100...200 м/мин эти цифры составляют уже соответственно 70%, 22% и 1.5%; при скорости резания 300 м/мин количество тепла, отводимого в стружку, составляет 80%. Это вызвано изменением соотношения между скоростью



резания и скоростью распространения тепла из зоны деформации. По мере увеличения скорости резания клин инструмента всё быстрее пересекает тепловой поток  $Q_{d,дет}$ , идущий от источника тепла  $Q_d$  (см.рис.1 и 2), и поэтому в деталь успевают перейти меньшее количество тепла и всё большее количество тепла остаётся в стружке. Уменьшение доли тепла, уходящего в инструмент, при увеличении скорости резания связано с уменьшением ширины площадки контакта  $C$  на передней поверхности инструмента, через которую тепло из стружки переходит в инструмент.

Несмотря на то, что доля тепла, уходящего в инструмент, очень мала, температура на передней поверхности инструмента в пределах площадки контакта  $C$  в несколько раз превышает среднюю температуру стружки. Это объясняется низкой теплопроводностью материала резца, что обуславливает очень большой градиент (перепад) температуры, то есть если в зоне резания температура инструмента высокая, то по мере удаления от зоны резания она резко снижается. В результате всё тепло, переходящее в инструмент, нагревает только малый объём материала резца около зоны резания. Тепло как бы накапливается в этом малом объёме и почти не отводится в тело инструмента, что и обуславливает высокую температуру инструмента в зоне резания.

**Пути снижения температуры на лезвии резца.** Наиболее эффективный путь – использование смазывающе-охлаждающей жидкости. Её применение увеличивает слагаемое  $Q_{ср}$  в формуле (2) и соответственно уменьшает слагаемое  $Q_u$ . При этом струя жидкости должна попадать не только на деталь и стружку, но главным образом на инструмент, так как это позволит улучшить условия отвода теплоты от лезвия инструмента и снизить его температуру. Опыт показывает, что некоторое улучшение отвода теплоты от лезвия достигается увеличением размеров и массы державки резца. Существенное значение на улучшение отвода теплоты в глубь резца и снижение температуры лезвия имеет теплопроводность инструментального материала. При этом нужно помнить, что такие легирующие элементы, как вольфрам и ванадий, снижают, а молибден, кобальт и титан повышают теплопроводность инструментальных материалов. Можно уменьшить температуру инструмента за счёт снижения режимов резания - скорости резания, подачи и глубины резания. Однако этот путь нежелателен, так как приводит к снижению производительности труда.

**Измерение температуры в зоне резания.** Для измерения температуры нагрева резца, стружки и детали применяют следующие основные методы : калориметрический, метод термопары, методы оптической пирометрии, термокрасок, микроструктурного анализа и др.

**Калориметрический метод** основан на применении калориметрических установок и позволяет определить количество тепла, переходящего в стружку, деталь и инструмент. Этот метод используют главным образом для определения теплового баланса.

**Метод термопары.** Явление термоэлектричества было открыто в начале прошлого века академиком Российской Академии наук Ф. Эппинусом. Суть явления заключается в том, что если в точках 1 и 2 (рис.3) соединить два металлических проводника А и Б разного химического состава, то при условии, что температура в точке 1 больше температуры в точке 2 ( $\theta_1 > \theta_2$ ), в замкнутой цепи появляется электродвижущая сила  $E_{AB} = k(\theta_1 - \theta_2)$ , пропорциональная разнице температур. Если температура точки 2 (называемой свободной точкой или холодным спаем) постоянна, то термоЭДС, создаваемая термопарой, будет зависеть только от температуры рабочей точки 1. Для измерения значений ЭДС между точками 3 и 4 подключают гальванометр или милливольтметр.

Материалами, пригодными для образования термопары, могут быть практически все металлы и сплавы. Чтобы получить более чувствительную термопару, желательно в качестве проводников подбирать материалы, сочетание которых даёт наибольшее значение термоЭДС. Наибольшее распространение получили стандартные термопары, один электрод которых

выполнен из **хромеля** (90% Ni + 10% Cr), а другой - либо из **алюмеля** (1%Si + 2%Al + 0.17%Fe + 2%Mn + 94.83%Ni), либо из **копеля** (56.5%Cu + 43.5%Ni), так называемые **хромель-алюмелевые** и

**хромель-копелевые** термопары. На практике для измерения температуры при резании бывает удобно использовать термопары, у которых в качестве одного из электродов используют материал детали, а в качестве другого - материал инструмента. Такие термопары называют **естественными** в отличие от термопар со специально подобранными электродами, которые называют **искусственными**. Также используют **полуискусственные** термопары, у которых в качестве одного электрода используют деталь или инструмент, а другой электрод выполнен из специально выбранного материала (как правило это хромель, копель или алюмель).

Полуискусственную и естественную термопары необходимо **тарировать**, так как величина термоЭДС сильно зависит от химического состава материала электродов, а также от наличия в нём различных примесей.

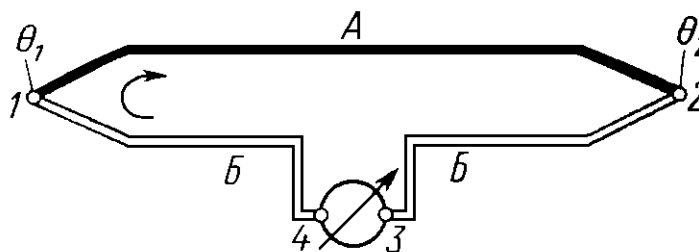


Рис. 3. Измерение температуры термопарой

Для этого тарируемую термопару помещают, например, в тигель с расплавленным металлом (обычно используют легкоплавкие металлы - олово, свинец и др.). Температура металла измеряется с помощью контрольной термопары или какого-либо другого измерительного прибора. Постепенно нагревая или охлаждая металл, проводят тарировку термопары, то есть устанавливают зависимость показаний прибора термопары от измеряемой температуры. По результатам тарировки строят тарировочный график, пользуясь которым можно полученные при эксперименте значения термоЭДС перевести в эквивалентные значения измеряемой температуры.

**Измерение температуры в зоне резания при точении методом искусственной термопары.** Впервые данный метод был применён русским учёным Я.Г.Усачёвым в 1912 году. В отверстие в корпусе резца (рис.4) вставляется изоляционная трубка, внутри которой размещается термопара. Её рабочий спай приваривается к нижней поверхности быстро-режущей или твёрдосплавной пластины. К преимуществам данного метода следует отнести использование стандартной, не нуждающейся в тарировке термопары, возможность измерения температуры в различных точках резца, а при использовании нескольких термопар можно получить температурное поле (то есть распределение температур) в теле резца. К недостаткам данного метода, ограничивающим область его применения, относят невозможность измерения температуры непосредственно на контактных (передней и задней) поверхностях резца. Температура измеряется на некотором удалении от зоны резания. Так как обычно толщина пластины не менее 1,5...2 мм, то из-за большого градиента температур измеряемая температура на 50...80° ниже действительной. При длительном резании вследствие износа режущей пластины расстояние между спаем термопары и контактными поверхностями уменьшается, что приводит к непрерывному увеличению показаний прибора. Наконец, данный метод трудно использовать при вращающемся инструменте.

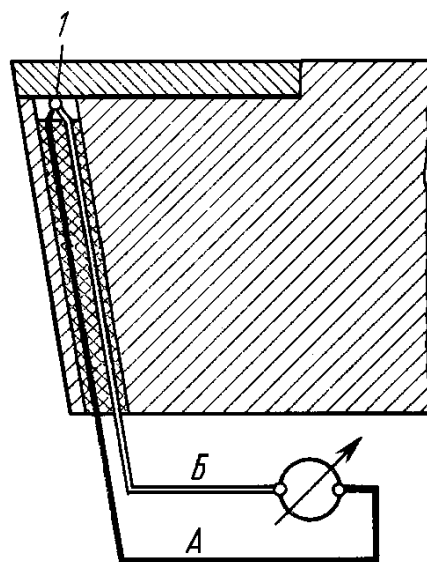


Рис. 4. Измерение температуры резца методом искусственной термопары

**Измерение температуры в зоне резания при точении методом полусинтетической термопары.** В этом случае одним термоэлектродом А (рис.5) является продетая через отверстие проволока из копеля или **константана** (58%Cu + 40%Ni + 2%Mn). От корпуса резца проволока изолируется, например керамической трубкой. Вторым термоэлектродом Б служит пластина из быстрорежущей стали или твёрдого сплава. Оба электрода надёжно скрепляются друг с другом (сварка, расклёпывание) и образуют горячий спай термопары. Для того, чтобы холодный спай термопары находился при комнатной температуре, проводник 2-3 делают из того же материала, что и режущая пластина. В этом случае холодный спай, образованный точками 4 и 3, удалён от зоны резания. Достоинства и недостатки данного метода аналогичны методу искусственной термопары. Отличие в том, что полусинтетическая термопара требует тарировки и обладает меньшей чувствительностью. В то же время термоэлектрод А можно вывести на переднюю или заднюю поверхности резца и измерить температуру непосредственно на этих поверхностях в зоне резания. Для этого в режущей пластине делается сквозное отверстие, а электрод А вставляется в него и расклёпывается на контактной поверхности пластины.

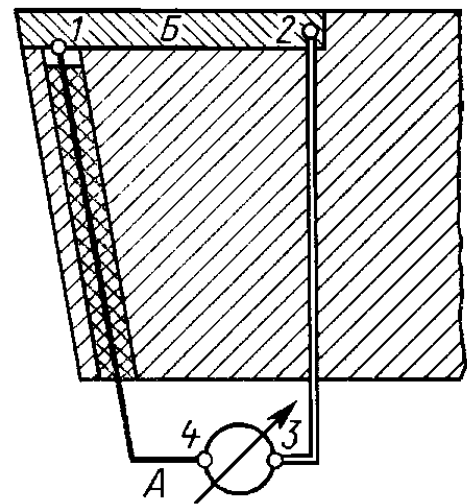


Рис. 5. Измерение температуры реза методом полусинтетической термопары

**Измерение температуры в зоне резания при точении методом естественной термопары.** В этом случае в качестве одного электрода термопары используется резец, а в качестве второго - обрабатываемая заготовка (рис.6). Горячий спай термопары образуется в точке 1 на контактных поверхностях резца, стружки и поверхности резания на заготовке. Обрабатываемая заготовка изолируется от патрона и заднего центра прокладками, а резец изолируется от суппорта. Один из удлинительных электродов 2-3 присоединён к инструменту и выполнен из того же материала, а другой удлинительный электрод 4-5 связан с заготовкой через токосъёмник (металлическую или угольную щётку, скользящую по поверхности вращающейся заготовки). Достоинства метода естественной термопары - простота конструкции, не требуется сверлить резец. Этот метод позволяет измерить температуру непосредственно на поверхностях наиболее нагретого участка лезвия. Его легко осуществить не только при точении, но и при сверлении, нарезании резьбы, строгании, фрезеровании, протягивании и др. Однако естественная термопара требует

тарировки, которую необходимо проводить для каждого обрабатываемого материала и для каждого применяемого резца. Также данный метод позволяет измерить только среднюю температуру в зоне резания, так как “спай” термопары можно представить как большое количество параллельно соединённых термопар, распределённых на поверхностях контакта резца со стружкой и заготовкой. По этой причине с помощью естественной термопары нельзя исследовать распределение температуры (температурное поле) в теле инструмента.

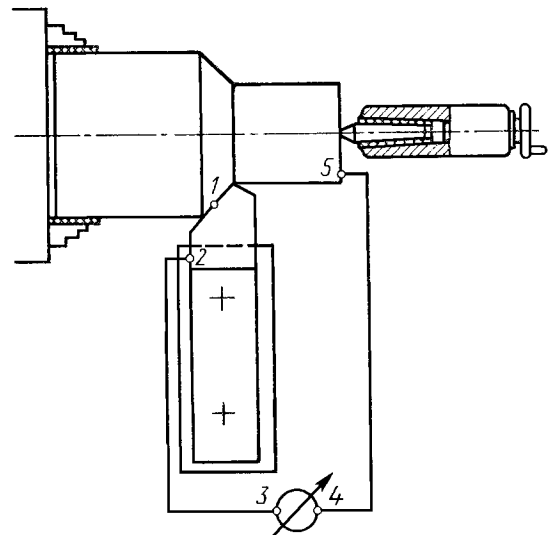


Рис. 6. Измерение температуры резца методом естественной термопары

**Метод оптической пирометрии** основан на принципе собирания лучеиспускаемого тепла. К недостаткам этого метода относятся трудность тарировки, сложность прибора и др., что препятствует широкому распространению оптического метода измерения температуры.

**Метод термокрасок** заключается в том, что на переднюю поверхность резца наносятся специальные краски, обладающие способностью менять свой цвет при определённых температурах. Однако при помощи термокрасок можно определить температуру лишь приближённо, измеряя её вблизи контакта инструмента со стружкой и деталью. Этот способ имеет преимущества, когда затруднительно или невозможно применить другие методы, например, при обработке неметаллических материалов или при работе минералокерамическим инструментом.

**Метод микроструктурного анализа** предложен российскими исследователями А.П.Гуляевым и Б.И.Костецким. Он основан на анализе фазовых и микроструктурных изменений, которые происходят в верхних слоях поверхностей инструмента в результате воздействия на них возникающего в процессе резания тепла. Недостатком этого метода является то, что им можно определить температуру лишь в пределах того интервала температур, который для данного инструментального материала соответствует изменению структуры и твёрдости. Например, для быстрорежущей стали указанный интервал соответствует 600...700°C.

#### 4. Выполнение работы

1. Протарировать применяемую термопару.
2. Произвести точение заготовки при различных режимах резания и

углах заточки резца с измерением температуры. Рекомендуются следующие серии опытов и примерные значения варьируемых параметров:

- а) при различных скоростях резания ( $V_{рез} = 0.1; 0.2; 0.3; 0.4; 0.5$  м/с);
- б) при различных подачах ( $S = 0.1; 0.2; 0.3; 0.4$  мм/об);
- в) при различных передних углах резца ( $\gamma = 5; 10; 15; 20$  °);
- г) при различной глубине резания ( $t = 0.5; 1; 1.5$  мм).

В каждой серии опытов варьируется только один параметр. Остальные элементы режимов резания и заточки резца остаются постоянными.

3. Построить графики зависимости температуры от режимов резания и геометрии резца. Проанализировать полученные результаты.

4. Оформить отчёт по работе.

## 5. Вопросы для самопроверки

- 1. Каковы источники образования тепла при резании материалов?
- 2. Каким образом происходит отвод теплоты из зоны резания?
- 3. Как влияют на тепловой баланс процесса резания :
  - а) материал детали;
  - б) скорость резания?
- 4. Пути снижения температуры на лезвии резца.
- 5. Какие существуют методы измерения температуры в зоне резания?
- 6. В чём достоинства и недостатки методов искусственной, полусинтетической и естественной термопар?

**ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ МЕТАЛЛОВ**  
Методические указания к лабораторным работам

Составитель  
**Рязанов Андрей Алексеевич**

Ответственный за выпуск – зав. кафедрой, профессор В.В. Морозов

Редактор А.П. Володина

Изд. лиц. №020275 от 13.11.96. Подписано в печать 08.10.99.  
Формат 60x84/16. Бумага для множит. техники. Гарнитура Таймс.  
Печать офсетная. Усл. печ. л. 1,86 Уч.-изд. л. 1,93. Тираж 75 экз.  
Заказ №

Владимирский государственный университет.  
Подразделение оперативной полиграфии  
Владимирского государственного университета.  
Адрес университета и подразделения оперативной полиграфии:  
600026, Владимир, ул.Горького, 87.