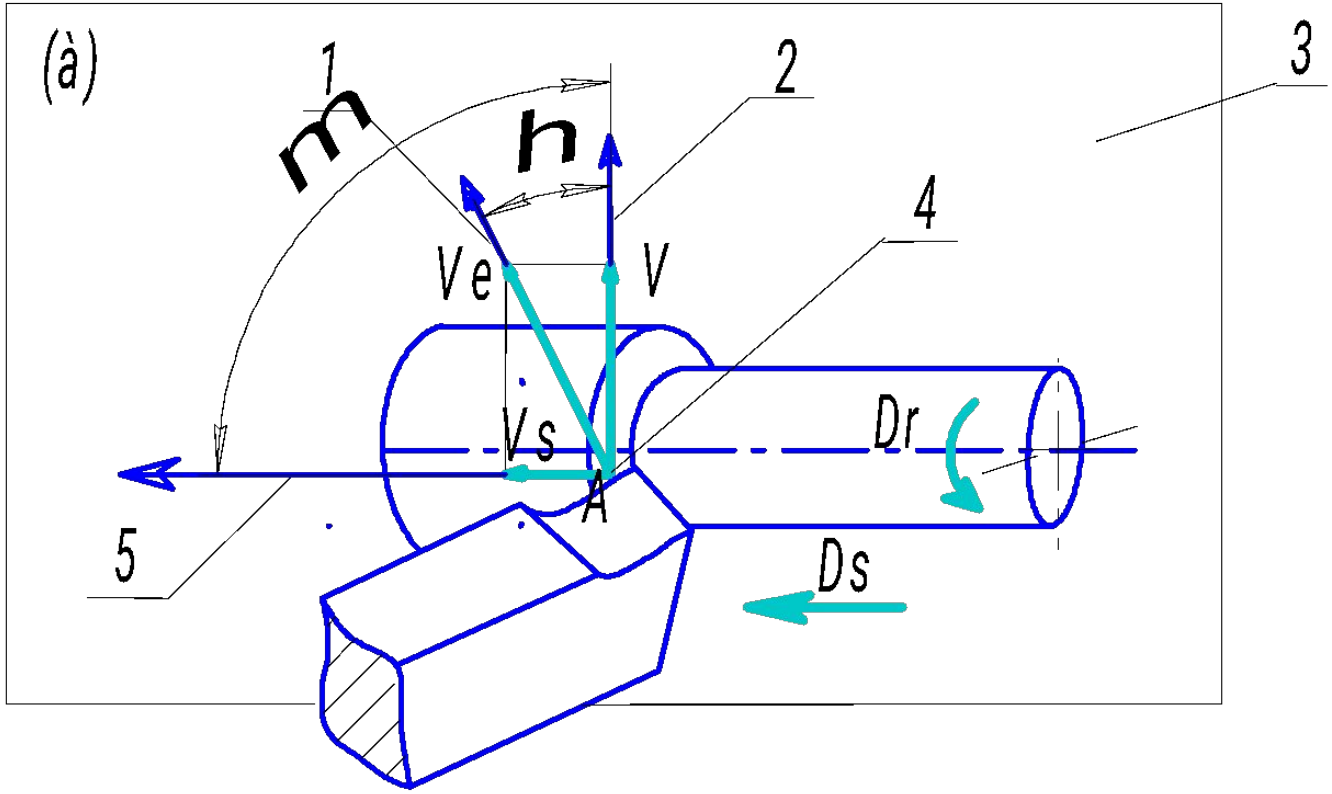
Кинематические элементы процесса точения

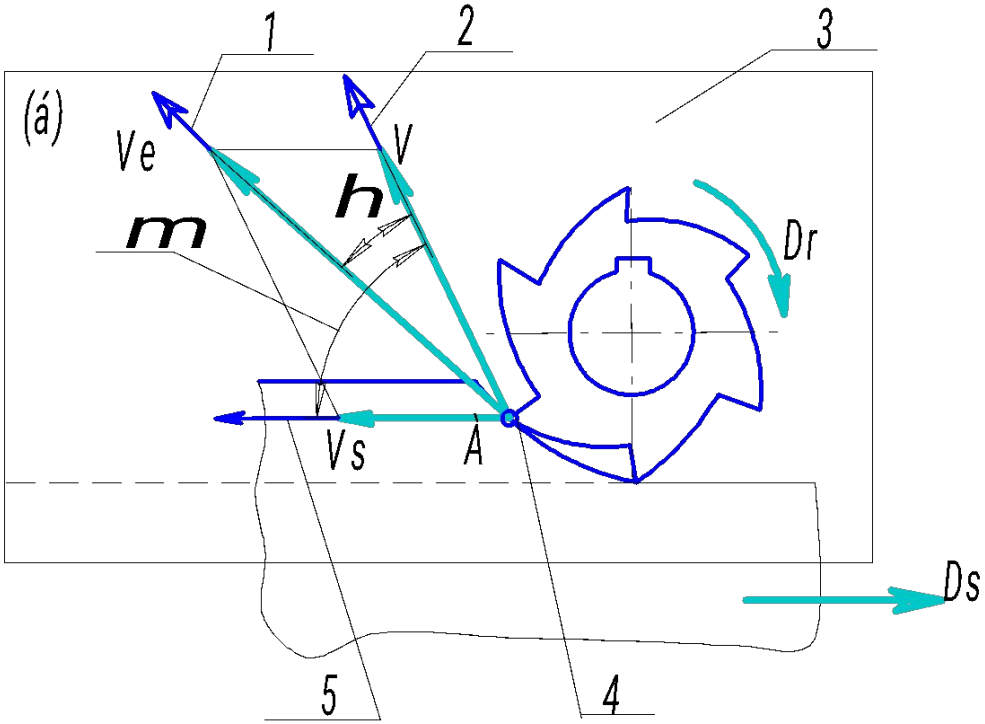


D_r – главное движение резания
D_s – движение подачи
D_e – результирующее движение резания
V –скорость резания

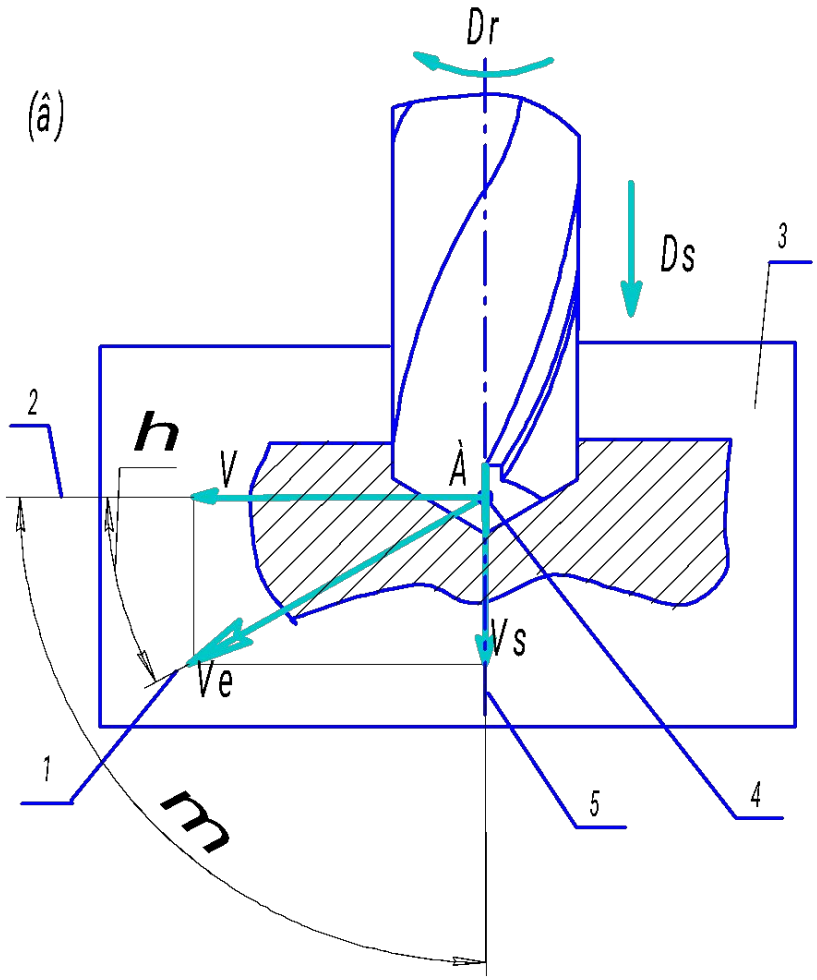
V_s - скорость подачи
V_e –результирующая скорость
P_s – рабочая плоскость
η – угол скорости резания
μ – угол подачи

Кинематические элементы процесса фрезерования и сверления

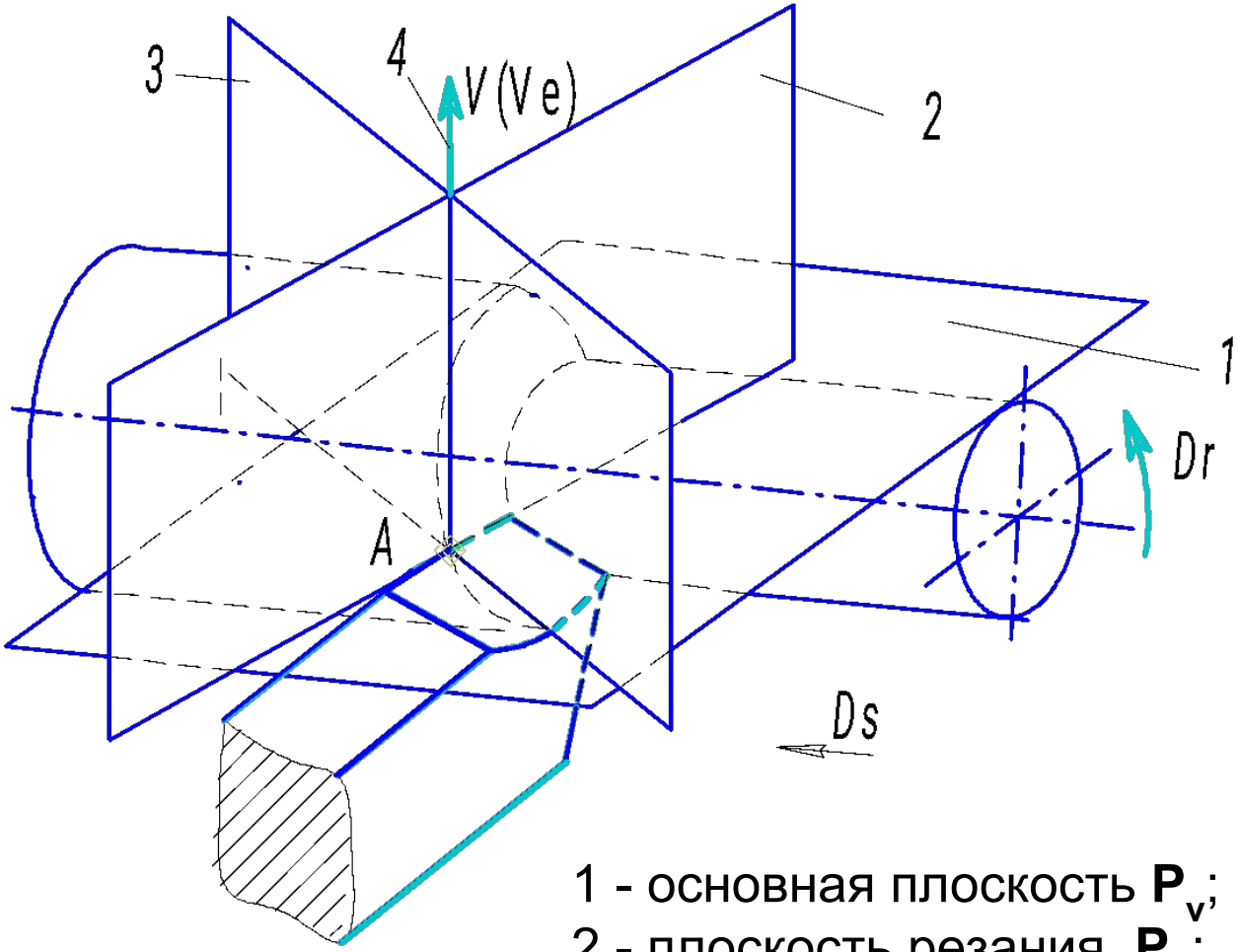
Фрезерование



Сверление



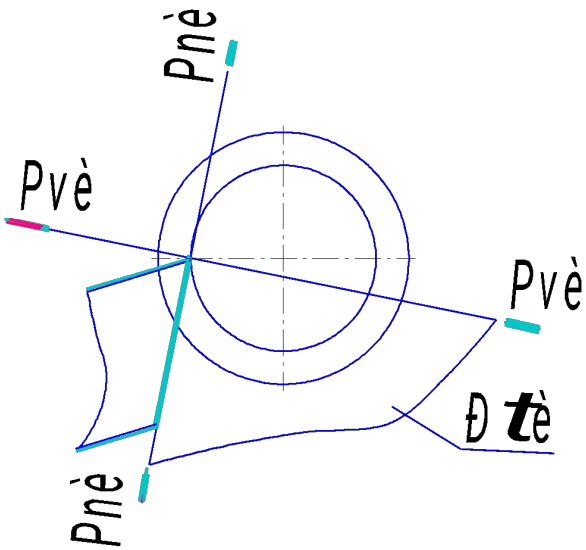
Координатные плоскости и системы координатных плоскостей



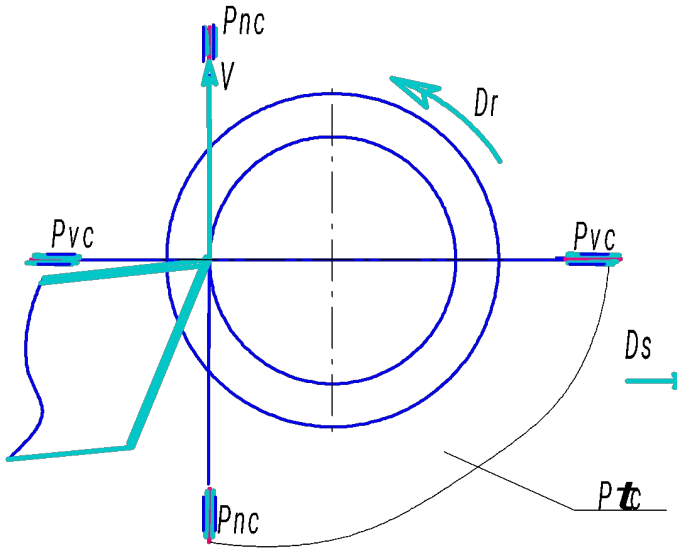
1 - основная плоскость $\mathbf{P_v}$;
2 - плоскость резания $\mathbf{P_n}$;
3 - главная секущая плоскость $\mathbf{P_т}$;
4 - **V** ($\mathbf{V_e}$) – вектор скорости главного движения $\mathbf{D_r}$

Координатные плоскости и системы координатных плоскостей

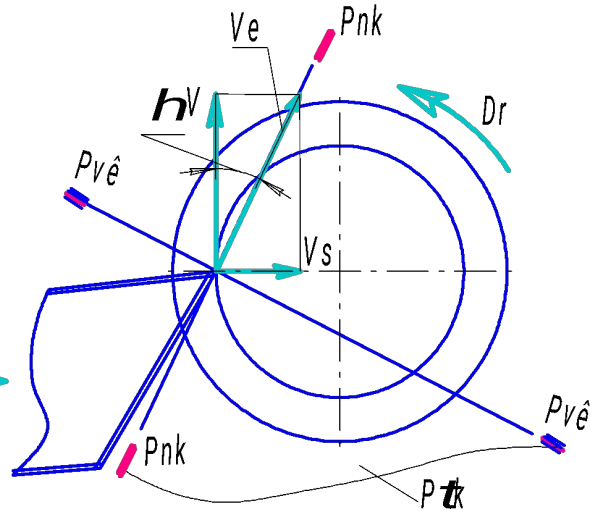
Инструментальная система координат (ИСК)



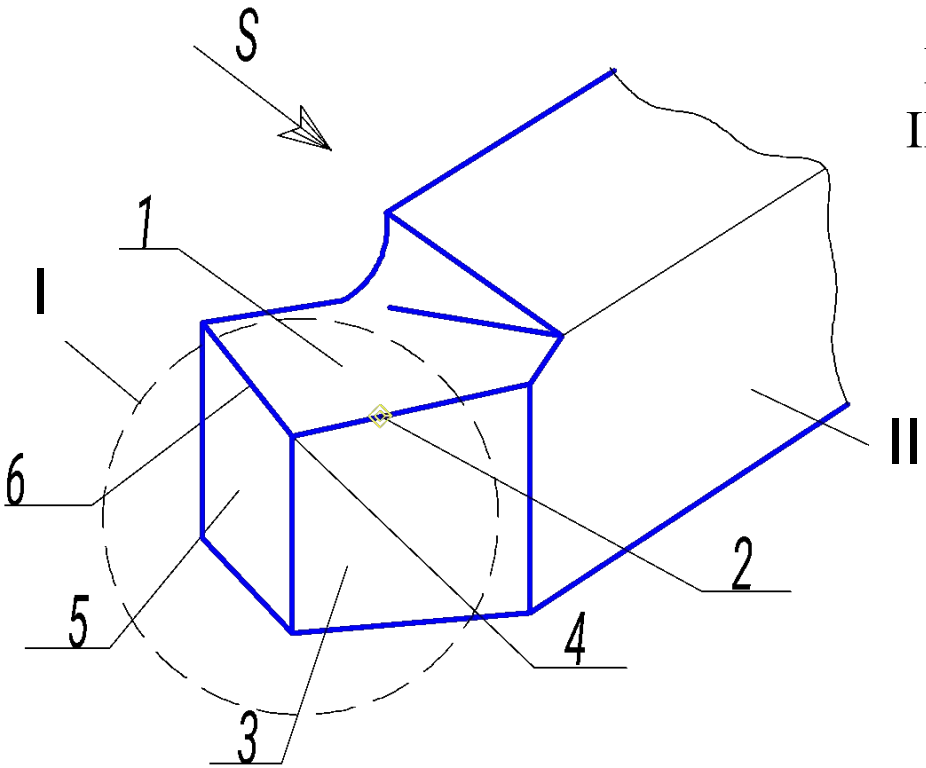
Статическая система координат (ССК)



Кинематическая система координат (КСК)



Геометрические параметры режущего инструмента



I) рабочая часть резца (лезвие);

II) крепежная часть резца (державка);

S) направление подачи;

1) передняя поверхность A_{γ};

2) главная режущая кромка К;

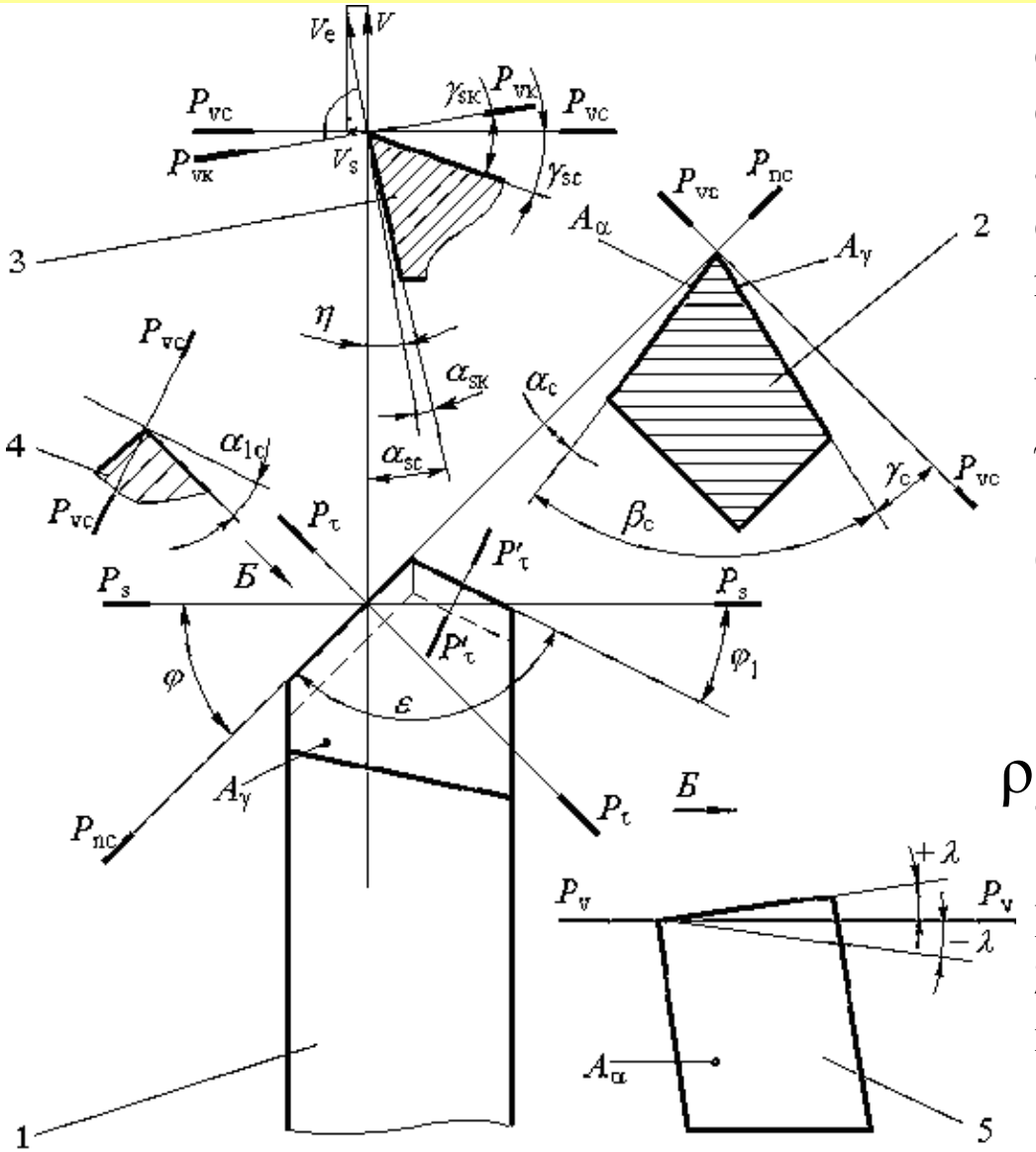
3) главная задняя поверхность $_{A\alpha}$;

4) вершина лезвия;

5) вспомогательная задняя поверхность A'_{α};

6) вспомогательная режущая кромка К′.

Геометрические параметры режущего инструмента



Углы в основной плоскости P_v :

ϕ - главный угол в плане

ϕ_1 – вспомогательный угол в плане

ε - угол при вершине лезвия;

$\phi + \varepsilon + \phi_1 = 180°$

r_b – радиус вершины

Углы в главной секущей плоскости P_τ:

γ - главный передний угол

α - главный задний угол

β - главный угол заострения

$\gamma + \beta + \alpha = 90°$.

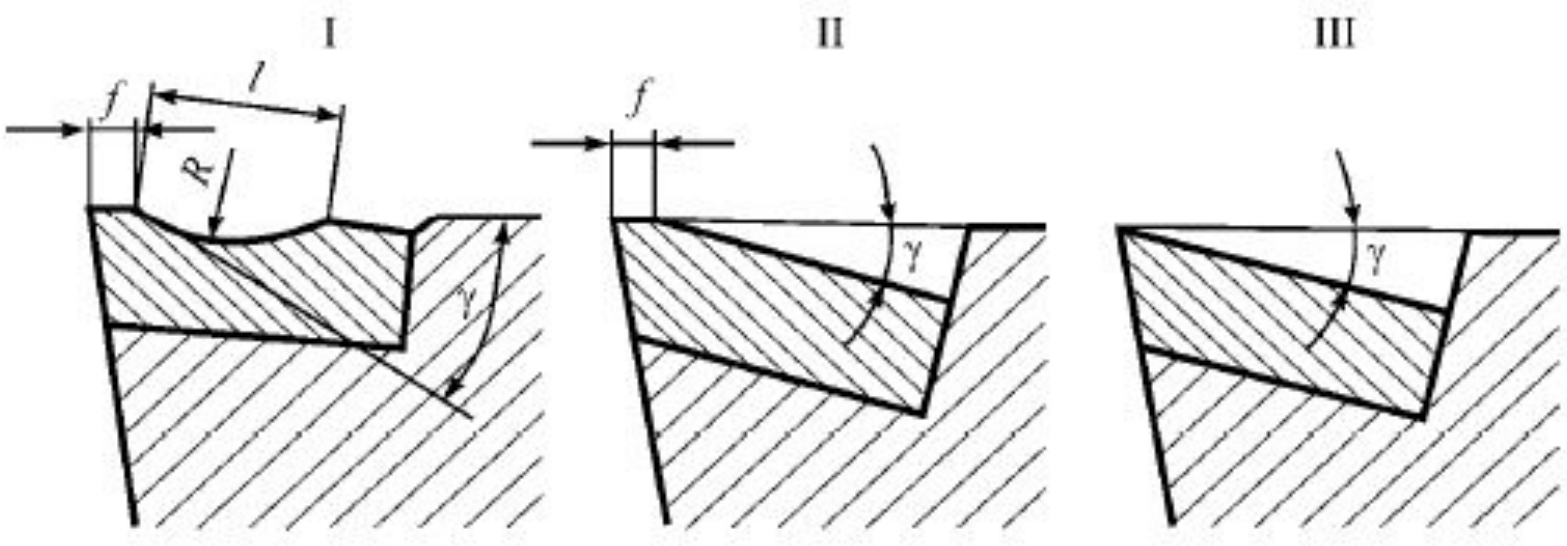
ρ - радиус округления режущей кромки

В плоскости резания P_n:

λ - угол наклона главной режущей кромки

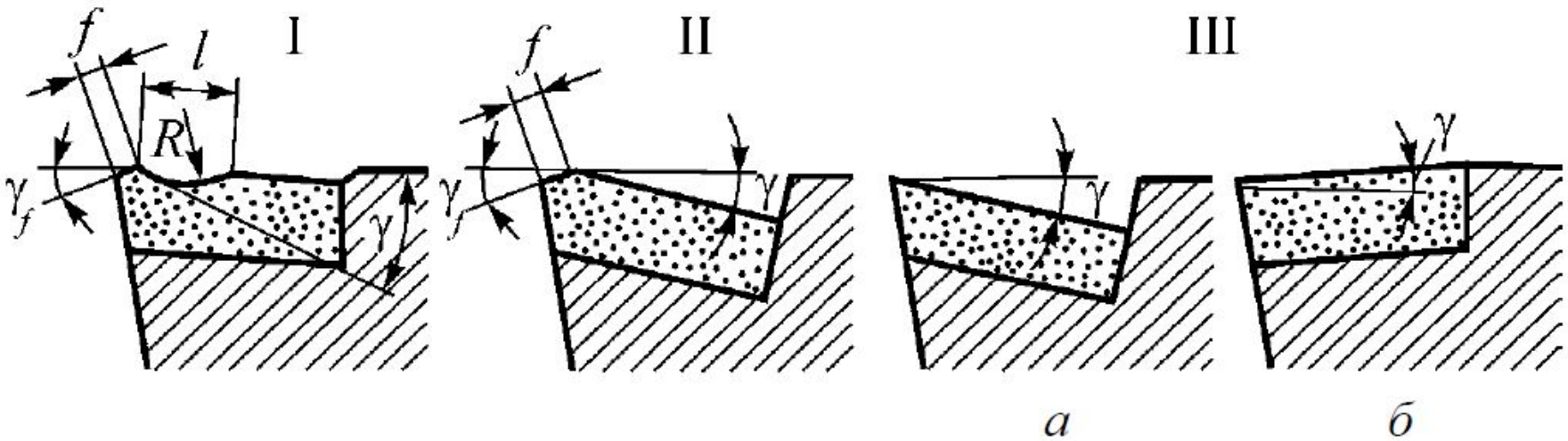
Особенности выбора геометрических параметров лезвия резцов из быстрорежущей стали

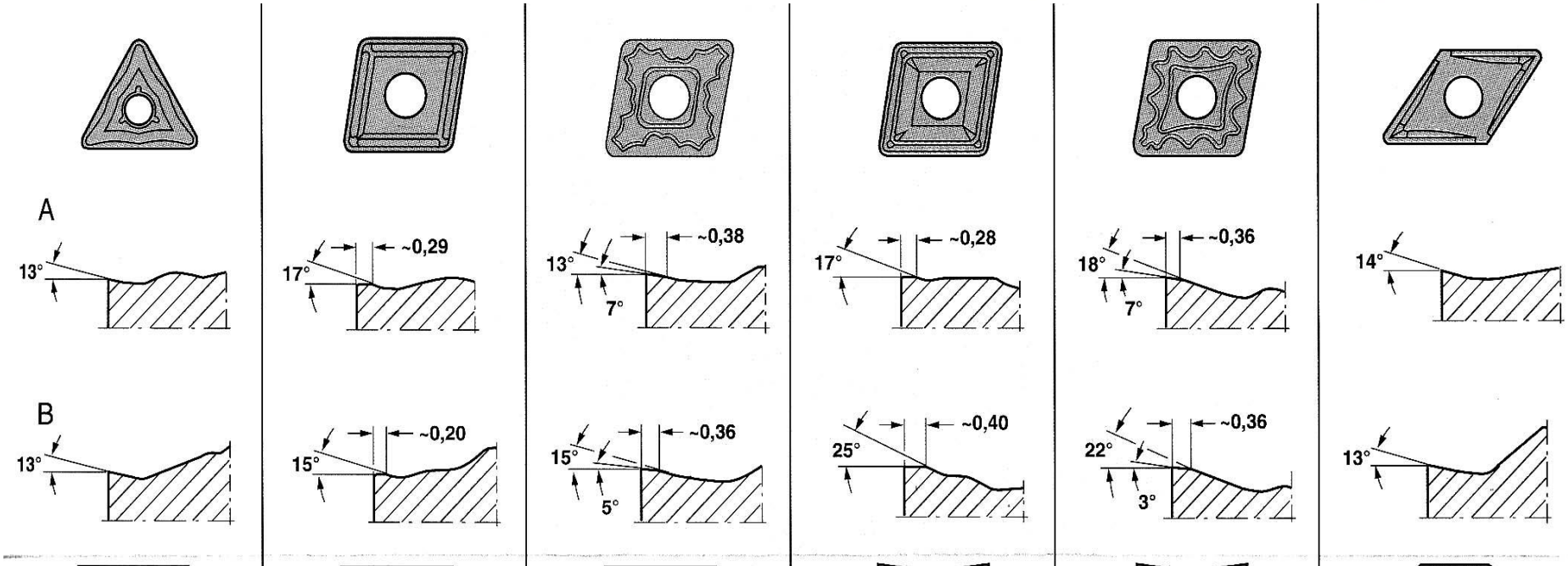
Форма передней поверхности:



Особенности выбора геометрических параметров лезвия резцов

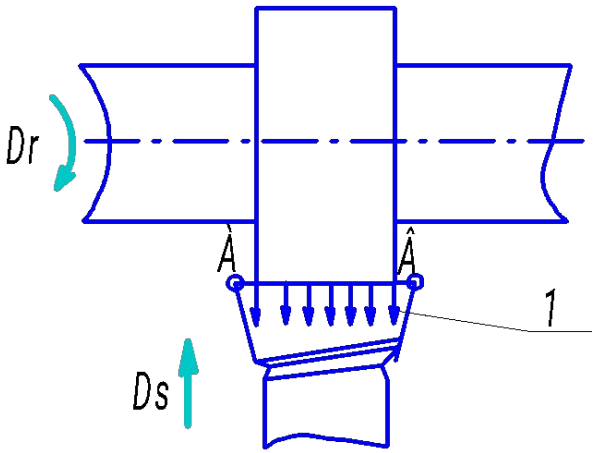
Форма передней поверхности:

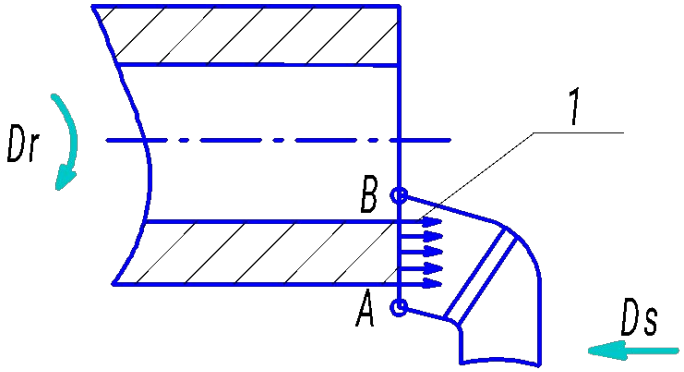




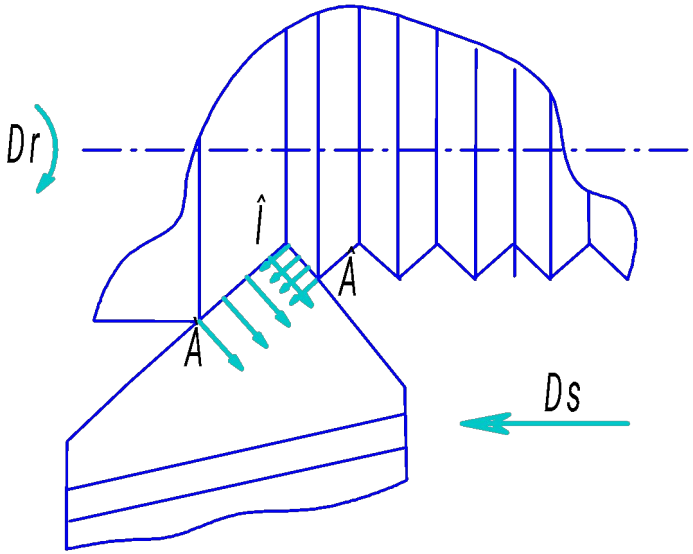
Классификация основных видов резания

Свободное резание:



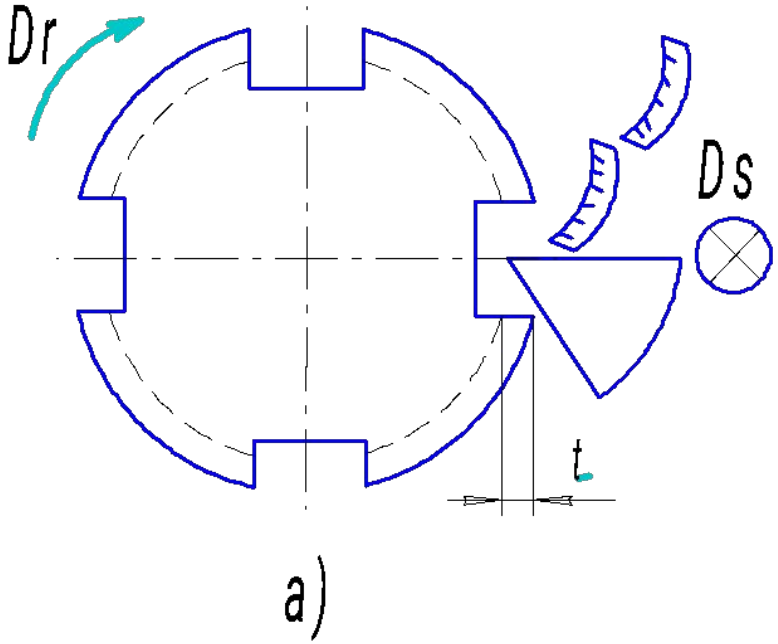


Несвободное резание:

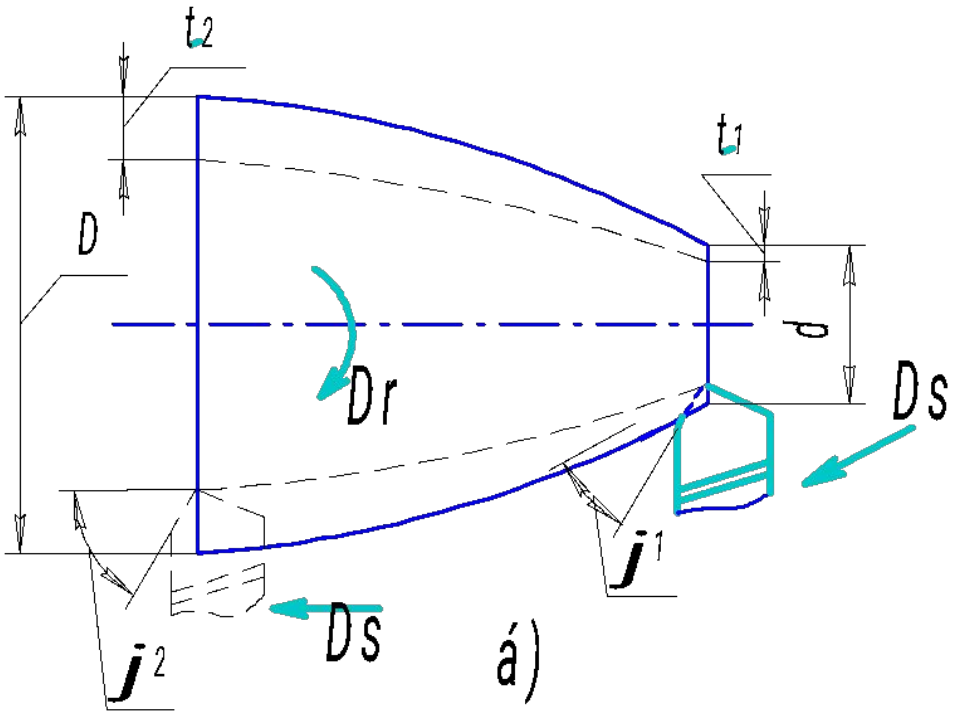


Классификация основных видов резания

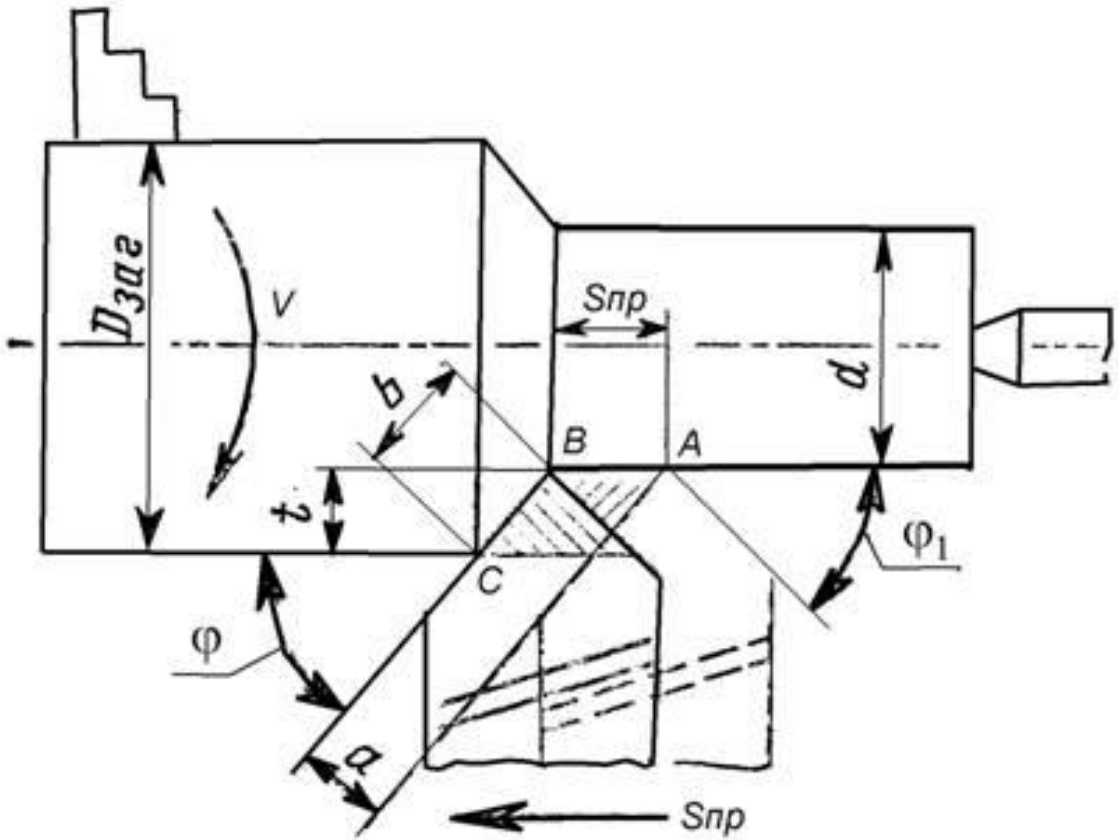
Прерывистое резание:



Нестационарное резание:



Элементы режима резания при точении



орость резания :

$$V = \frac{\pi D_{заг} n}{1000}$$

Подача *S:*

мм/об – точение и сверление;
мм/об, мм/мин, мм/зуб – фрезерование;
мм/дв.ход –шлифование и строгание

Глубина резания *t* :

$$t = \frac{D_{заг} - d}{2}$$

Элементы и характеристика срезаемого слоя при точении

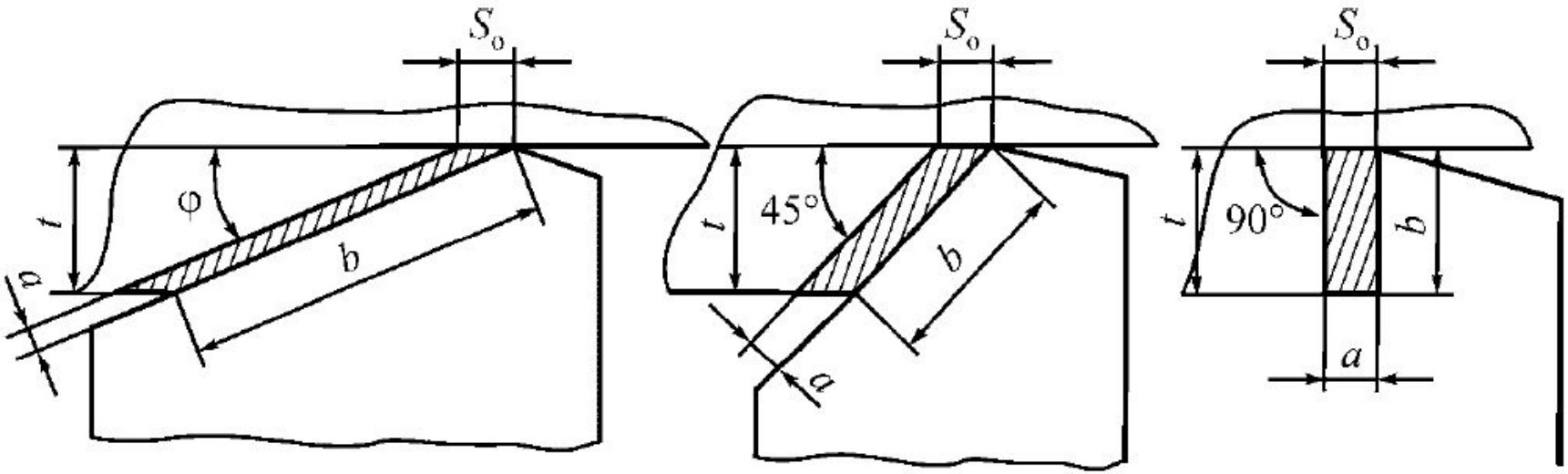
Толщина срезаемого слоя *a* :

$$a = S \cdot \sin \varphi$$

Площадь срезаемого слоя *f* :

Ширина срезаемого слоя *b* :

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



Элементы и характеристика срезаемого слоя при фрезеровании

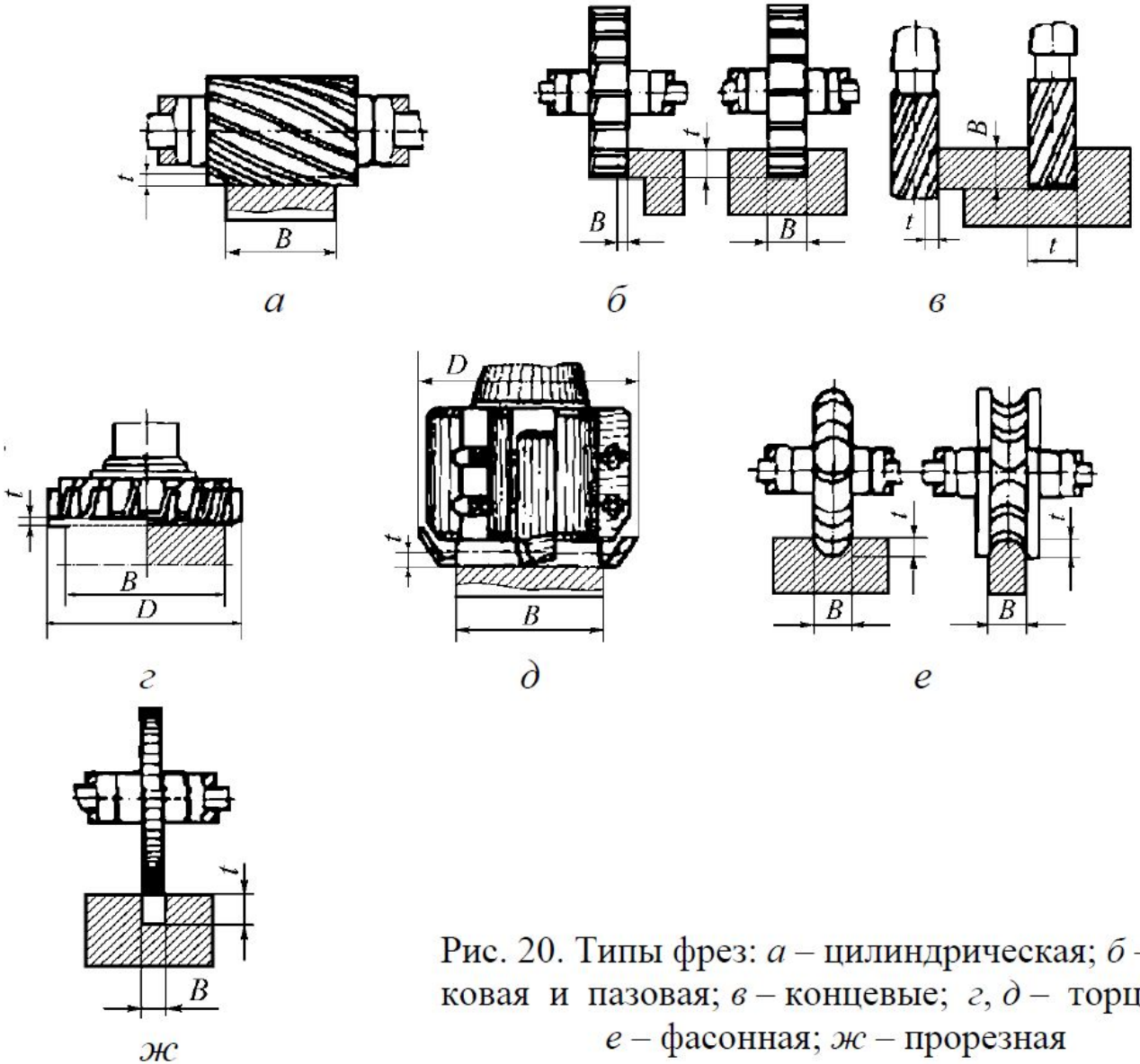
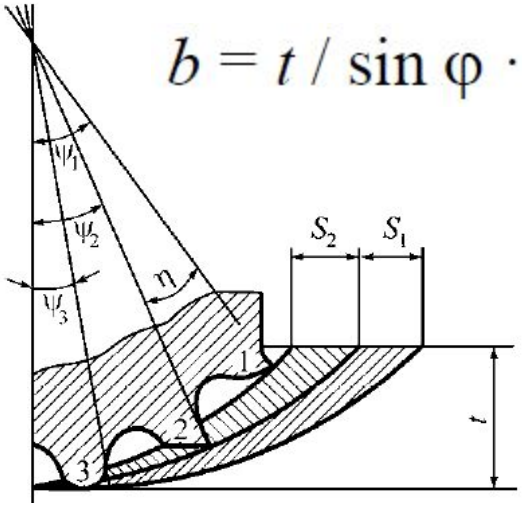
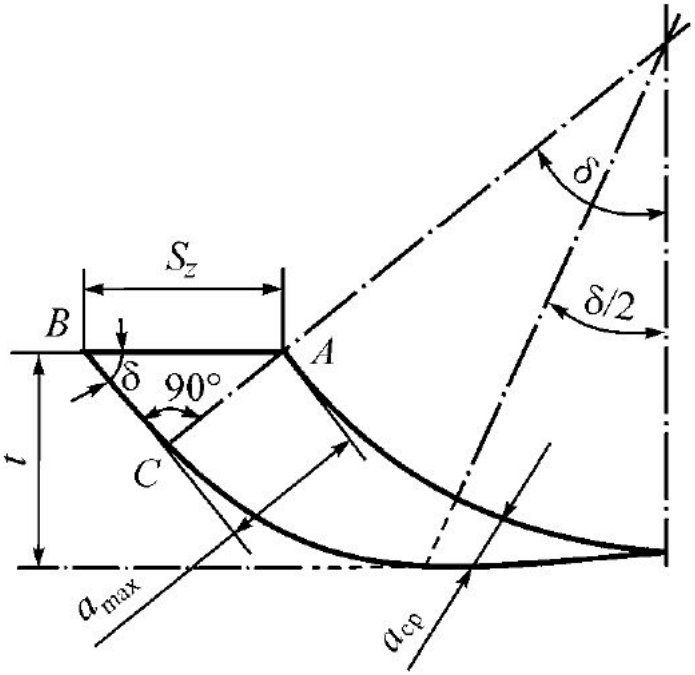


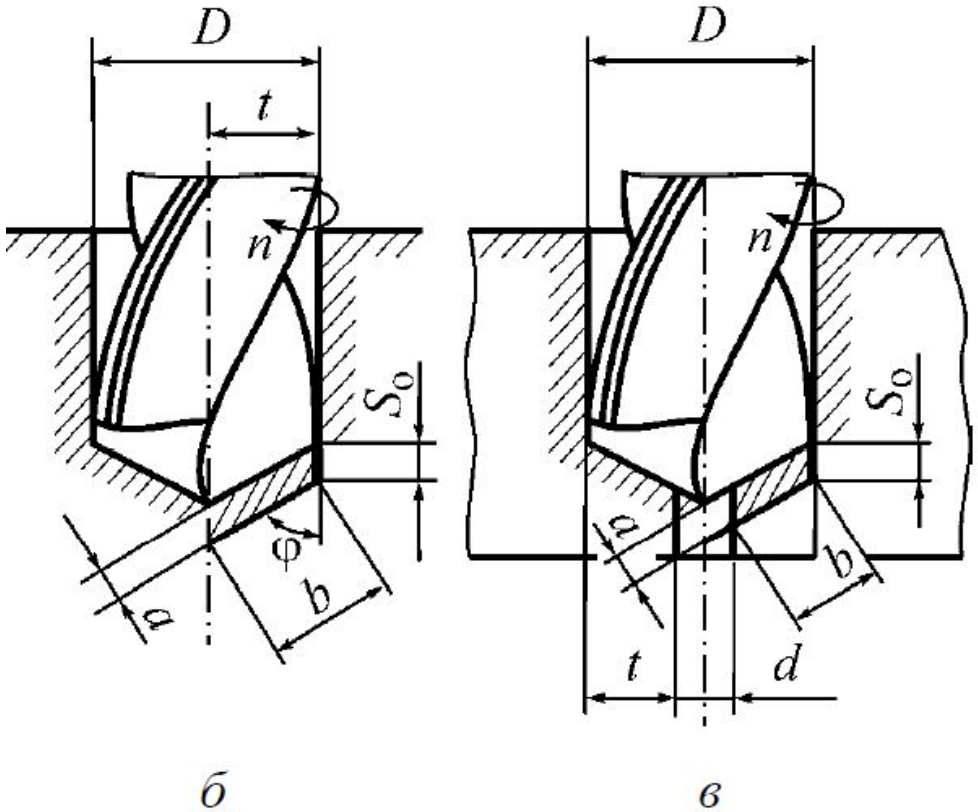
Рис. 20. Типы фрез: *а* – цилиндрическая; *б* – дисковая и пазовая; *в* – концевые; *г*, *д* – торцовые; *е* – фасонная; *ж* – прорезная

Элементы и характеристика срезаемого слоя при фрезеровании и сверлении

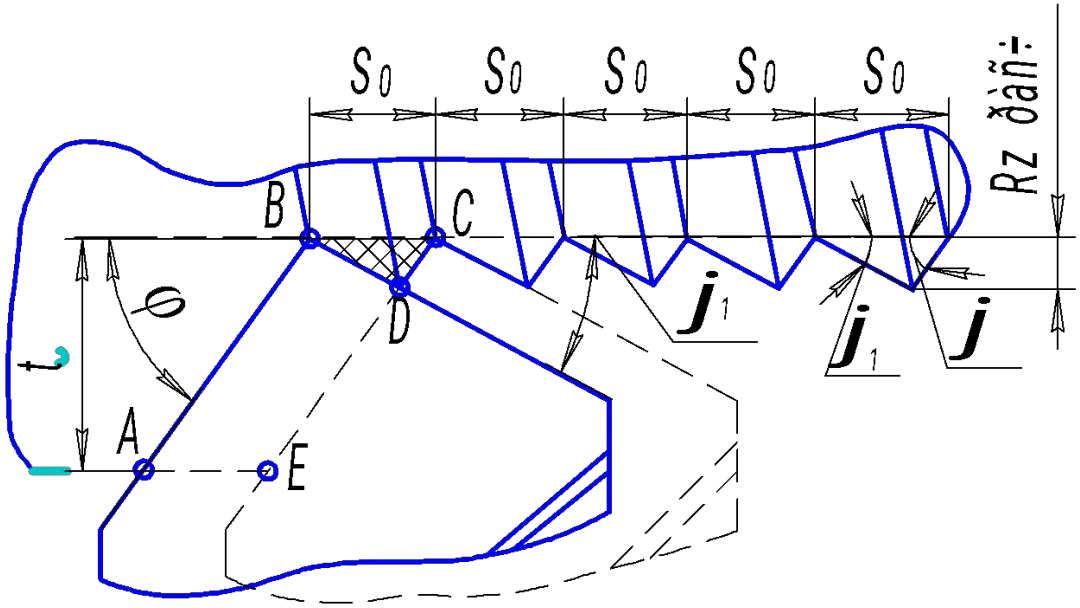
$$b = t / \sin\varphi \cdot \cos\lambda$$



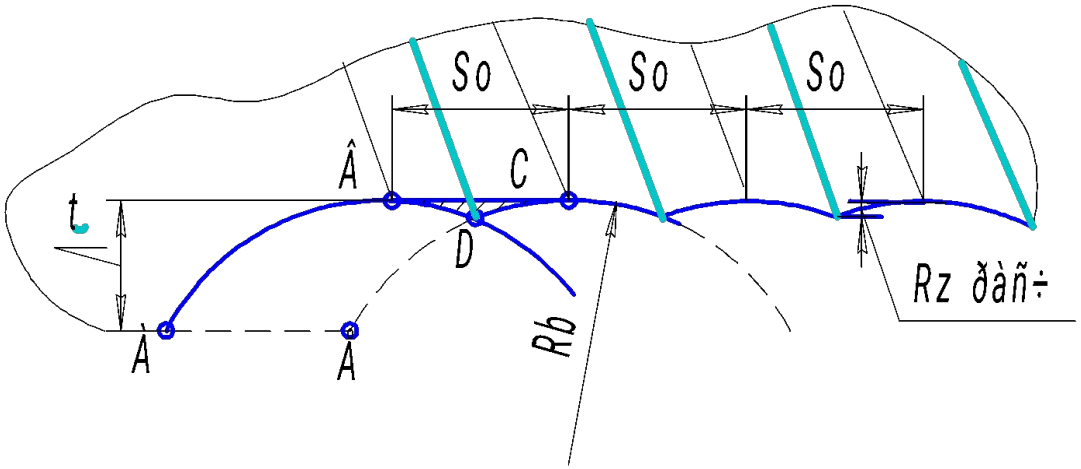




Остаточное сечение при точении



- номинальное сечение среза (площадь ABCE);
- действительное сечение среза (площадь ABDE);
- остаточное сечение среза (площадь BCD);



Высота остаточных гребешков:

для резца с острой вершиной -

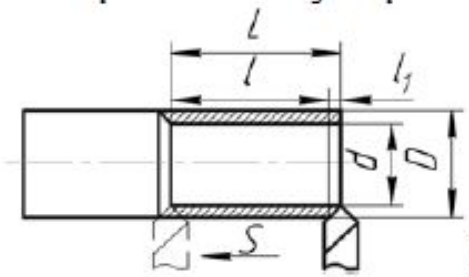
$$R_{z\,расч} = \frac{S_0}{\left(ctg\varphi + ctg\varphi_1\right)}$$

с закругленной вершиной -

$$R_{z расч} = \frac{S_0}{8 \cdot r_b}$$

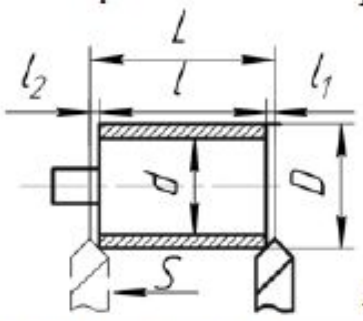
Врезание и перебег

1. Обтачивание цилиндрической поверхности в упор



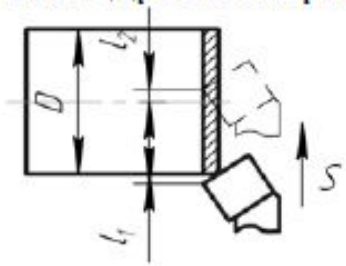
$L = l + l_1$

2. Обтачивание цилиндрической поверхности на проход

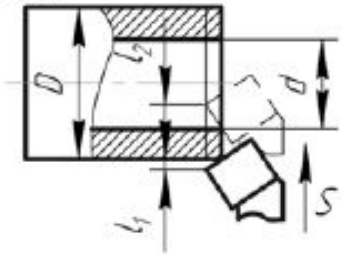


$L = l + l_1 + l_2$

3. Подрезка торца сплошного сечения

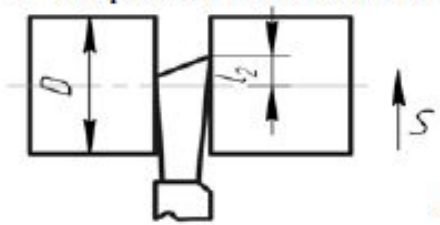


4. Подрезка торца не сплошного сечения



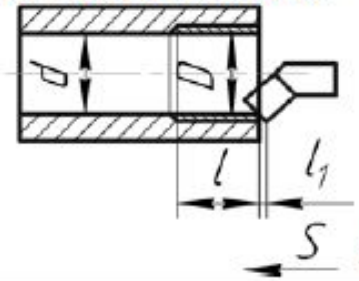
$L = \frac{D-d}{2} + l_1 + l_2$

5. Отрезка сплошного материала



$L = \frac{D}{2} + l_2$

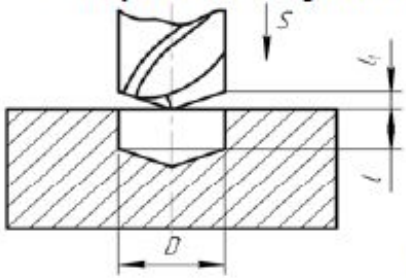
6. Растачивание



$L = l + l_1$

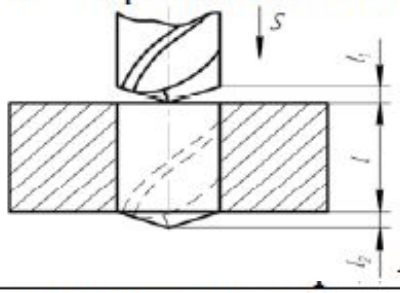
Врезание и перебег

7. Сверление глухого отверстия



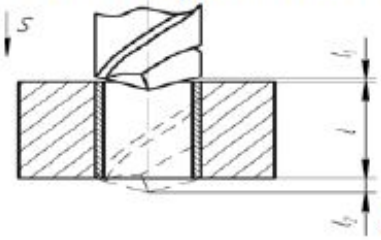
$L = l + l_1$

8. Сверление сквозного отверстия



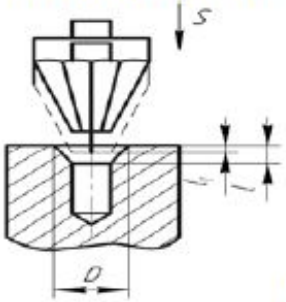
$L = l + l_1 + l_2$

9. Рассверливание отверстия



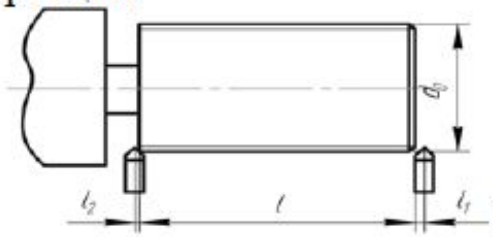
$L = l + l_1 + l_2$

10.Зенкование



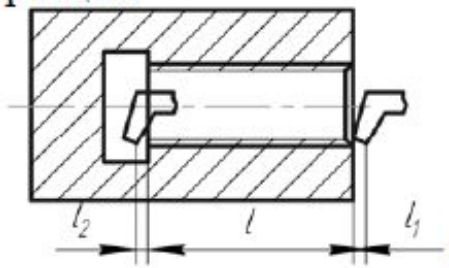
$L = l + l_1;\ l_1 = 1$

11.Нарезание наружной резьбы резцом



$L = l + l_1 + l_2$

12.Нарезание внутренней резьбы резцом

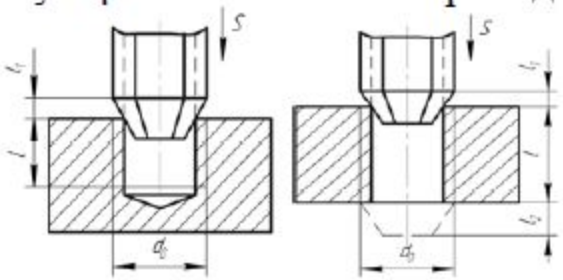


$L = l + l_1 + l_2$

Врезание и перебег

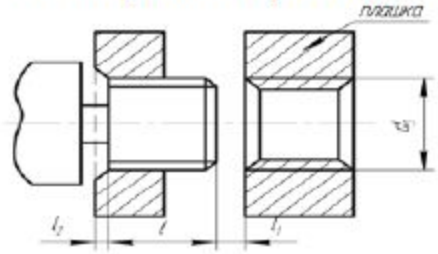
13. Нарезание резьбы метчиком:

в упор на проход



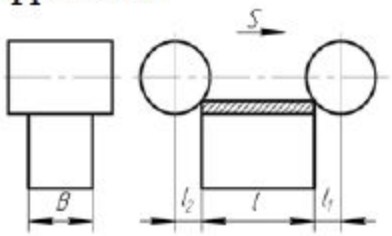
$L = L_{обр} = l + l_1$ $L = L_{обр} = l + l_1 + l_2$

14. Нарезание резьбы плашкой



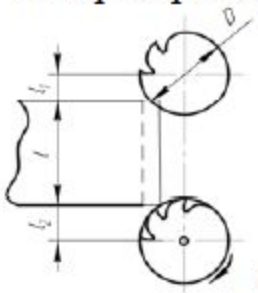
$L = L_{обр} = l + l_1 + l_2$

15. Фрезерование цилиндрическими фрезами



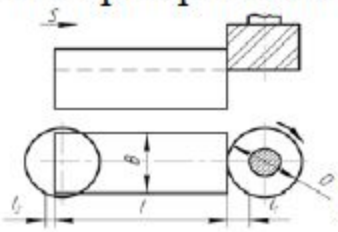
$L = l + l_1 + l_2$

16.Фрезерование концевыми фрезами



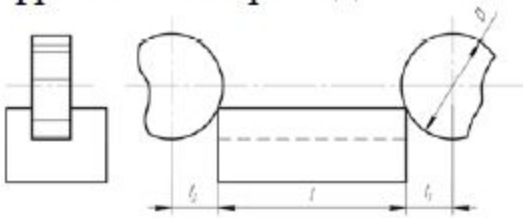
$L = l + l_1 + l_2$

17. Фрезерование торцевыми фрезами



$L = l + l_1 + l_2$

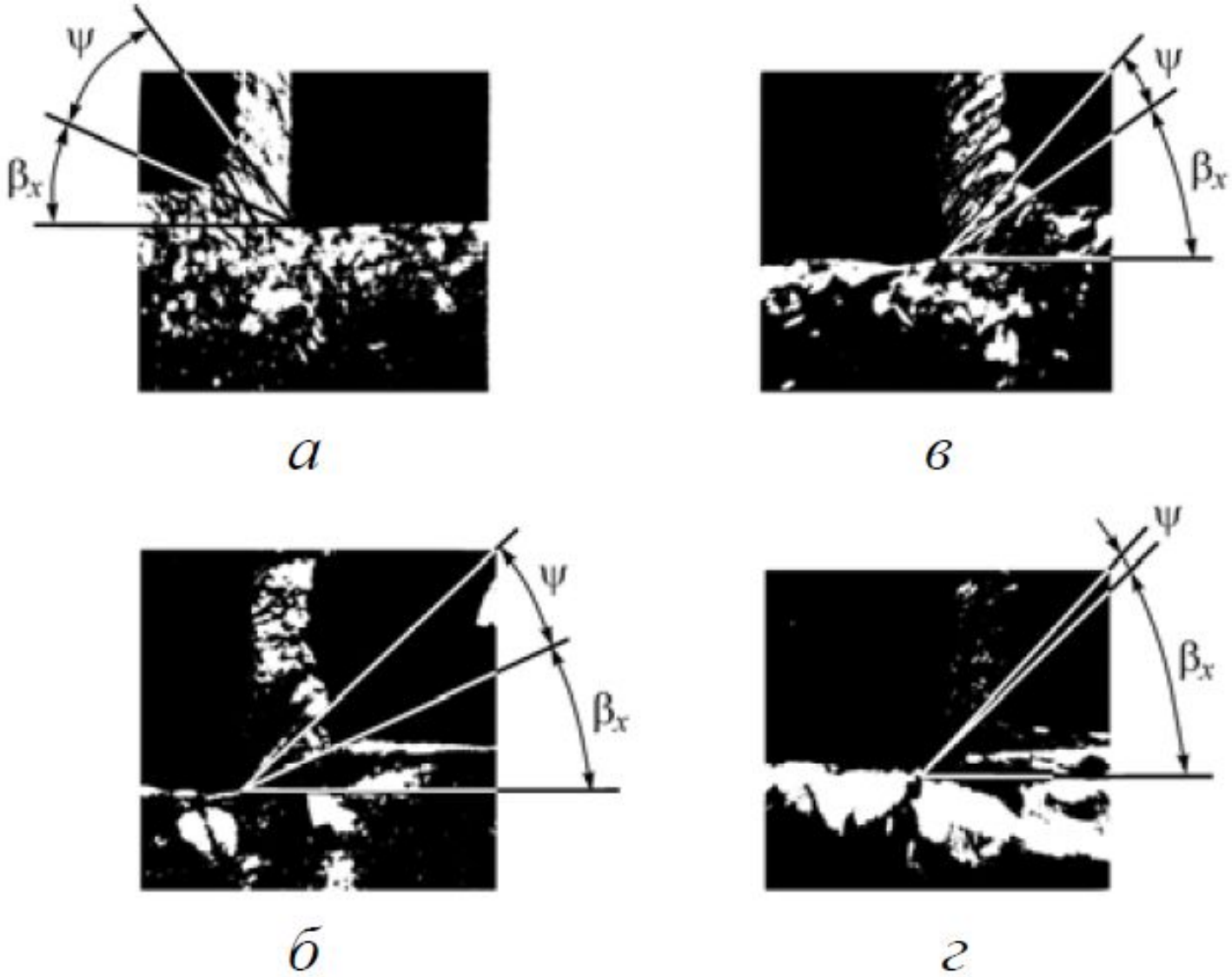
18. Фрезерование дисковыми фрезами на проход



$L = l + l_1 + l_2$

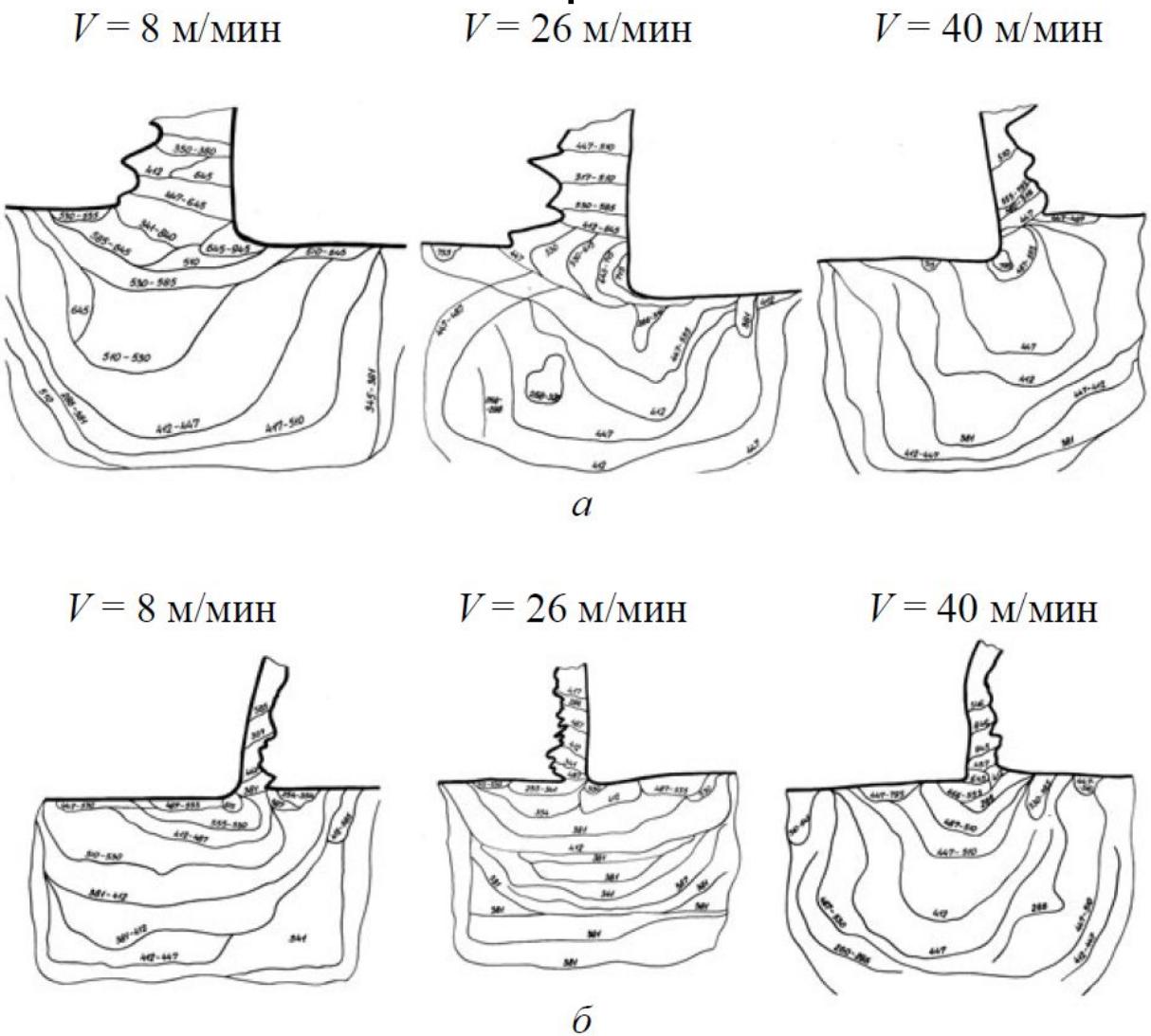
Методы оценки пластической деформации

Визуальное наблюдение отполированной поверхности

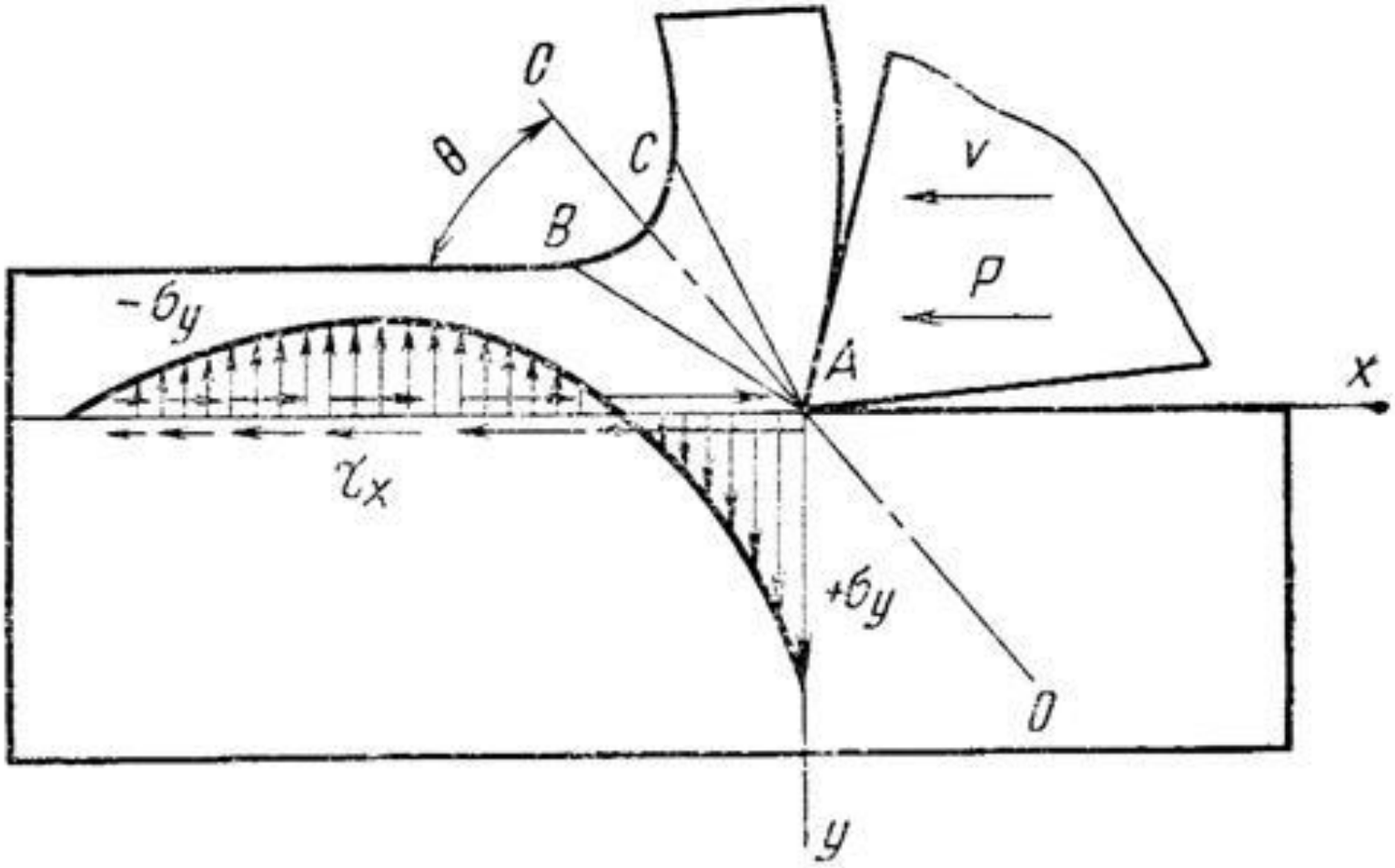


Методы оценки пластической деформации

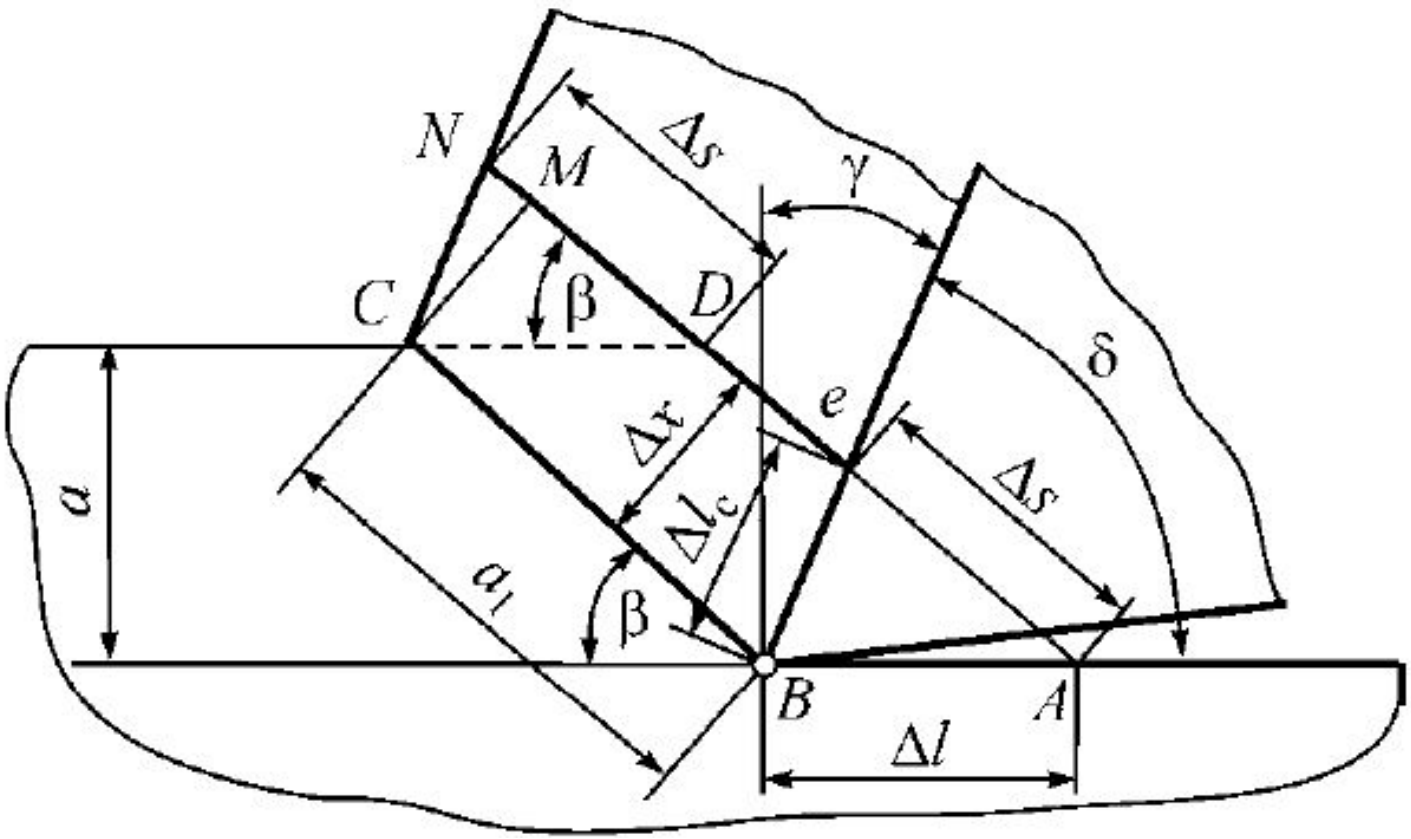
Метод измерения микротвердости и расчет напряжений в зоне резания



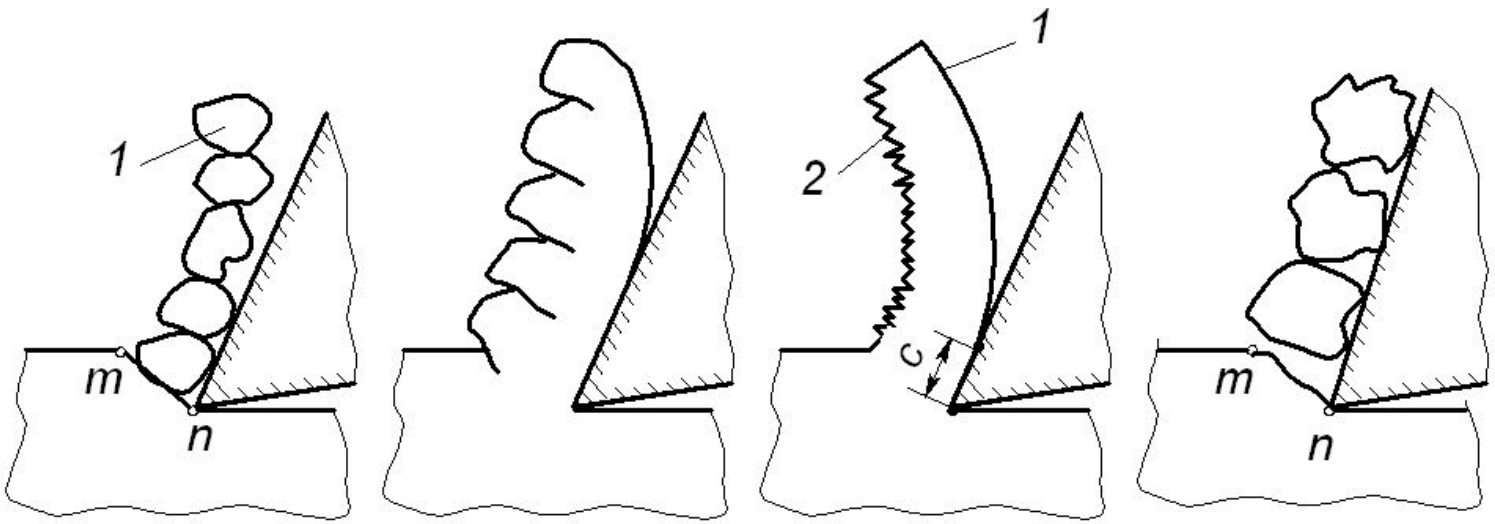
Физическая сущность процесса резания



Физическая сущность процесса резания



Типы стружек

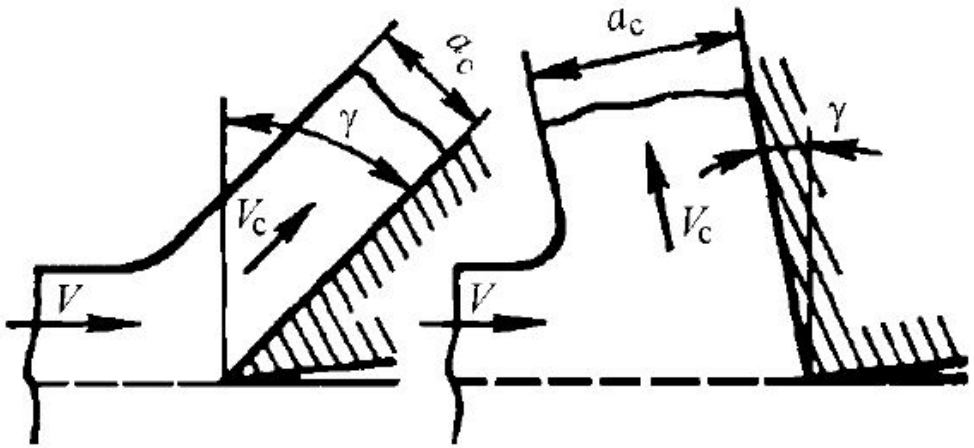


а	*б*	*в*	*г*

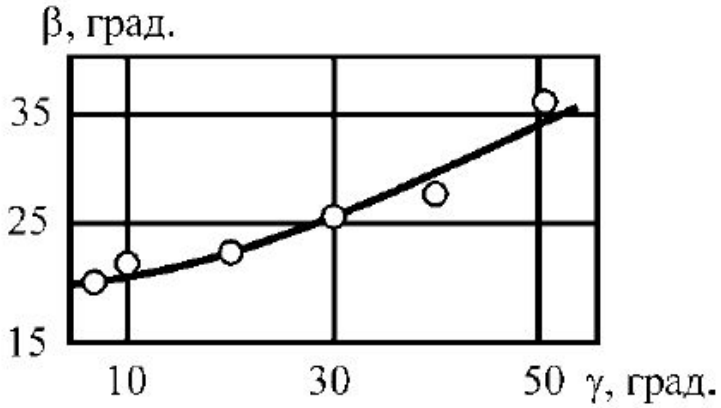
Типы стружек, образующихся при резании:
а – элементная; б – суставчатая; в – сливная; г - надлома

Образование заторможенного слоя на передней поверхности

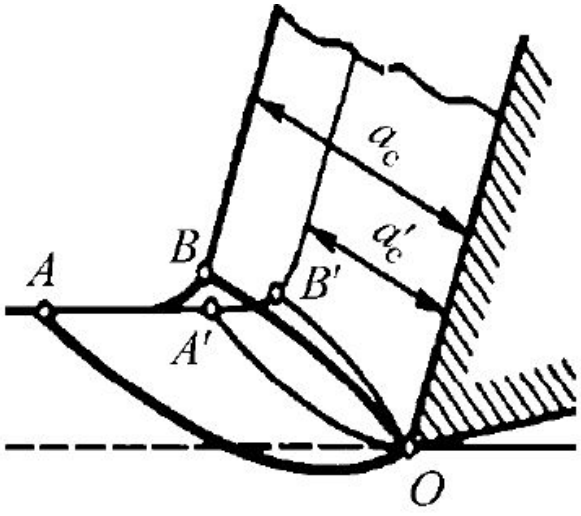
Влияние переднего угла и скорости резания на стружкообразование



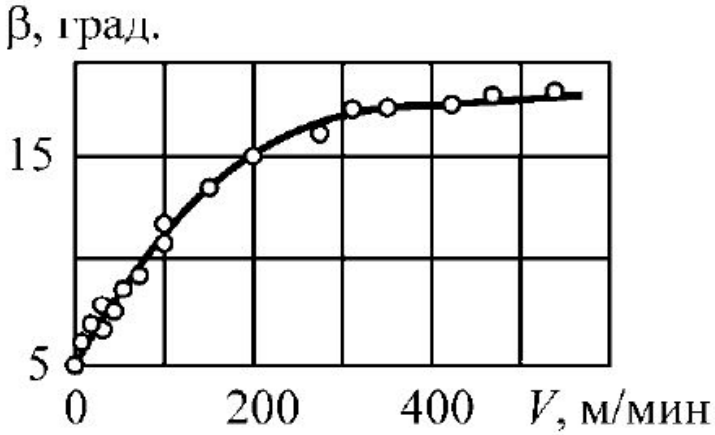
а



б

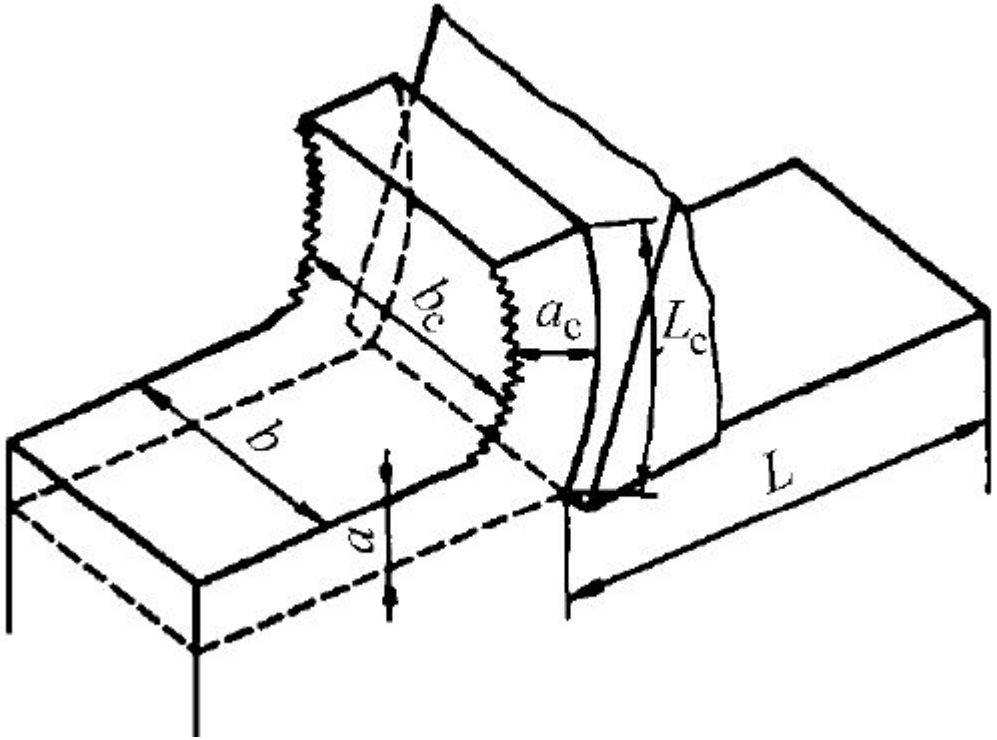


а



б

Понятие об усадке



Усадка стружки по длине

$$K_1 = \frac{L_c}{L}$$

Усадка стружки по толщине

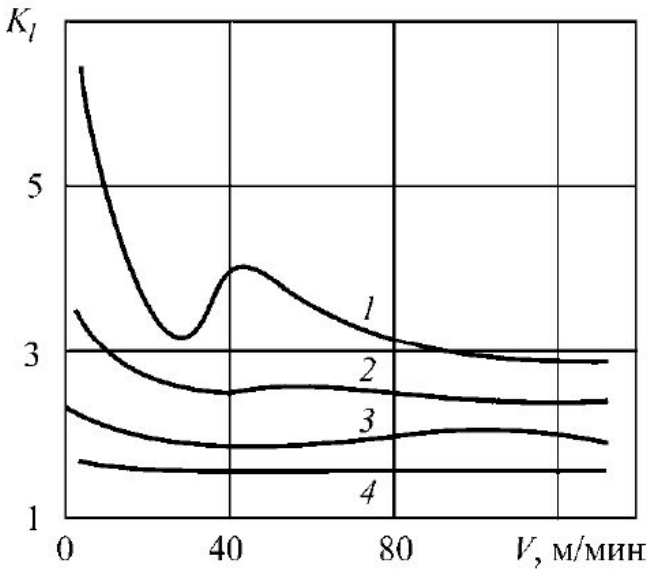
$$K_a = a_c / a$$

Усадка стружки по ширине

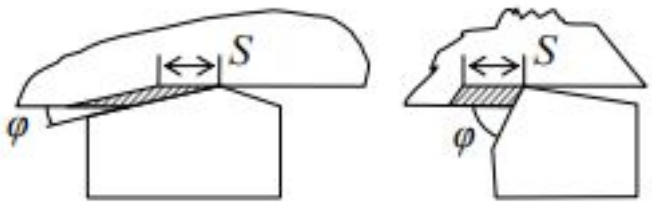
$$K_в = в_c / в$$

Зависимость усадки от технологии обработки

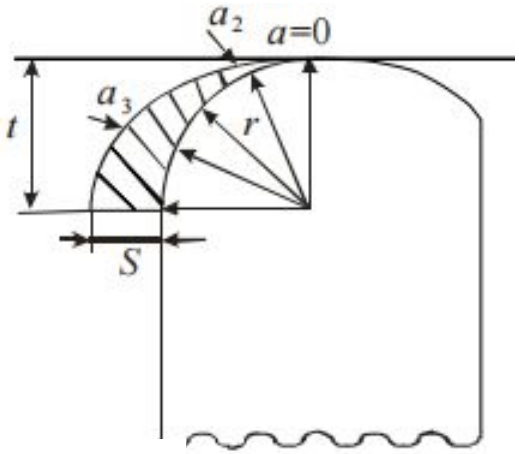
Влияние переднего угла



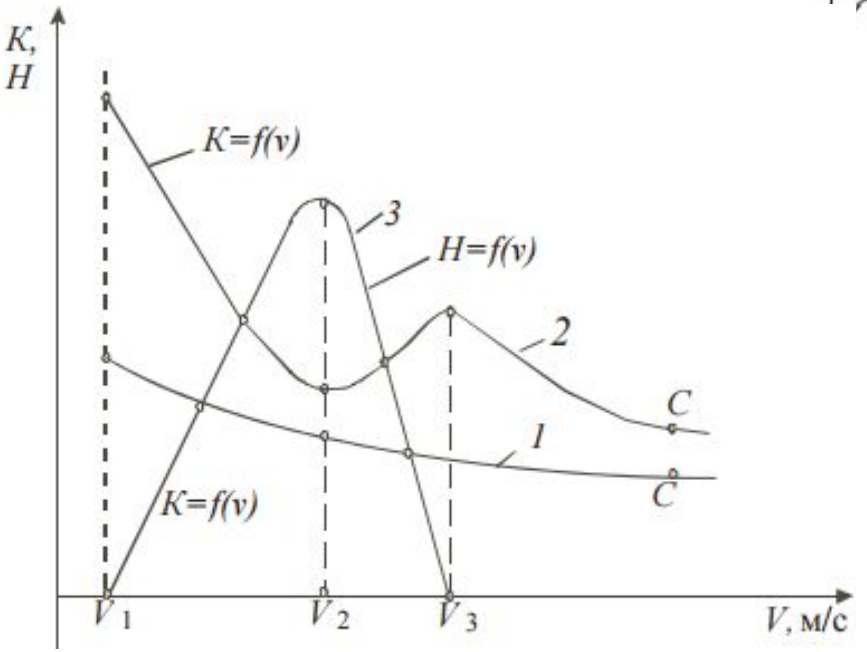
Влияние главного угла в плане



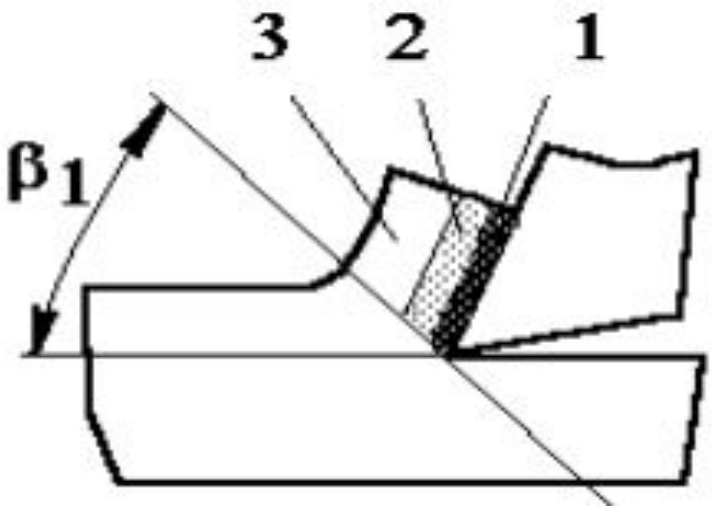
Влияние радиуса при вершине резца



Влияние скорости резания



Наростообразование.
Факторы, влияющие на образование нароста



Микроструктура стружки

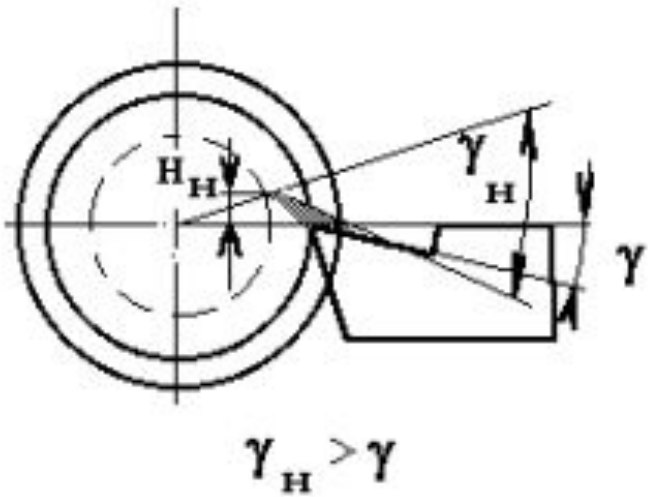
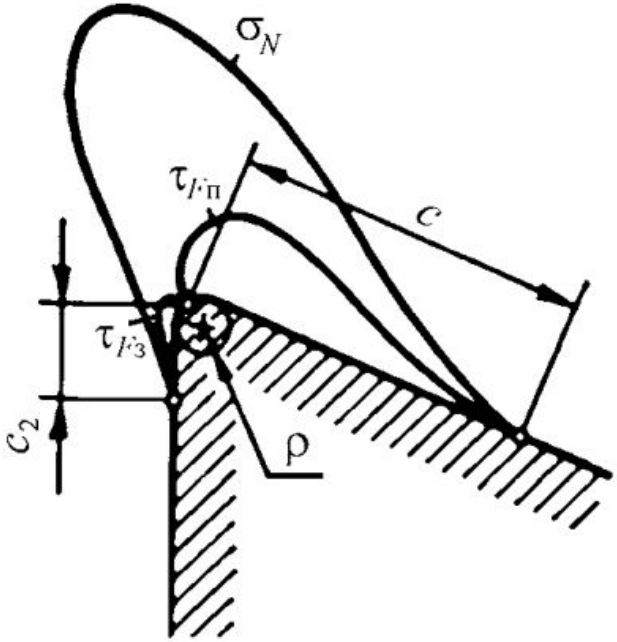
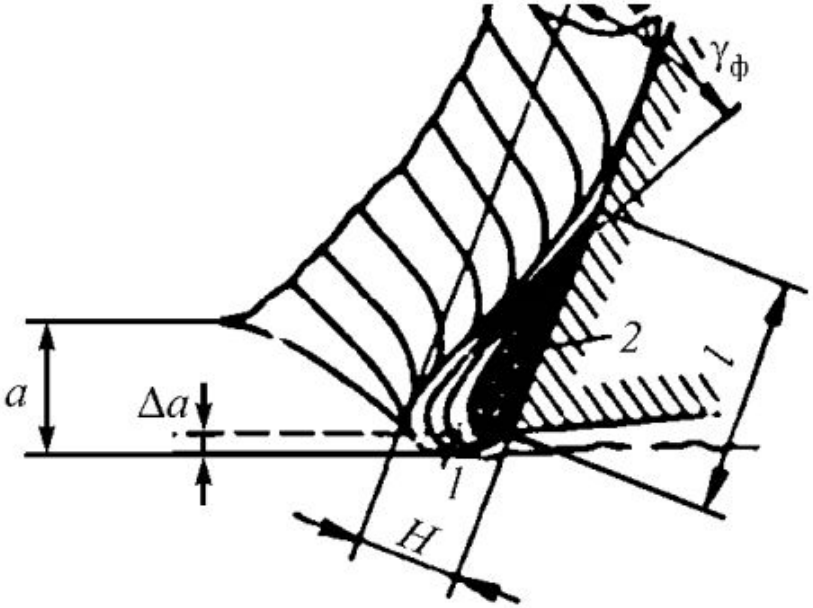


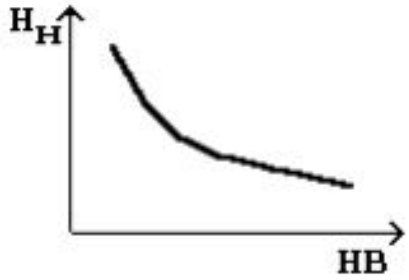
Схема образования нароста



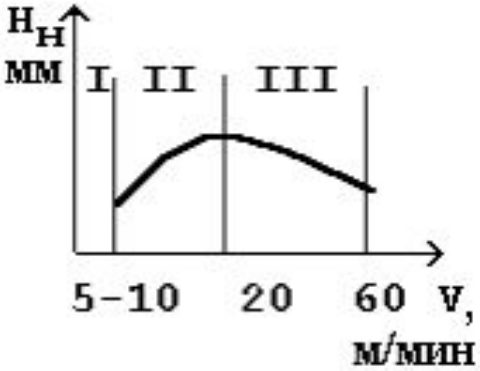


Факторы, влияющие на образование нароста

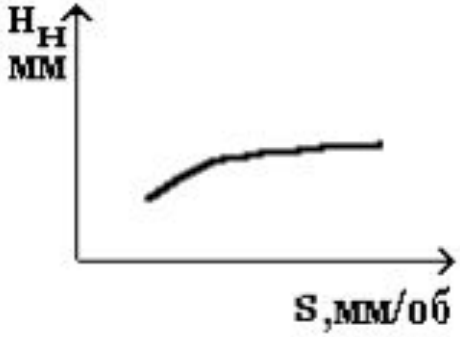
1. Обрабатываемый материал



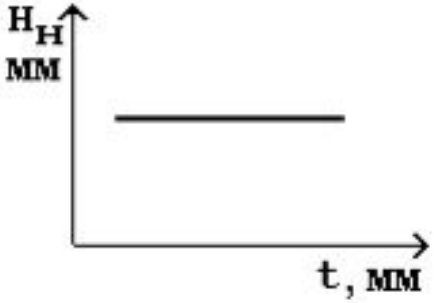
2. Скорость резания



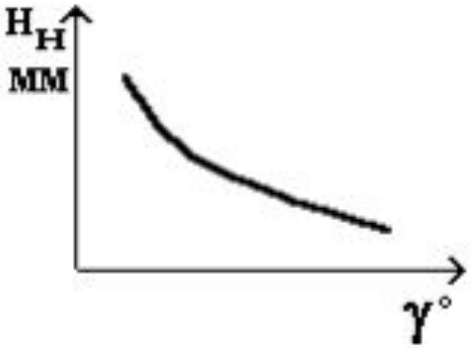
3. Подача



4. Глубина резания

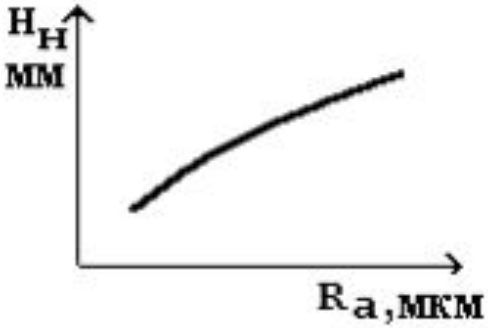


5. Передний угол

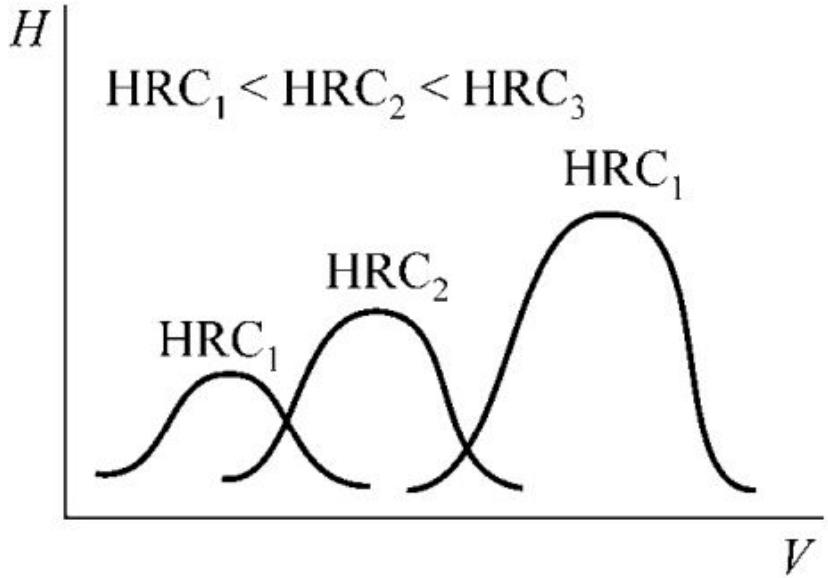


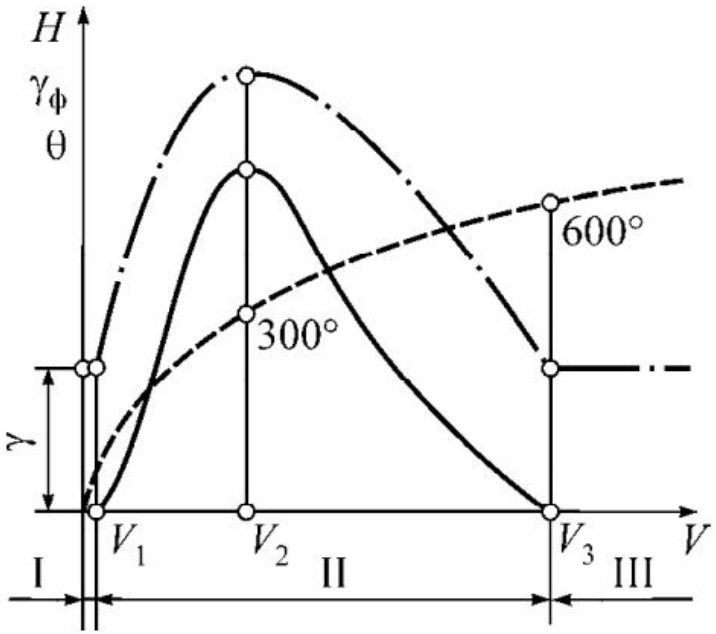
6. СОТС

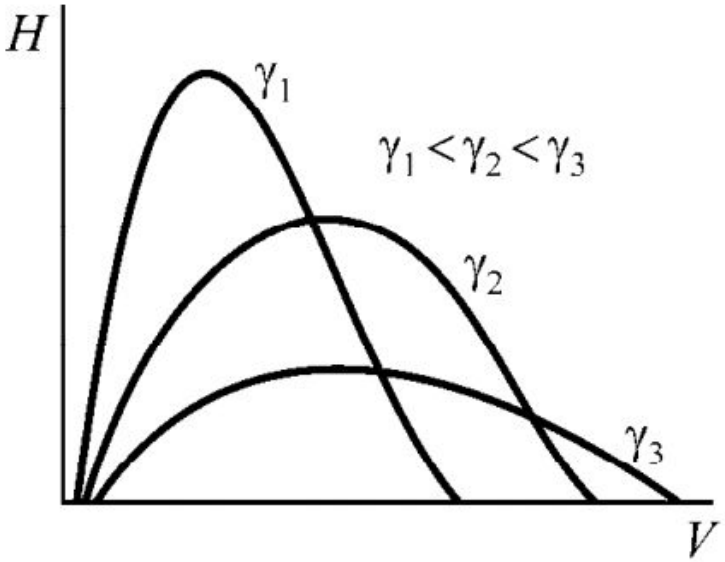
7. Качество поверхности резца

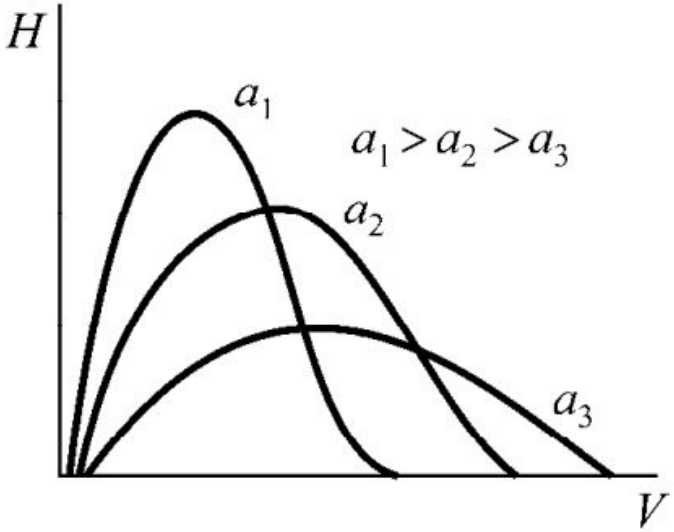


Наростообразование.
Факторы, влияющие на образование нароста

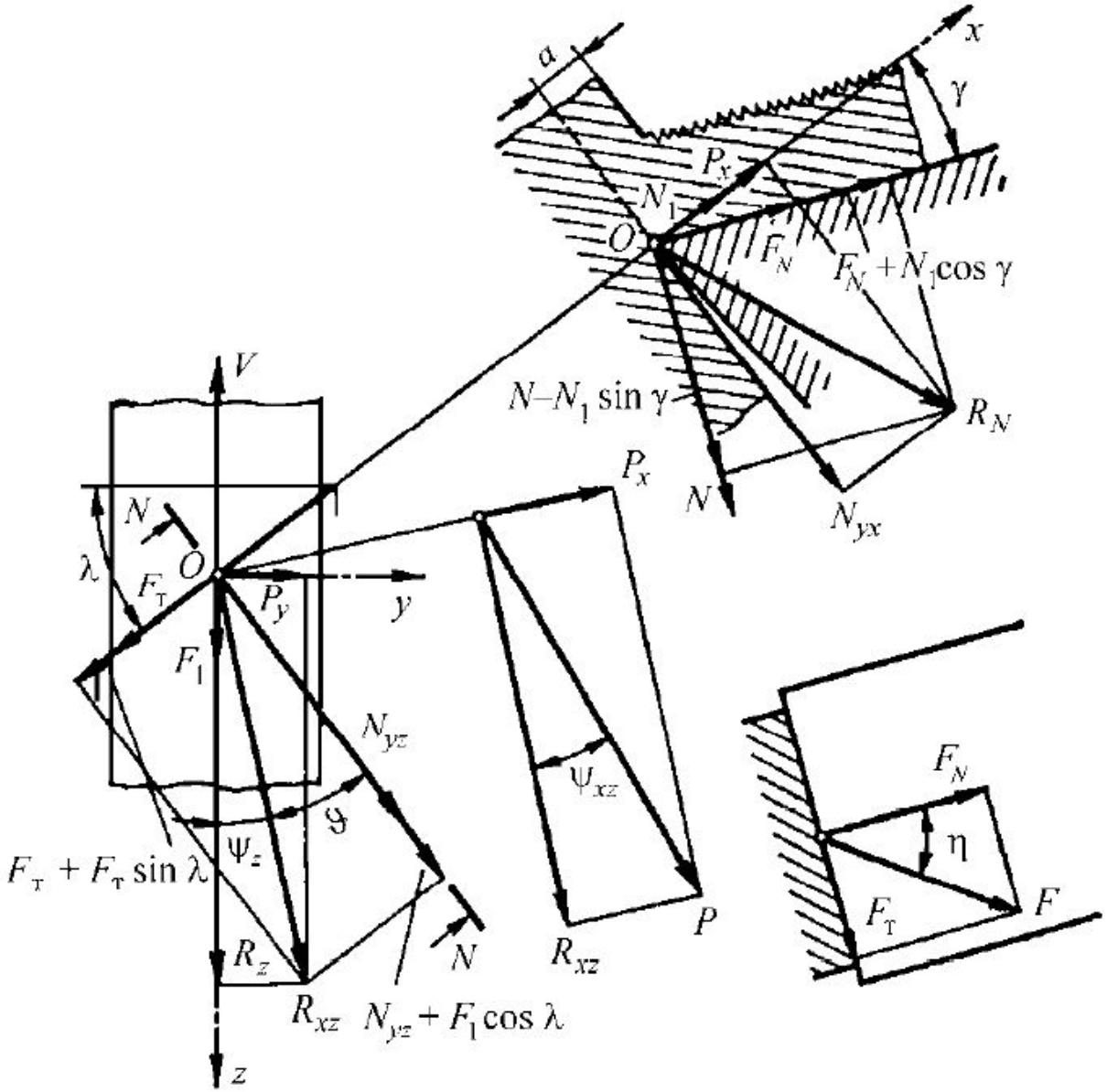




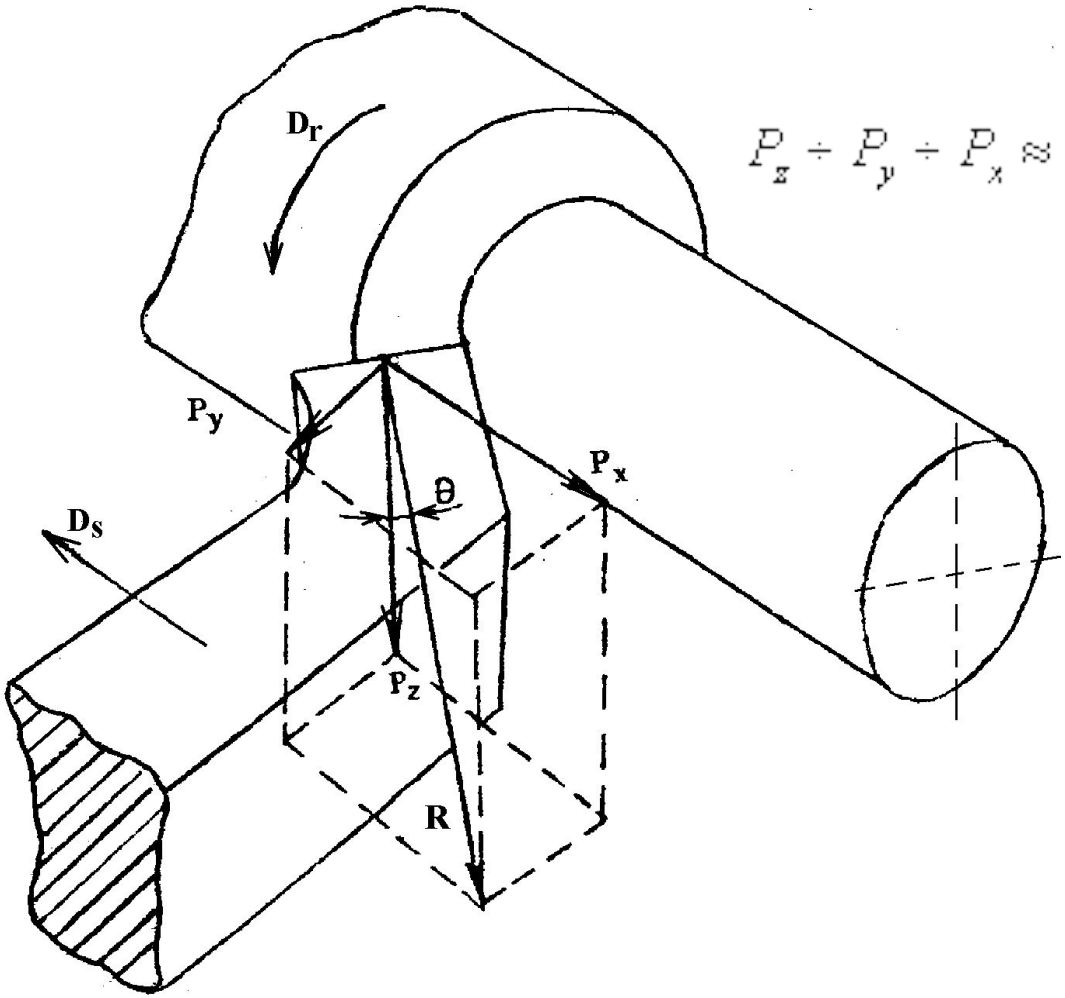




Силы резания



Силы резания



$$P_z = C_{P_Z} t^{X_{P_Z}} S^{Y_{P_Z}} V^{n_{P_Z}} K_{M_{P_Z}}$$

$$P_z \div P_y \div P_x \approx 1 \div (0{,}55 - 0{,}4) \div (0{,}45 - 0{,}25)$$

$$M_{кр} = \frac{P_z \cdot D_{заг}}{2 \cdot 1000}$$

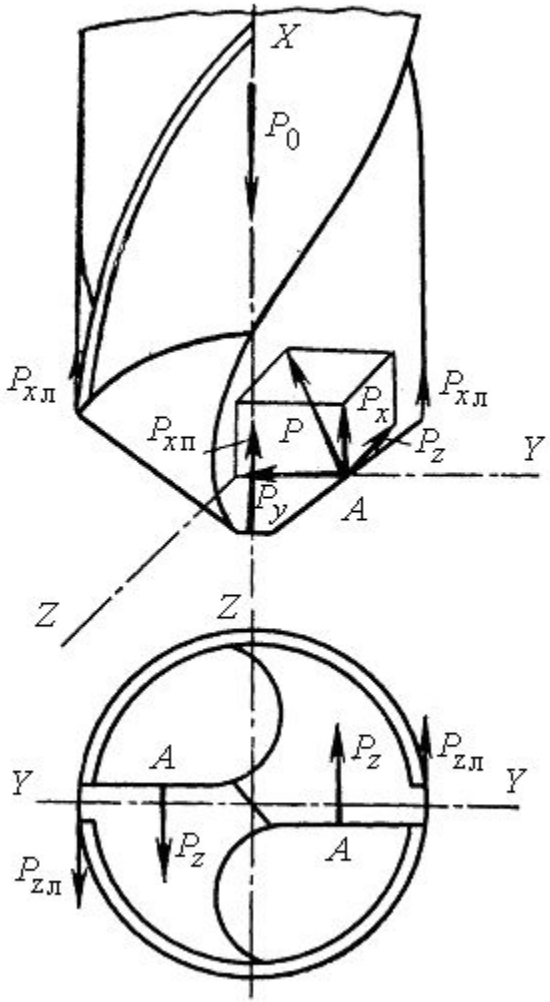
$$N_e = \frac{P_Z \cdot V}{60 \cdot 10^3} + \frac{P_X \cdot n \cdot S_{пр}}{60 \cdot 10^6}$$

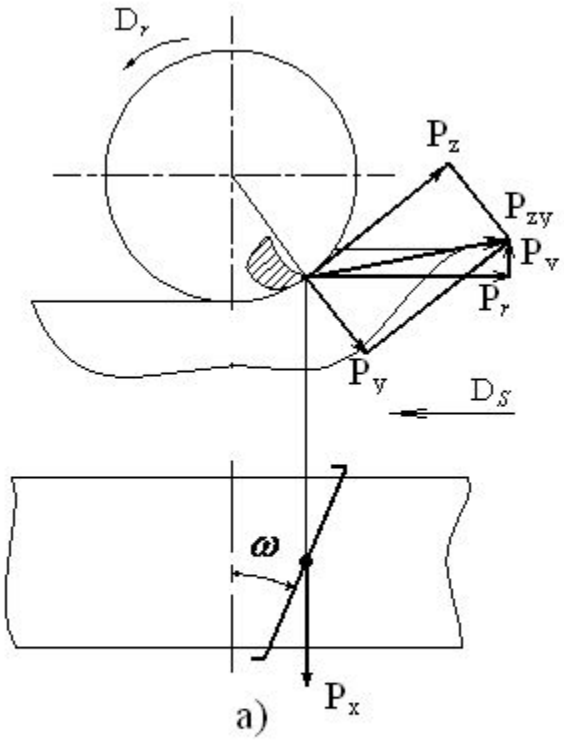
$$N_e = \frac{P_Z \cdot V}{60 \cdot 10^3}$$

$$N_э = \frac{N_e}{\eta}$$

$$R = \sqrt{P_z^2 + P_y^2 + P_x^2}$$

Силы резания





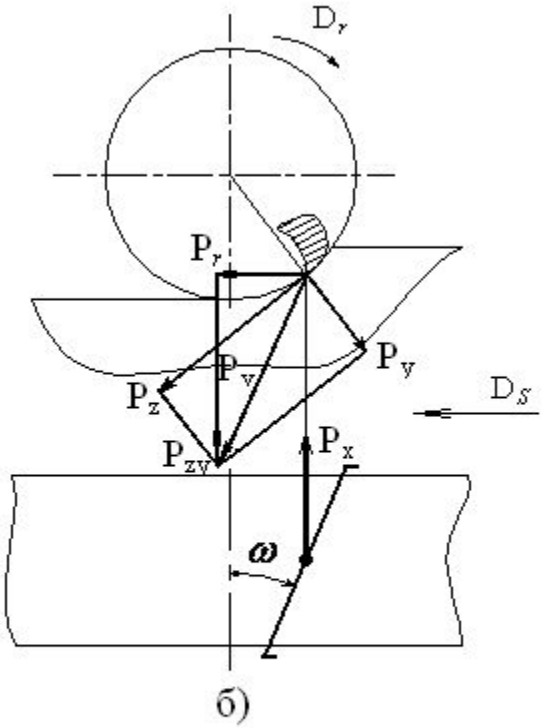
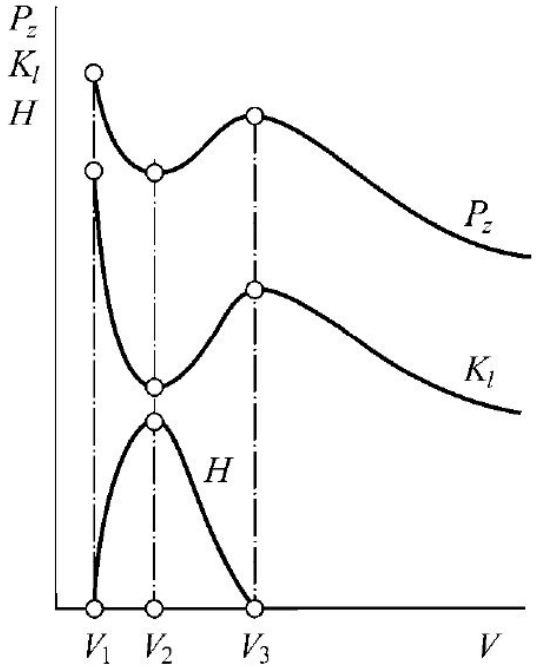
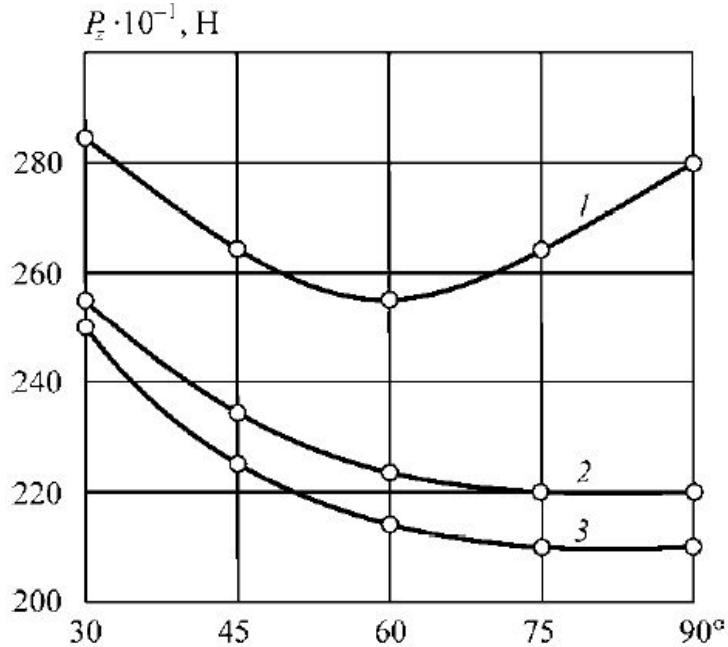
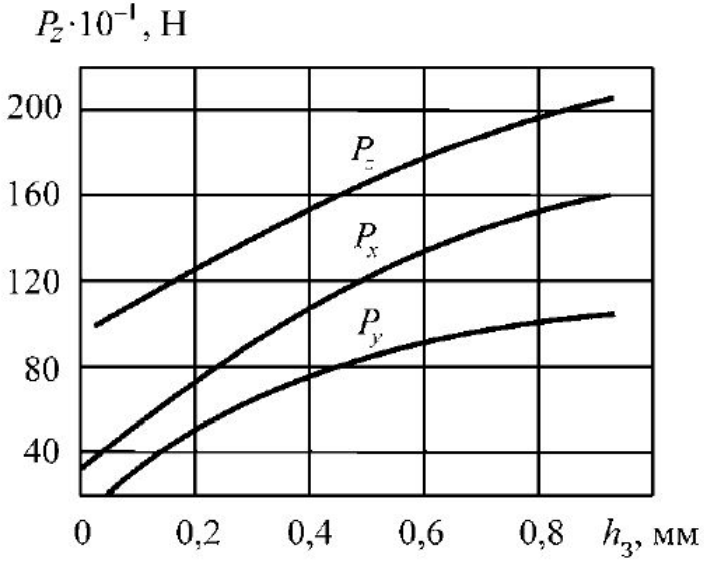


Рис. 42. Силы, действующие на зуб цилиндрической фрезы: а) встречное фрезерование; б) попутное фрезерование

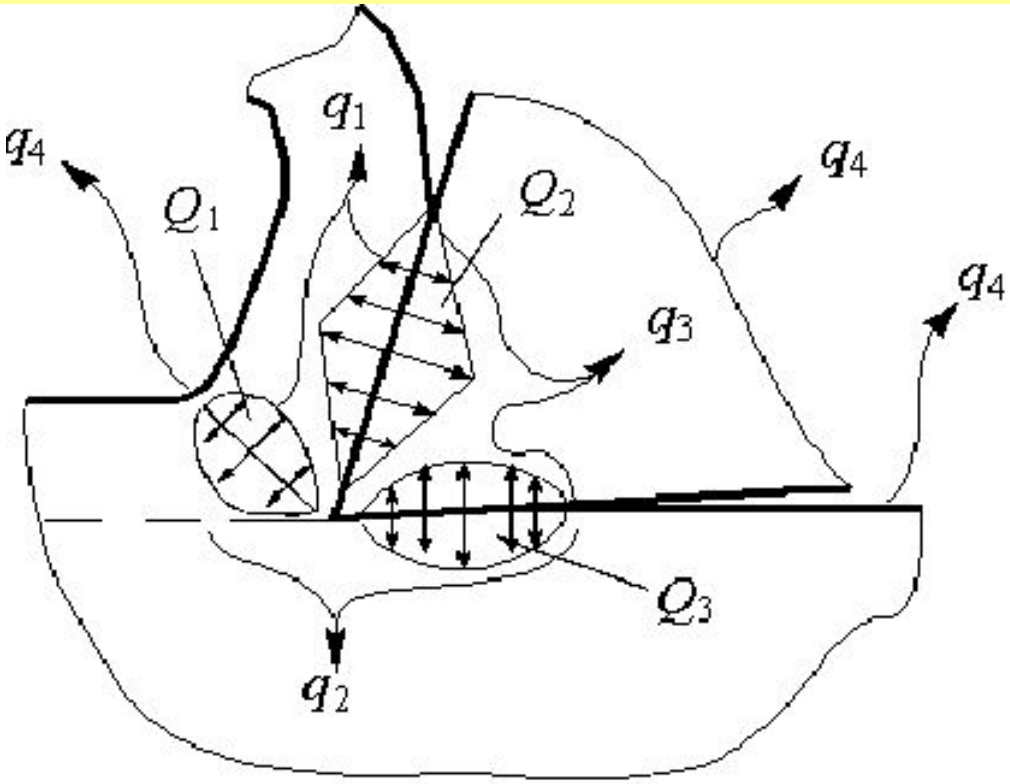
Силы резания



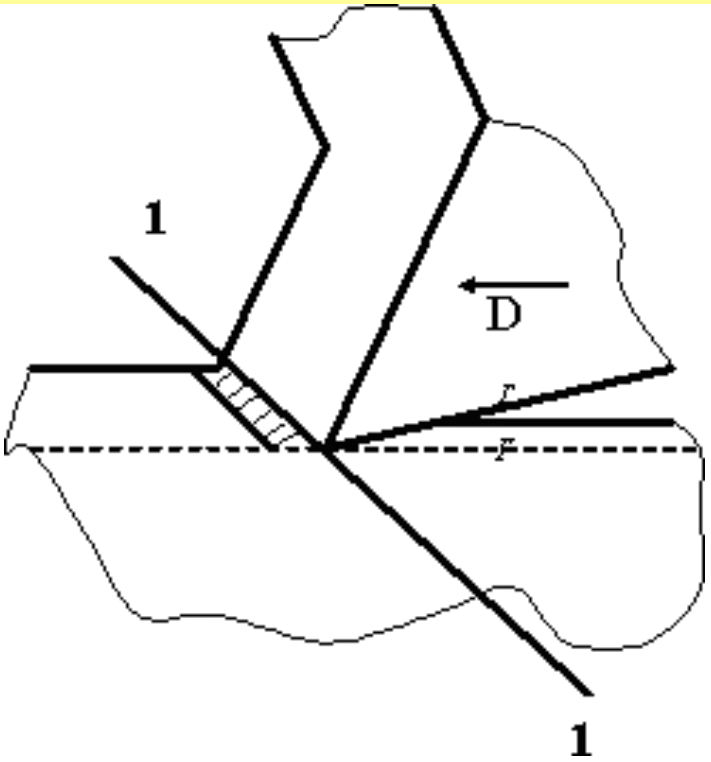




Тепловые явления при резании металлов



Источники тепла в зоне резании



Слой упруго-пластической деформации впереди зоны стружкообразования, перед плоскостью скалывания 1-1

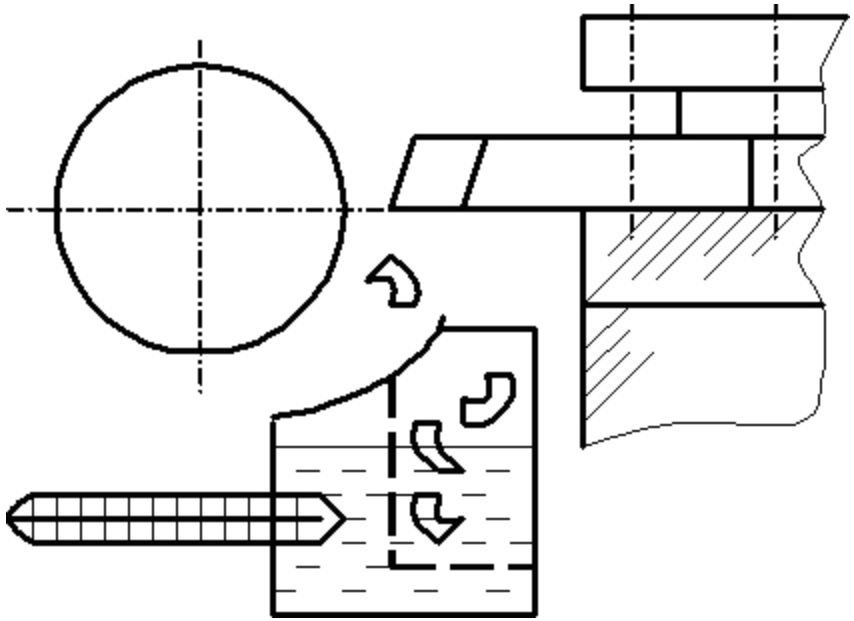
Тепловой баланс

$$Q_{общ} = Q_1 + Q_2 + Q_3.$$

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 = q_1 + q_2 + q_3 + q_4$$

Методы измерения температуры в зоне резания

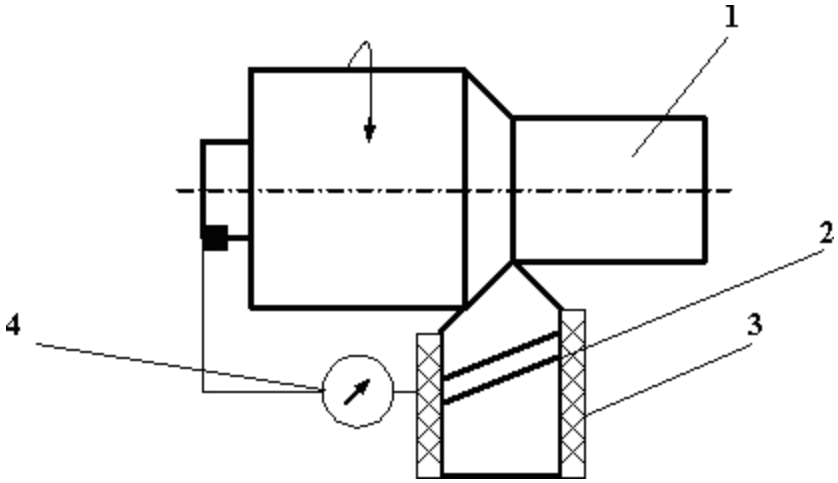
1. Калориметрический метод



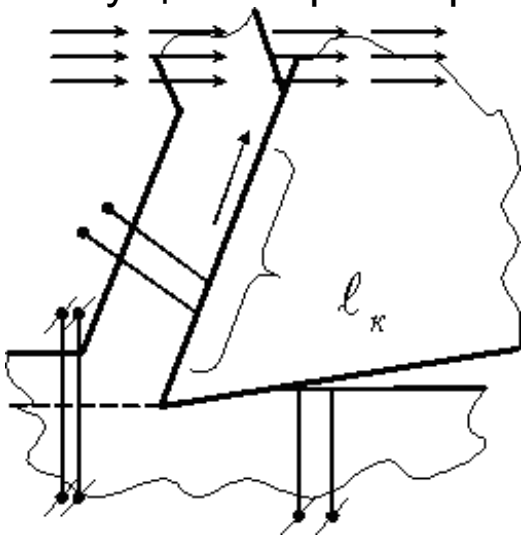
$$\theta_{стр.} = \theta_{см.} + \frac{G_{воды} \cdot (\theta_{смвес} - \theta_{воды})}{G_{стр.} \cdot C_{стр.}}$$

2. Метод термочувствительных красок

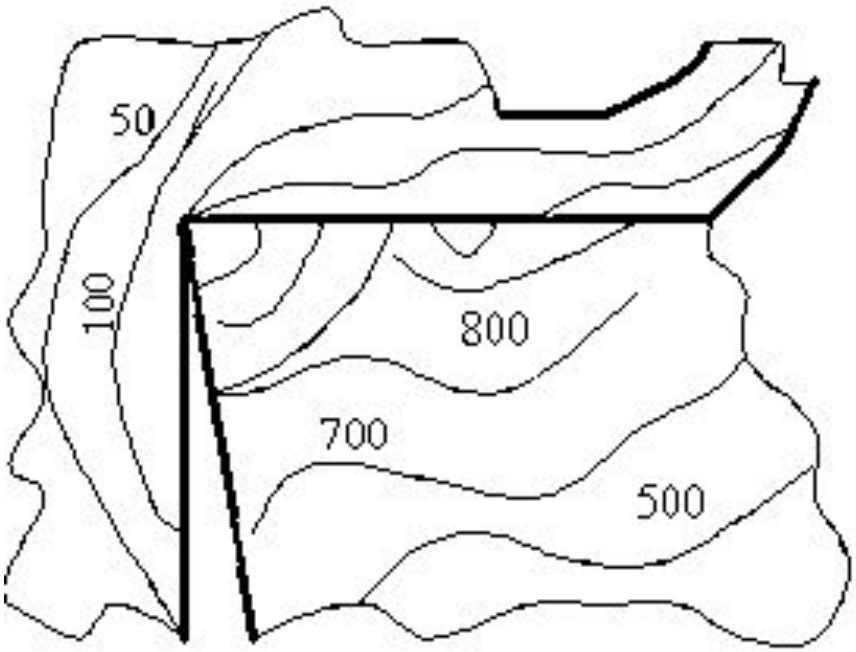
3. Метод измерения температуры с помощью термопар



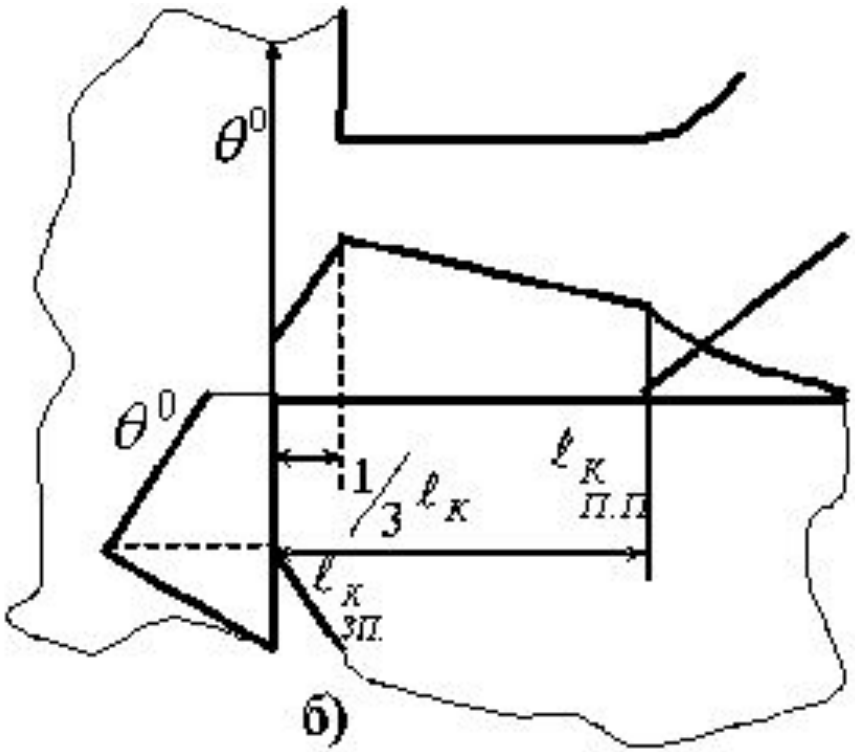
«бегущая» термопара



Температурное поле после резца

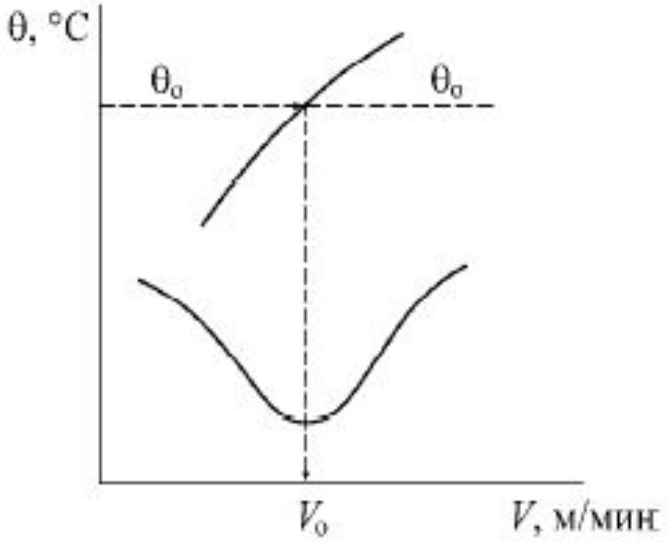


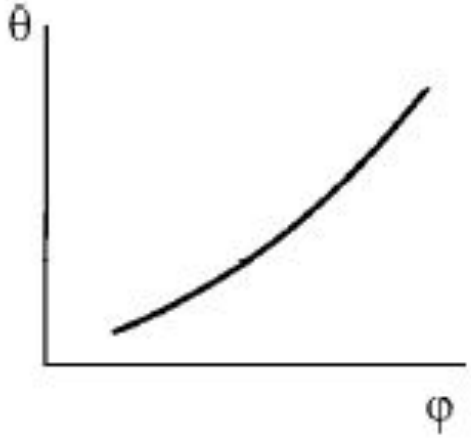
а)

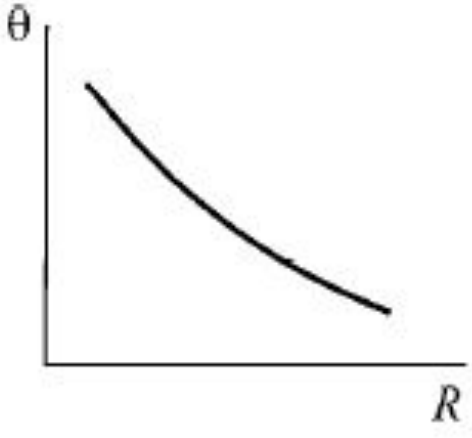


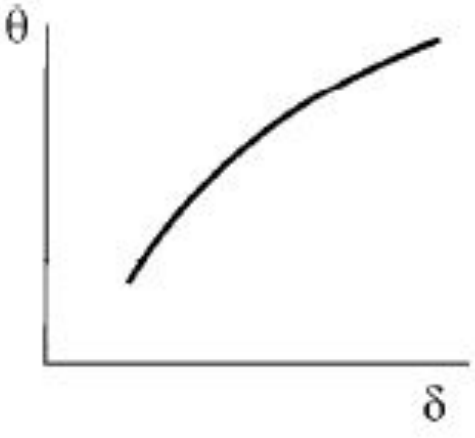
б)

Температурное поле после резца









Рекомендации по применению СОТС

Тип оборудования	Временное сопротивление сталей	
	≤ 1000 МПа	> 1000 МПа
Токарные, расточные, фрезерные, сверлильные, многооперационные станки; автоматические линии	Аквол-2, Аквол-6 (8…12 %), МР-3, МР-1у, МР-7 (100 %)	Аквол-11, Укринол-1 (3…5 %)
Токарные автоматы	МР-1у, ОСМ-5 (100 %)	
Протяжные и зубообрабатывающие станки	МР-3, МР-1у, ОСМ-5 (100 %)	
Резьбонарезные станки	МР-6, ЛЗ-СОЖ (100 %)	

Тип оборудования	Группа материалов	
	стали IV и сплавы V групп	сплавы VI группы
Токарные, расточные, фрезерные, многооперационные станки	Аквол-6, Аквол-2 (8…12 %, МР-1у, МР-7 (100 %)	Аквол-11, Укринол-1, Аквол-2, Аквол-6 (3…5 %), МР-1у, МР-3 (100 %)
Сверлильные станки	Аквол-6, Аквол-2 (10…20 %), МР-1у, МР-7 (100 %)	Аквол-11, Укринол-1, Аквол-2, Аквол-6 (3…5 %)
Протяжные станки и токарные автоматы	МР-1у, МР-3, ОСМ-5, МР-6, МР-7 (100 %)	МР-1у, МР-7, ОСМ-5 (100 %), Аквол-6, Аквол-2 (5…100 %)
Резьбонарезные станки	МР-6, МР-99 (100 %)	МР-7, МР-1у (100 %-е), Аквол-2, Аквол-6 (5…100 %)

Быстрорежущие стали

Содержание легирующих элементов в быстрорежущих сталях, %

Марка стали	C	W	Cr	V	Mo	Co
Стали нормальной теплостойкости						
Р18	0,70…0,8	17,0…18,5	3,8…4,4	1,0…1,4	До 1,0	–
Р12	0,8…0,9	12,0…13,0	3,8…4,4	1,5…1,0	До 1,0	–
Р9	0,85…0,95	8,5…10,0	3,8…4,4	2,0…2,6	До 1,0	–
Р6М5	0,8…0,9	5,5…6,5	3,8…4,4	1,7…2,1	5,0…5,5	–
Р6М3	0,85…0,95	5,5…6,5	3,0…3,5	2,0…2,5	3,0…3,6	–
Р8М3	0,8…0,9	7,6…8,4	3,6…4,0	1,6…1,9	3,0…3,5	–
Р2М5	0,95…1,05	1,7…2,3	3,8…4,3	0,9…1,3	4,8…5,3	–
11М5Ф	1,0	–	3,8	1,2	5,1	–
Стали повышенной теплостойкости						
10Р8М3	0,96…1,05	7,5…8,5	3,3…3,9	1,7…2,1	3,0…3,6	–
10Р6М5	1,05	6,0	4,0	2,4	5,0	–
Р12Ф3	0,94…1,04	12,0…13,5	3,5…4,0	2,5…3,3	До 1,0	–
Р2М3Ф8	0,90…1,05	2,0…2,5	4,0…4,8	7,5…8,5	2,5…3,0	–

Быстрорежущие стали

Марка стали	C	W	Cr	V	Mo	Co
Р9Ф5	1,4…1,5	9,0…10,5	3,8…4,4	4,3…5,1	До 1,0	–
Р18Ф2К5	0,85…0,95	17,0…18,5	3,8…4,4	1,8…2,4	До 1,0	5,0…6,0
Р6М5К5	0,8…0,9	6,0…7,0	3,8…4,3	1,7…2,2	4,8…5,8	4,8…5,3
Р9К5	0,9…1,0	9,0…10,5	3,8…4,4	2,0…2,6	До 1,0	5,0…6,0
Р9К10	0,9…1,0	9,0…10,5	3,8…4,4	2,0…2,6	До 1,0	9,5…10,5
Р9М4К8Ф	1,0…1,1	8,5…9,6	3,0…3,6	2,1…2,5	3,8…4,3	7,5…8,5
10Р6М5Ф2К8	1,0	5,75	4,1	2,1	6,0	8,0
Р3М3Ф4К5	1,0	3,0	4,0	4,0	3,0	5,0
А11Р3М3Ф2	1,02…1,12	2,5…3,3	3,8…4,4	2,2…2,7	2,5…3,0	–
Стали высокой теплостойкости						
В11М7К23	0,1	11	–	0,5	7	23
В14М7К25	0,1	14	–	0,5	7	25
3В20К20Х4Ф	0,25	20	4,0	1,0	–	20

Вольфрамосодержащие твердые сплавы

Группы сплавов	Марки сплавов	Состав сплавов, %				Физико-механические свойства	
		Карбид вольфрама	Карбид титана	Карбид тантала	Кобальт	Предел прочности при изгибе, МПа, не менее	Твердость HRA, не менее
ВК	ВК3	97	–	–	3	1176	89,5
	ВК3-М	97	–	–	3	1176	91,0
	ВК4	96	–	–	4	1519	89,5
	ВК4-В	96	–	–	4	1470	88,0
	ВК6	94	–	–	6	1519	88,5
	ВК6-М	94	–	–	6	1421	90,0
	ВК6-ОМ	92	–	2	6	1274	90,5
	ВК6-В	94	–	–	6	1566	87,5
	ВК8	92	–	–	8	1666	87,5
	ВК8-В	92	–	–	8	1813	86,5
ТК	Т5К10	86	5	–	10	1421	88,5
	Т15К6	79	15	–	6	1176	90,0
	Т14К8	78	14	–	8	1274	89,5
	Т30К4	66	30	–	4	980	92,0
ТТК	ТТ7К12	81	4	3	12	1666	87,0
	ТТ8К6	84	8	2	6	1323	90,5
	ТТ10К8-Б	82	3	7*	8	1617	89,0
	ТТ20К9	71	8	12	9	1470	89,0

Безвольфрамовые твердые сплавы

Марки сплавов	Состав сплавов, %					Физико-механические свойства	
	Карбиды титана и ниобия	Карбо-нитриды титана	Карбиды титана	Ни-кель	Мо-либден	Предел прочно-сти при изгибе, МПа, не менее	Твер-дость HRA, не ме-нее
ТМ-1	90	–	–	5,0	5,0	764	92
ТМ-3	64	–	–	21,0	15,0	1176	89
ТН-20	–	–	79	15,0	6,0	1050	90
КНТ-10	–	74	–	19,5	6,5	1200	89

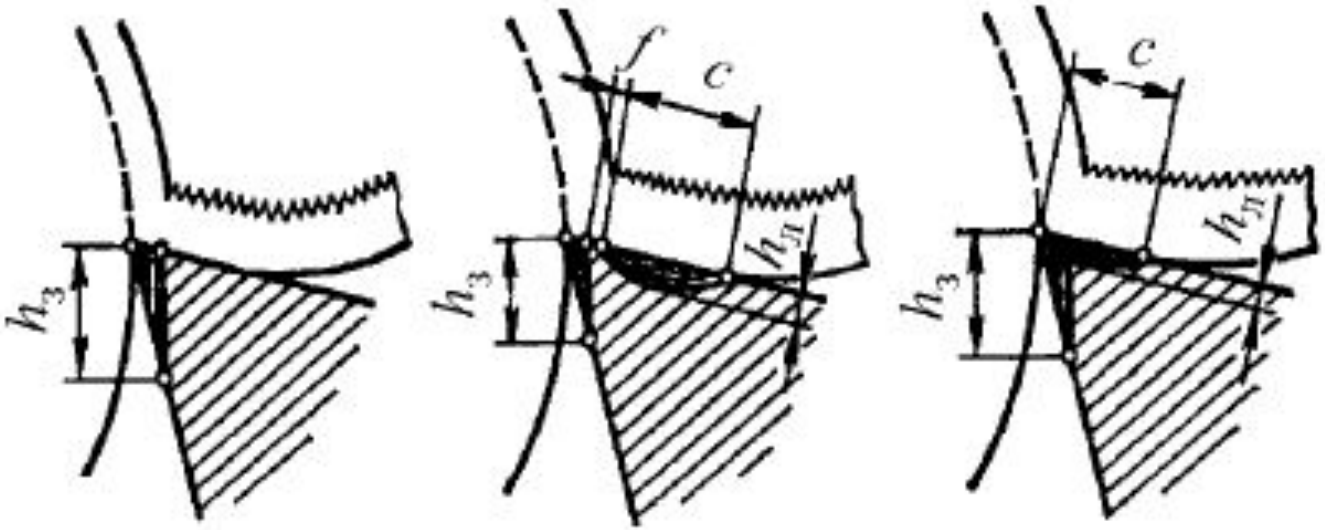
Режущая минералокерамика

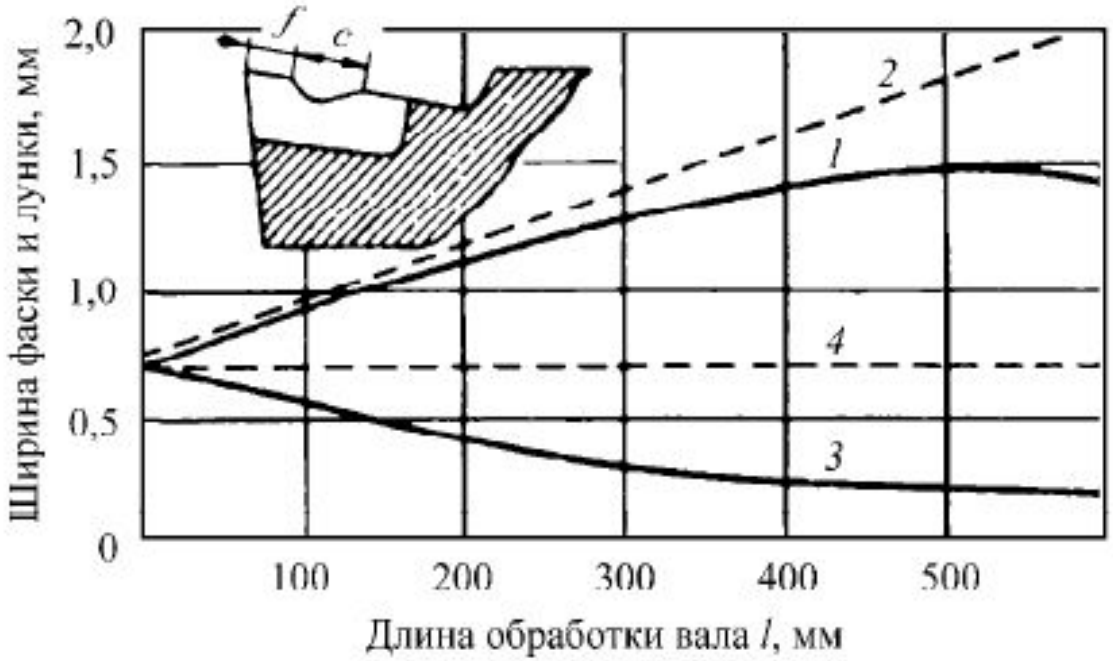
Марка	Плотность, г/см^3, не менее	Твердость HRA	Предел прочности при изгибе, МПа, не менее
ЦМ-332	3,85	90…92	295…350
ВО-13	3,95	90…92	450…500
ОНТ-20	4,30	92…94	500…650
В-3	4,50	92…94	560…600
ВОК-60	4,20	92…94	560…600
ВОК-63	4,20	92…93	635…700
Силинит-Р	–	94…96	500…700

Сверхтвердые инструментальные материалы

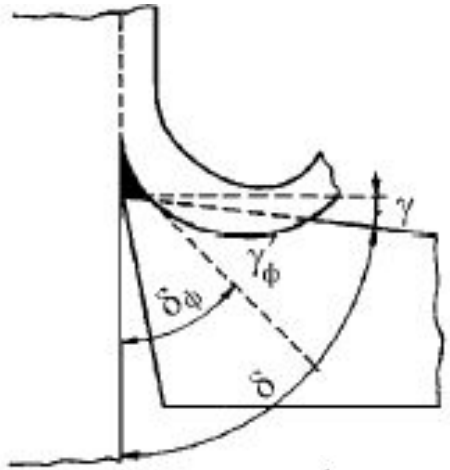
Марка	Первоначальное название	Твердость HV	Теплостойкость, °С
Композит 01	Эльбор-Р	60…80	1100…1300
Композит 02	Белбор	60…90	900…1000
Композит 03	Исмит	60	1000
Композит 05	Композит	70	1000
Композит 09	ПТНБ	60…90	1500
Композит 10	Гексанит-Р	50…60	750…850

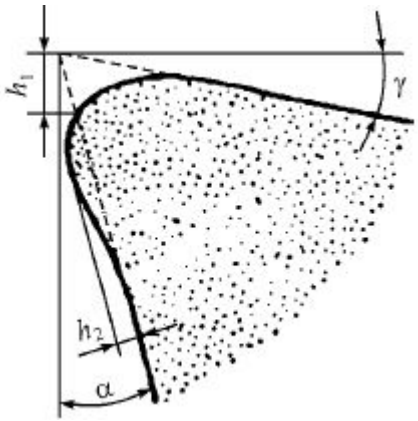
Напряжения в инструменте и виды износа

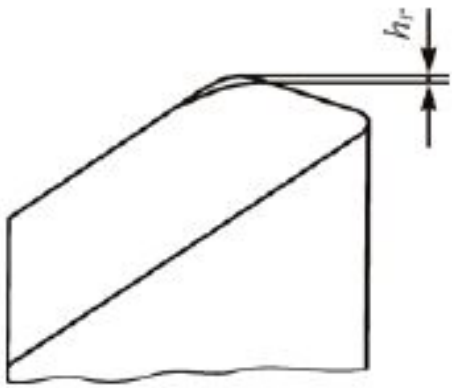


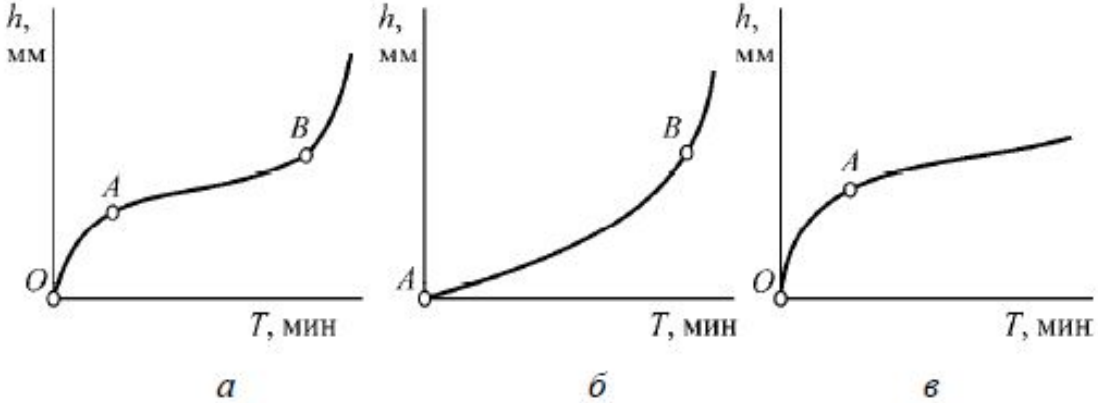


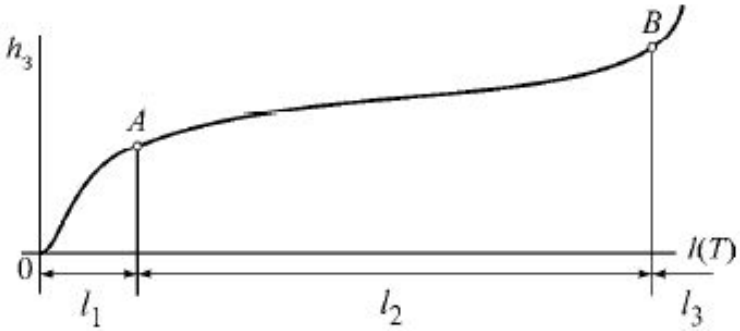
Виды износа


γ
γф
δф
δ

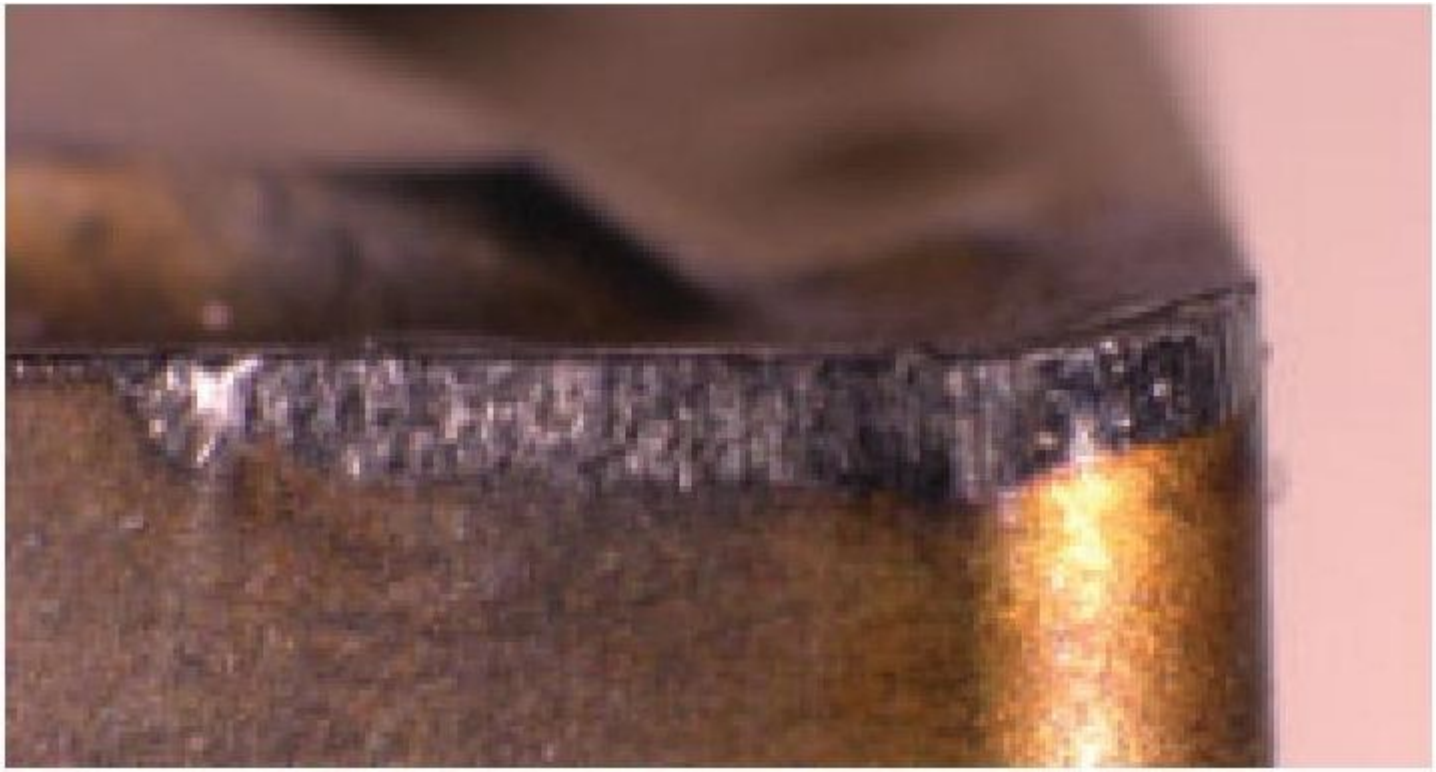

h1
γ
h2
α


hг


h, мм
O
A
B
T, мин
а
h, мм
A
B
T, мин
б
h, мм
O
A
T, мин
в


h3
A
B
0
l(T)
l1
l2
l3

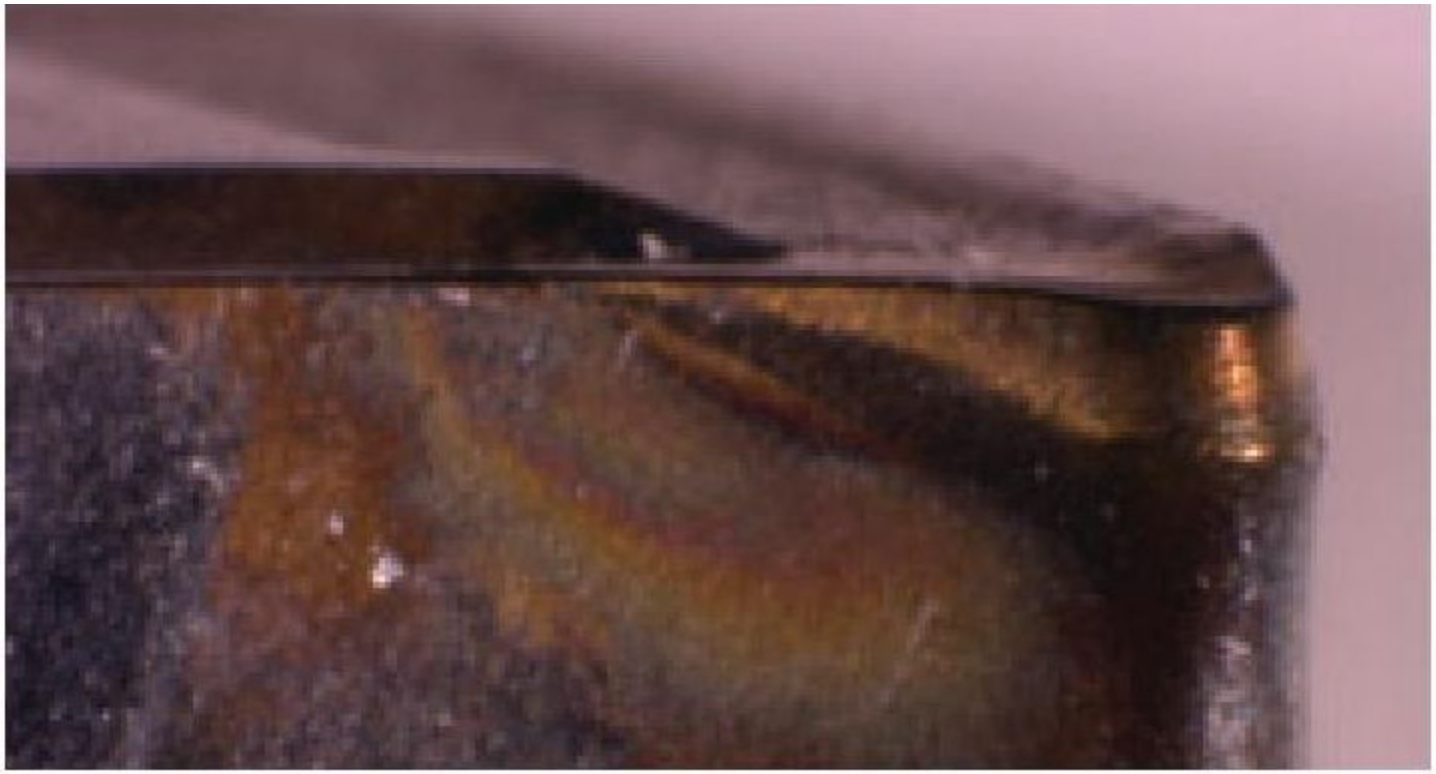
Износ по задней поверхности



Рекомендуется

- увеличить подачу
- уменьшить скорость резания (м/мин)
- выбрать более износостойкий режущий материал
- использовать твердый сплав с покрытием

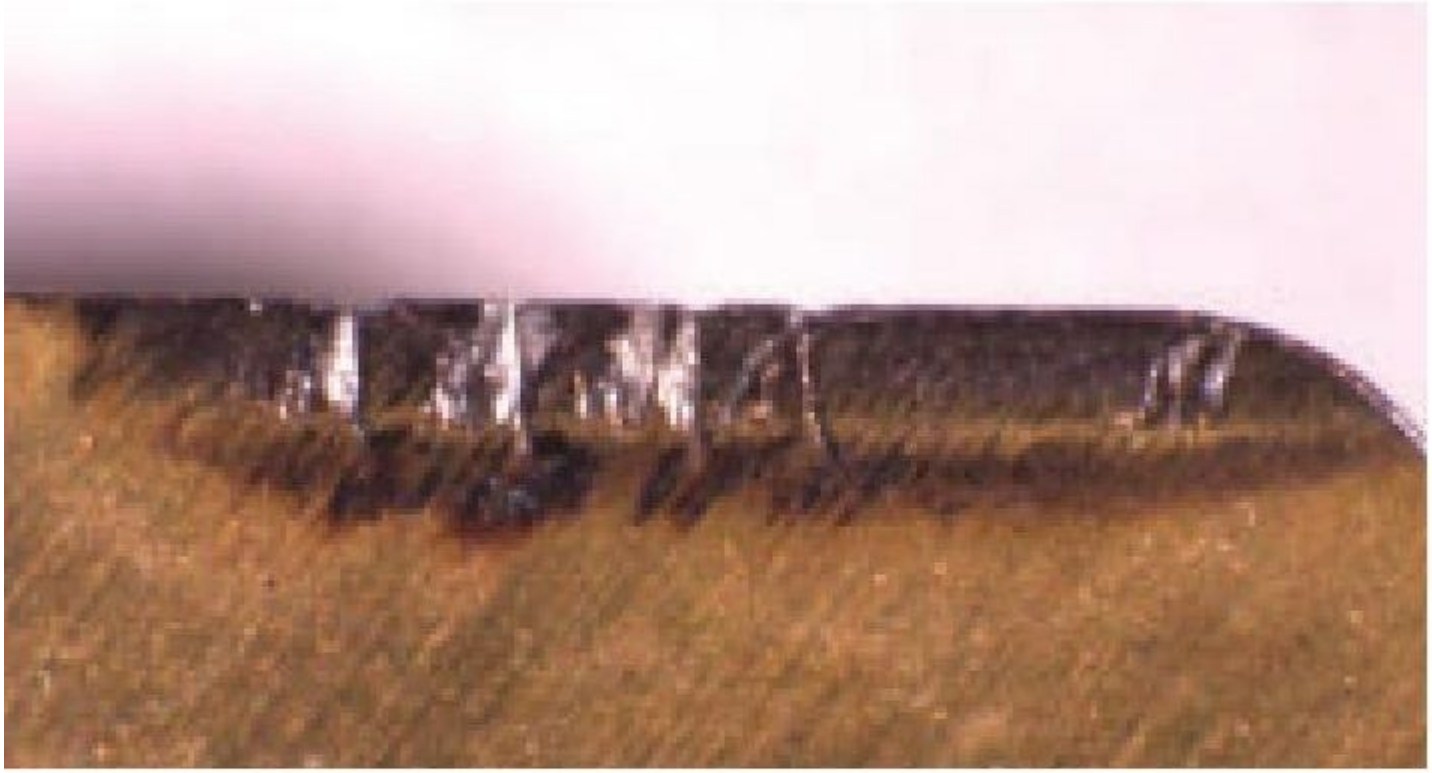
Тепловая деформация



Рекомендуется

- уменьшить подачу
- уменьшить скорость резания
- уменьшить глубину резания
- использовать сплав, сохраняющий твердость при высоких температурах

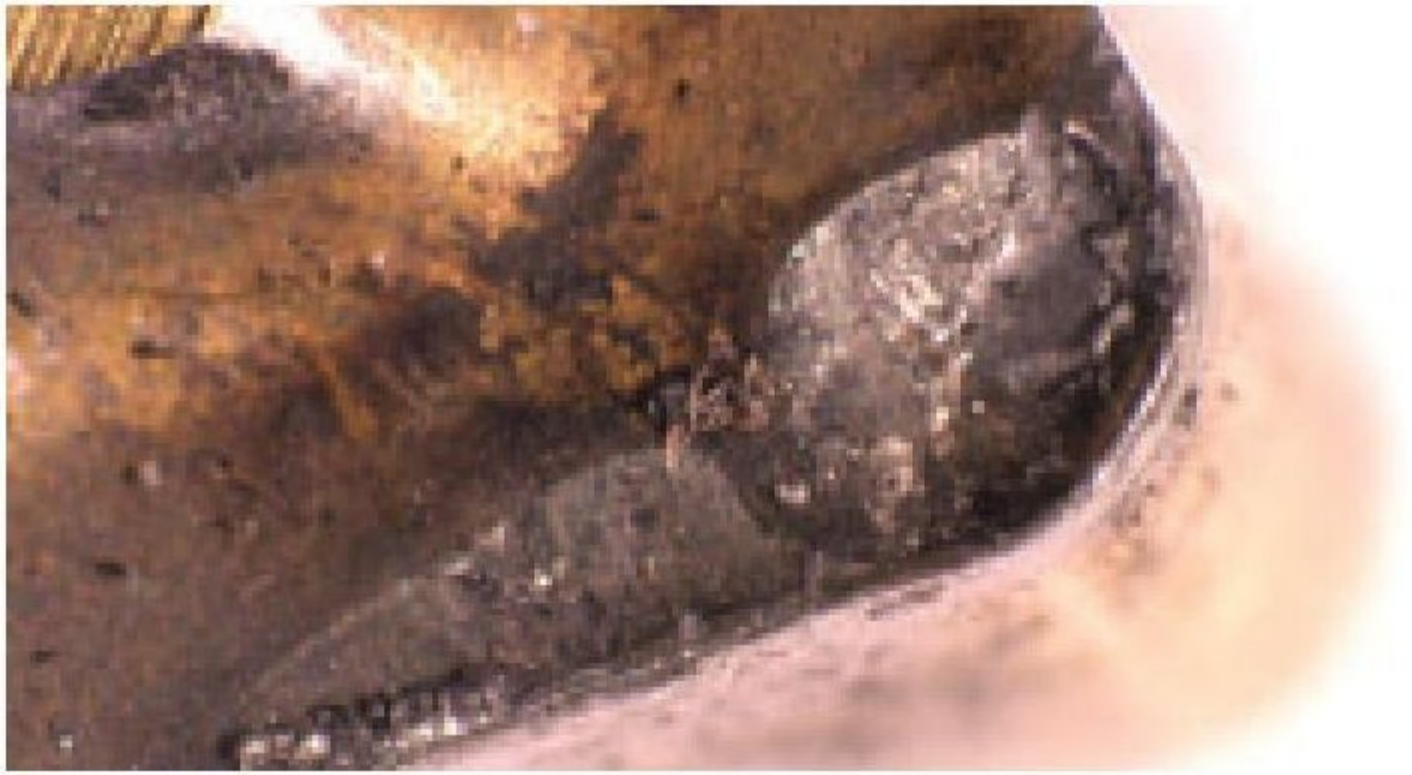
Тепловые трещины



Рекомендуется

- правильно использовать СОЖ
- уменьшить скорость резания
- уменьшить подачу
- использовать твердый сплав с покрытием

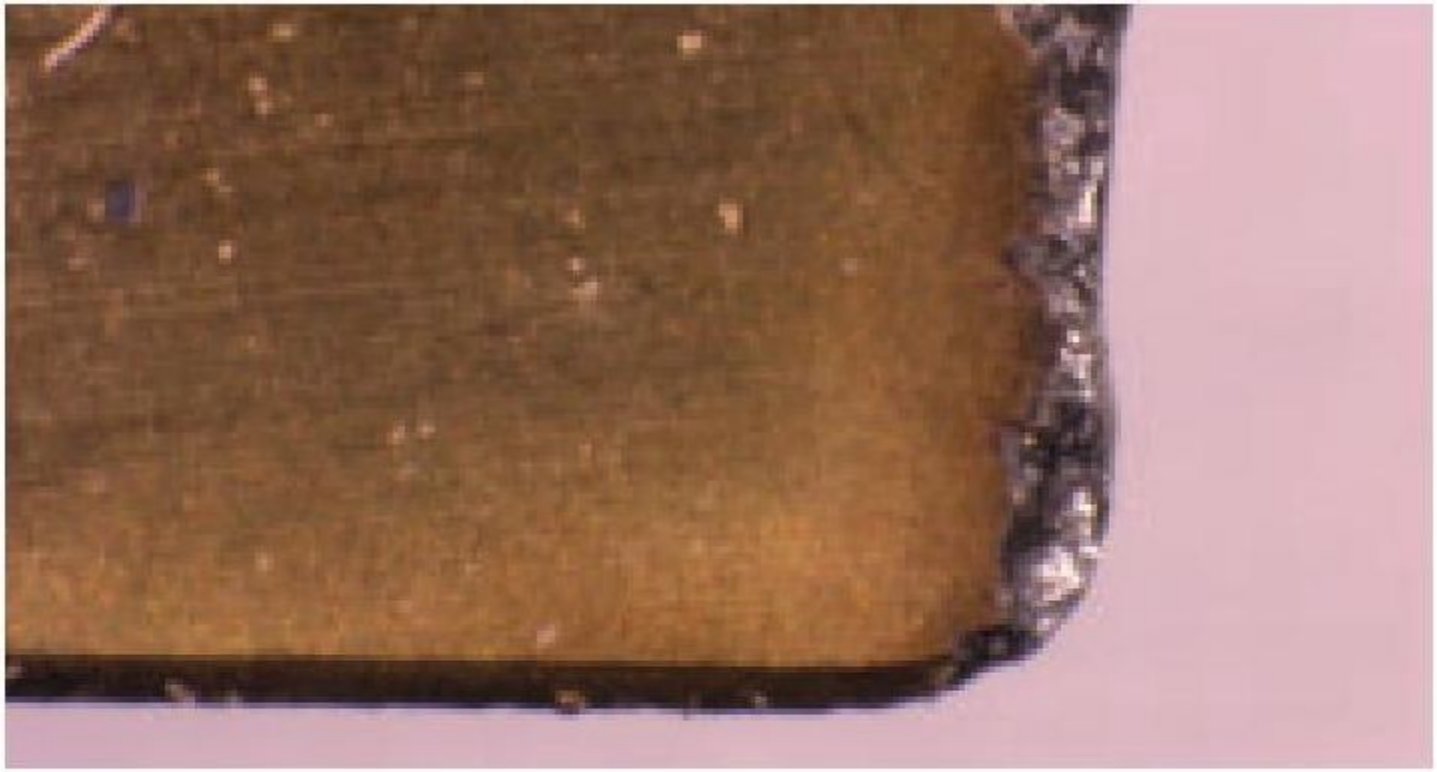
Износ по лунке



Рекомендуется

- уменьшить подачу
- уменьшить скорость резания (м/мин)
- использовать твердые сплавы с покрытием или керметы
- применить СОЖ

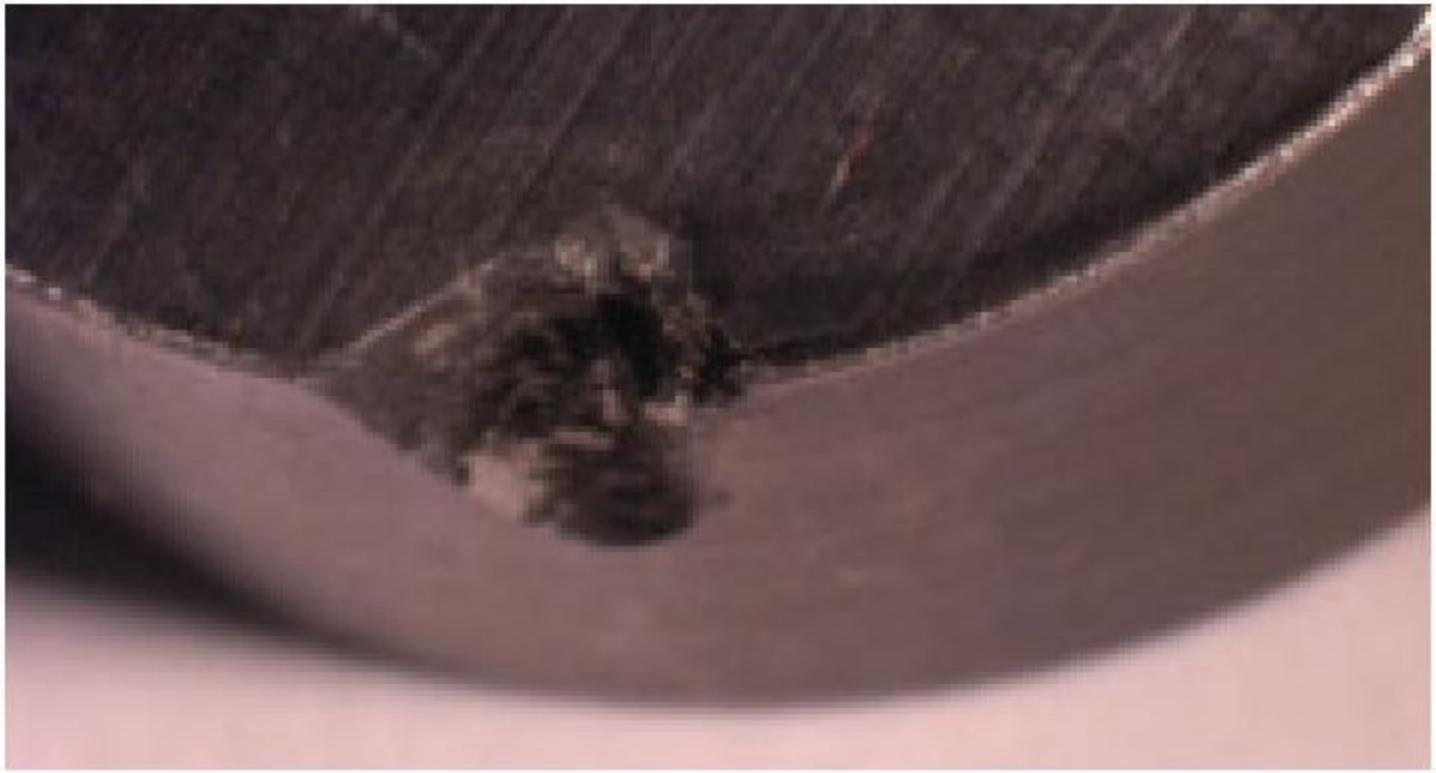
Выкрашивание



Рекомендуется

- применить более прочный твердый сплав
- проанализировать подготовку режущих кромок
- проверить жесткость системы
- увеличить угол в плане

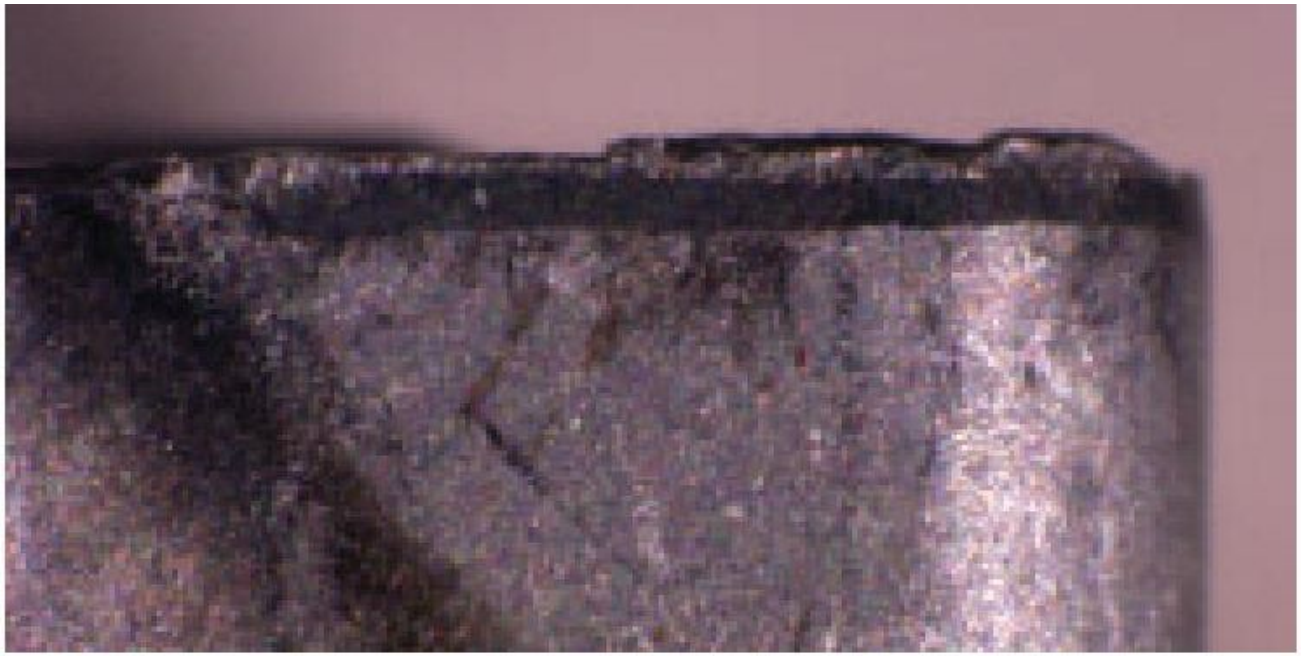
Проточины



Рекомендуется

- изменить угол в плане
- проанализировать подготовку режущих кромок
- применить другую марку твердого сплава

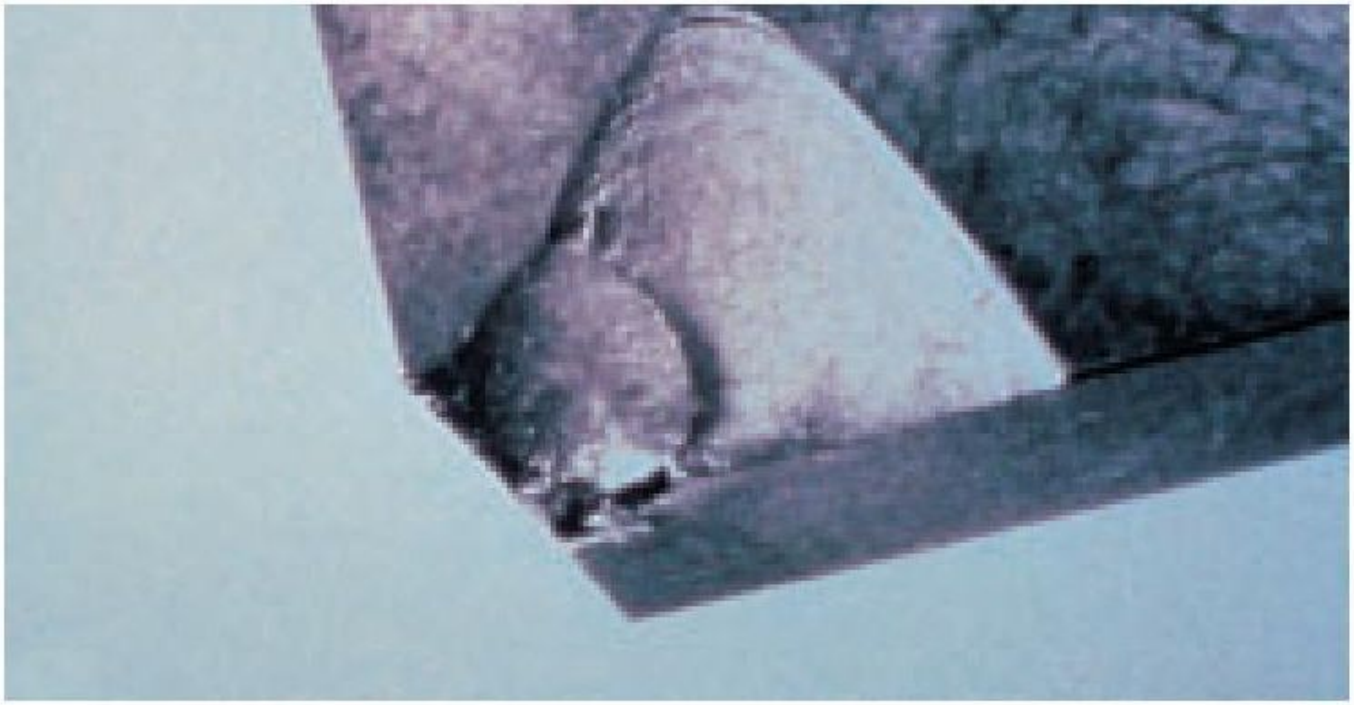
Нарост



Рекомендуется

- увеличить скорость резания (м/мин)
- увеличить подачу
- использовать твердые сплавы с покрытием или керметы
- применить СОЖ
- уменьшить отрицательную фаску

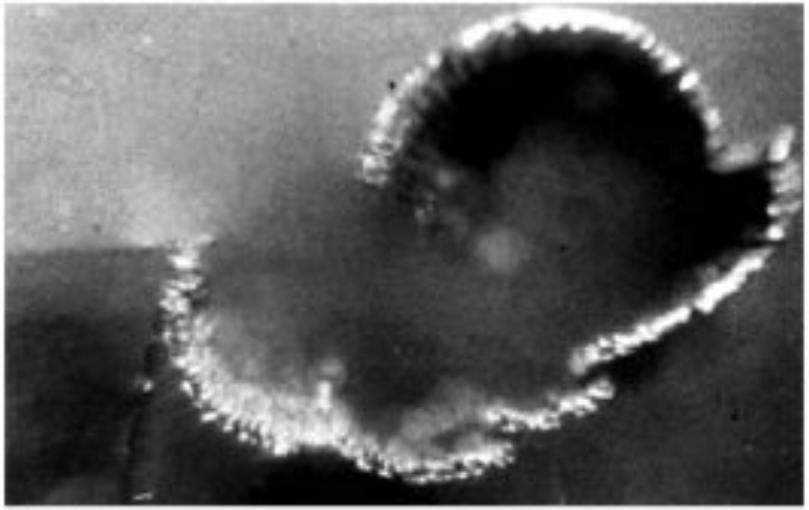
Разрушение

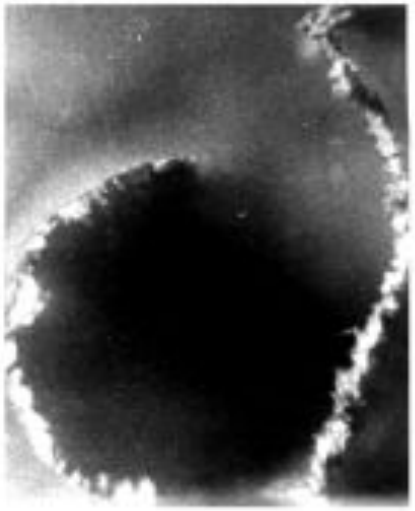


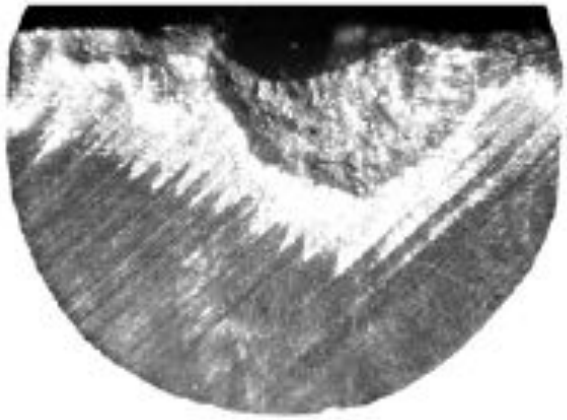
Рекомендуется

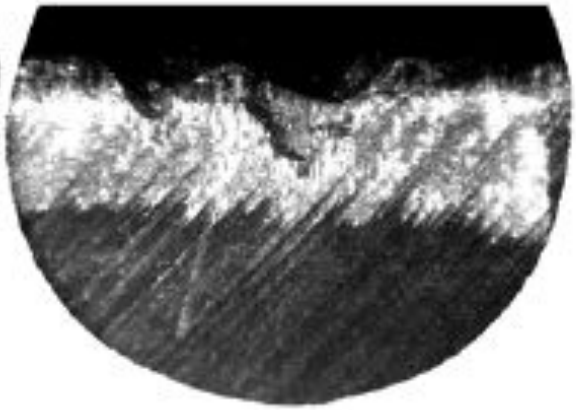
- применить пластину с большим углом при вершине или более прочную марку сплава
- уменьшить подачу
- уменьшить глубину резания
- проверить жесткость системы

Критерии износа и затупления

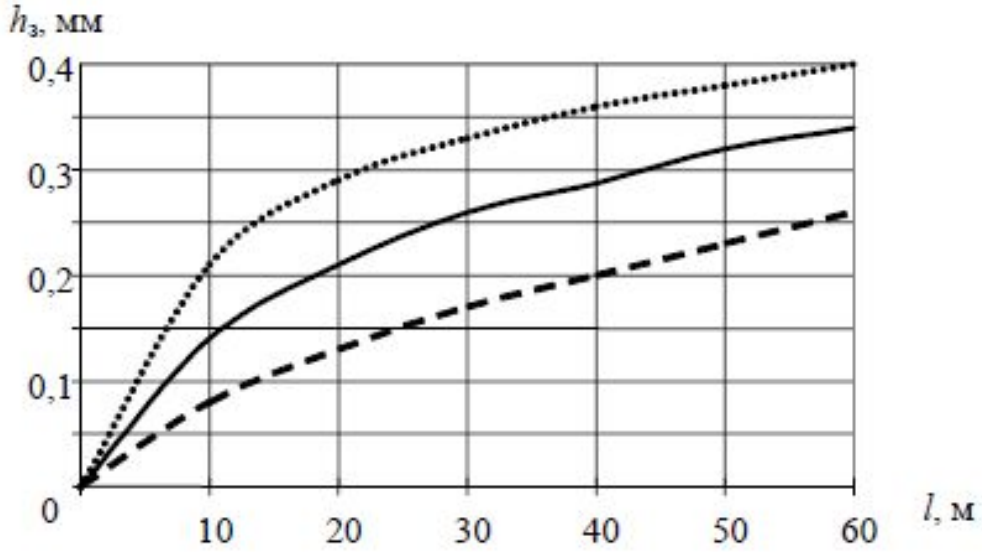








Критерии износа и затупления



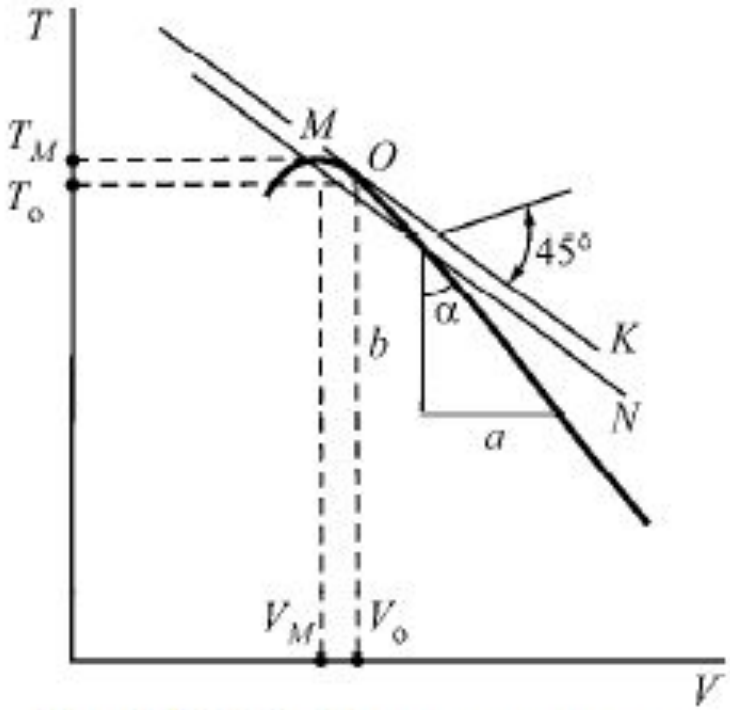
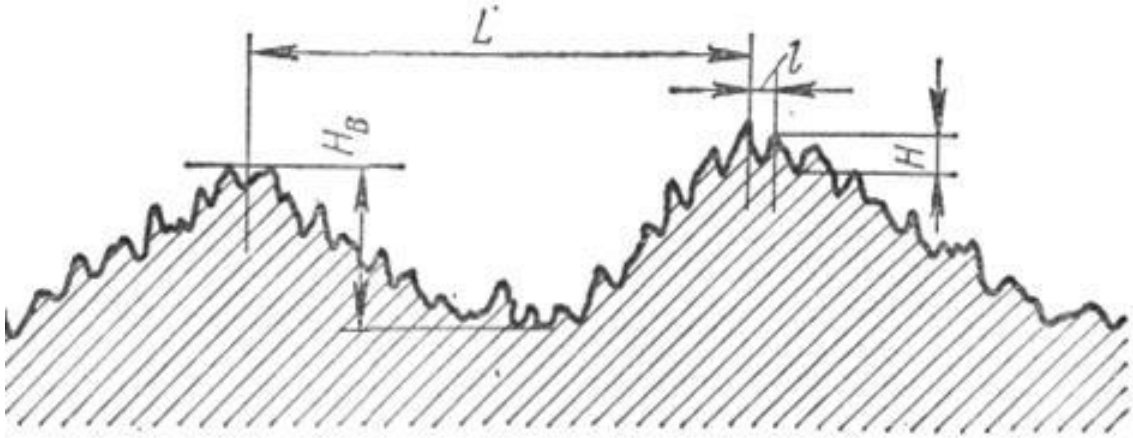
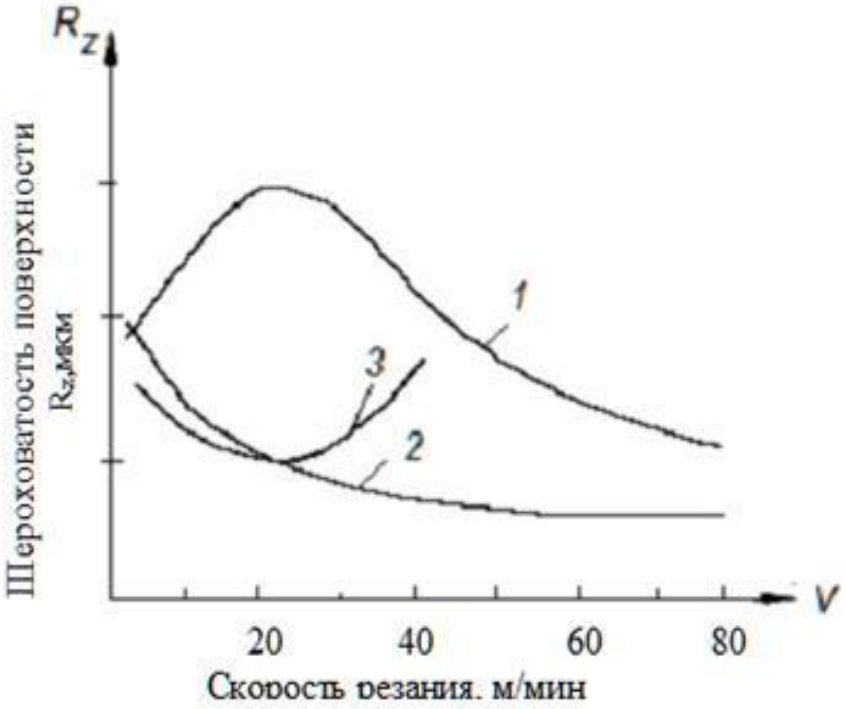


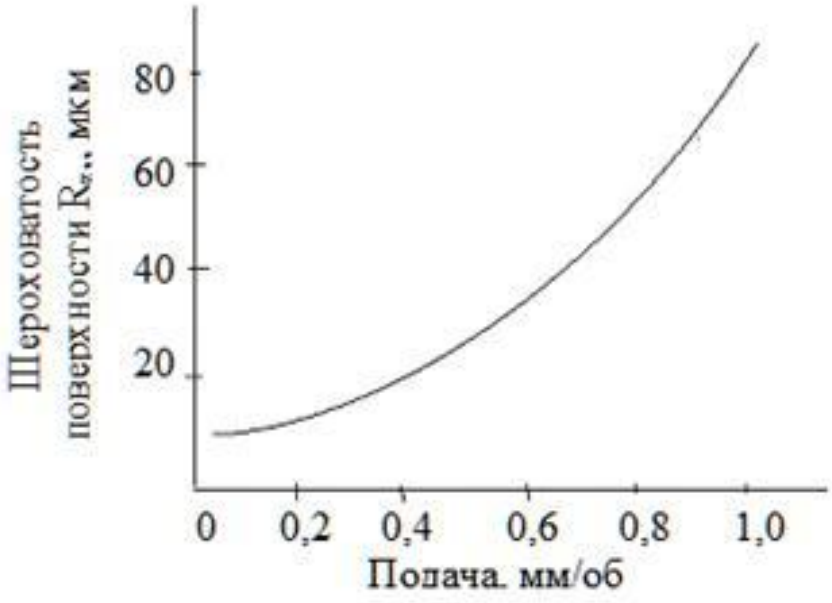
Рис. 108. График зависимости стойкость–скорость

Факторы, влияющие на шероховатость

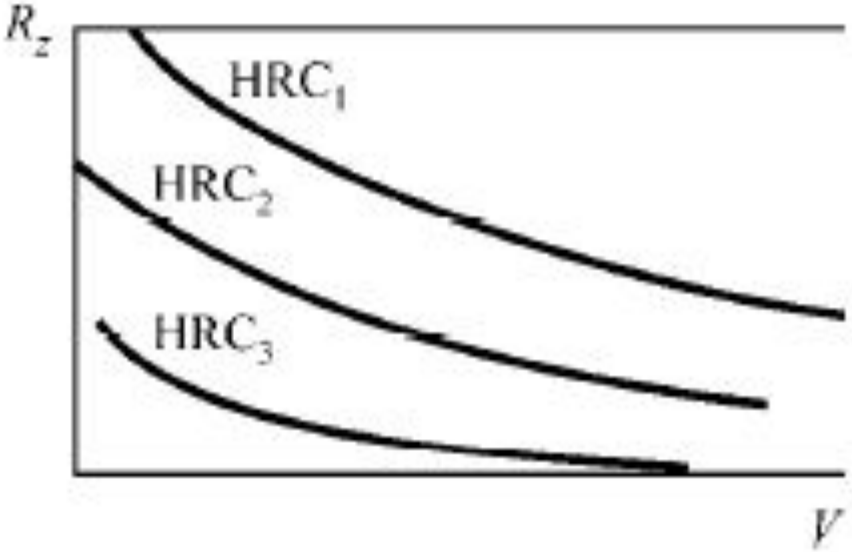


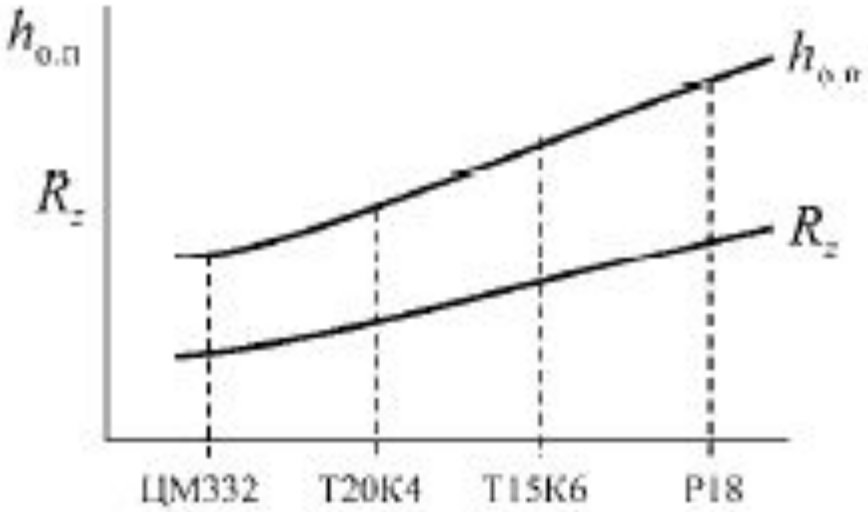
Шероховатость и волнистость сопрягаемых поверхностей





Факторы, влияющие на шероховатость





Классы и величина шероховатостей поверхности

Класс шероховатости (старый ГОСТ)	Ra, мкм	R_z, мкм	Базовая длина, мм
1	–	320	8,0
2	–	160	
3	–	80	
4	–	40	2,5
5	–	20	
6	2,5; 2,0; 1,6	–	– « –
7	1,25; 1,00; 0,80	–	0,8
8	0,63; 0,50; 0,40	–	– « –
9	0,32; 0,25; 0,20	–	– « –
10	0,160; 0,125; 0,100	–	– « –
11	0,080; 0,063; 0,050	–	0,25
12	0,040; 0,032; 0,025	–	– « –
13	–	0,100	– « –
14	–	0,50	– « –

Методы определения обрабатываемости

1."классический" метод

$$V_Б = \frac{C_{V_Б}}{T^{m_Б}} \qquad V_A = \frac{C_{V_A}}{T^{m_A}}$$

2. Метод торцового точения

$$u_i = \frac{\Delta h_i}{\tau_i} \longrightarrow U = f(V) \longrightarrow U_{экв} = \frac{\sum \Delta h_i}{\sum \tau_i} = \frac{\sum \Delta h_i}{T}$$

3. Метод эквивалентной интенсивности износа

Способы улучшения обрабатываемости

1. Способы, реализуемые в металлургическом производстве

а) Оптимизация химического состава материала заготовок

2. Способы, реализуемые до механической обработки заготовок

а) Применение улучшающей термической обработки

3. Способы, реализуемые в процессе механической обработки

а) Применение эффективных смазочно-охлаждающих технологических сред

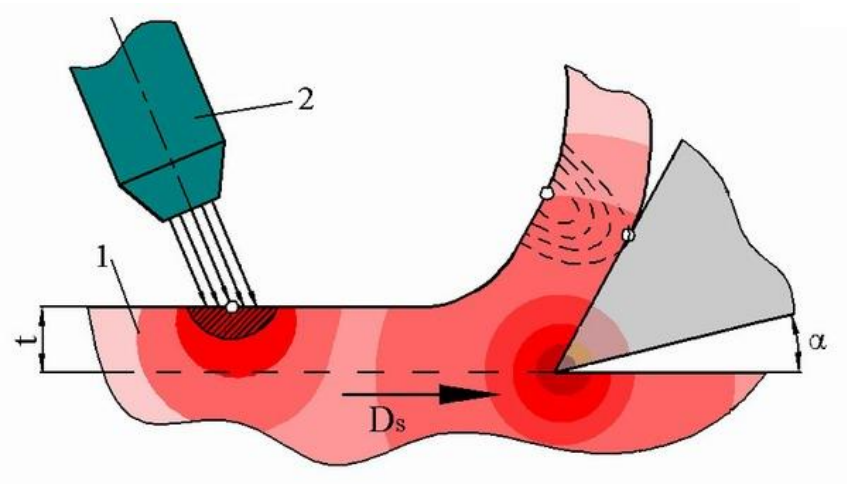
б) Рациональный выбор материала режущей части инструмента

в) Оптимизация режимов обработки

г) Введение в зону резания дополнительной энергии

Способы улучшения обрабатываемости

Метод обработки резанием с нагревом (терморезание)



Вибрационное резание

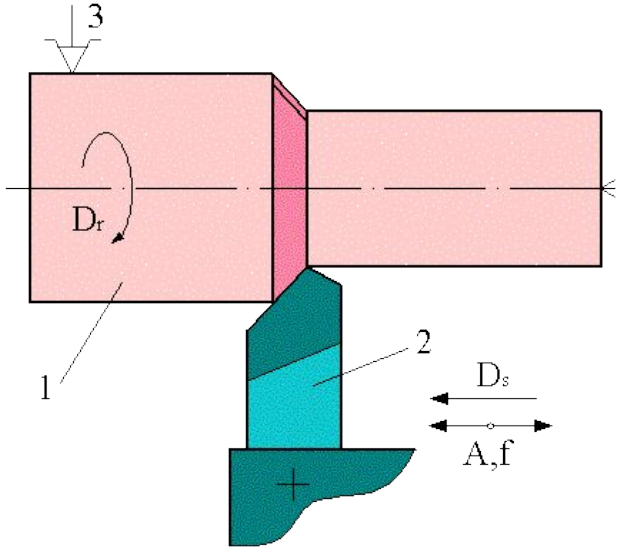
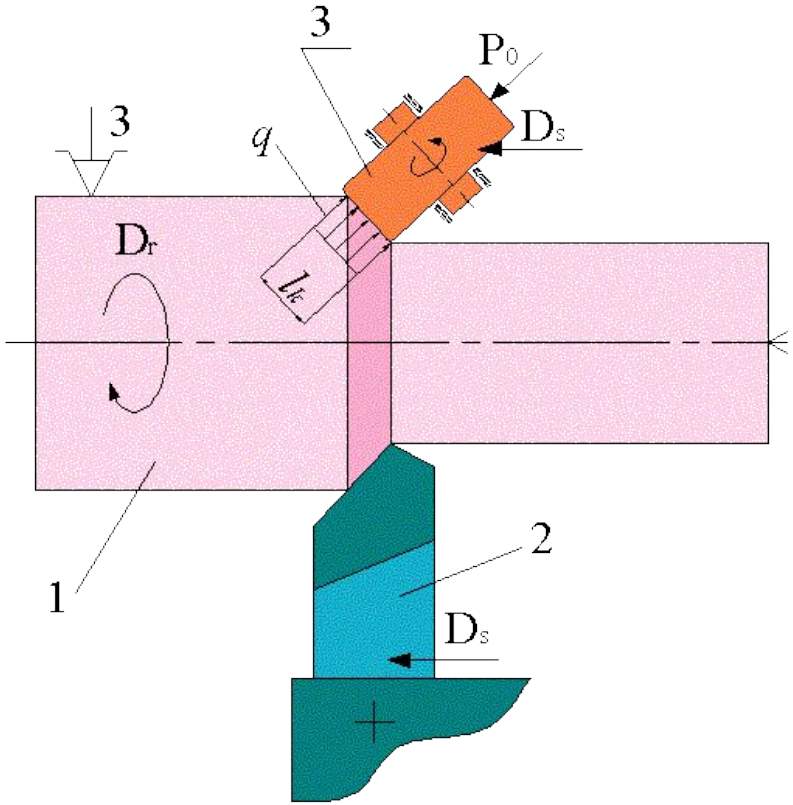
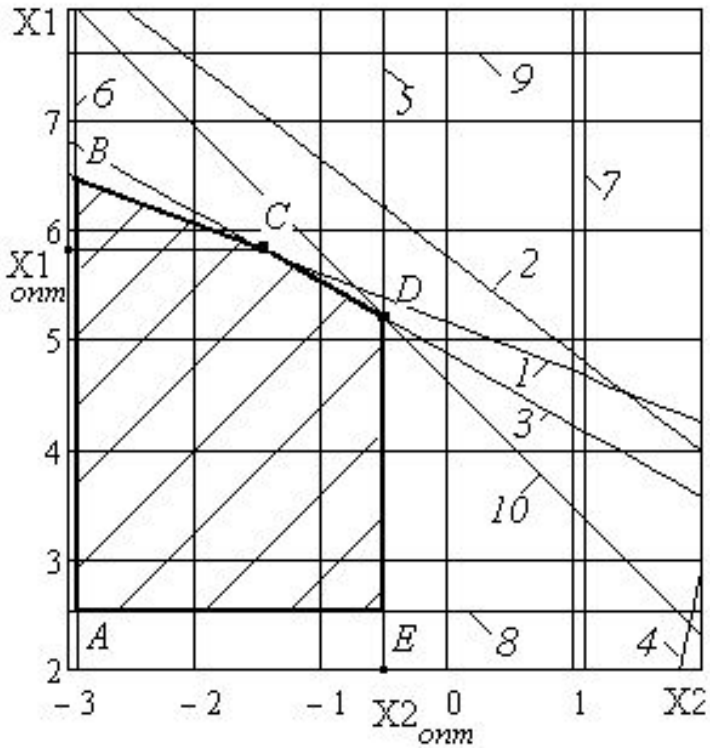
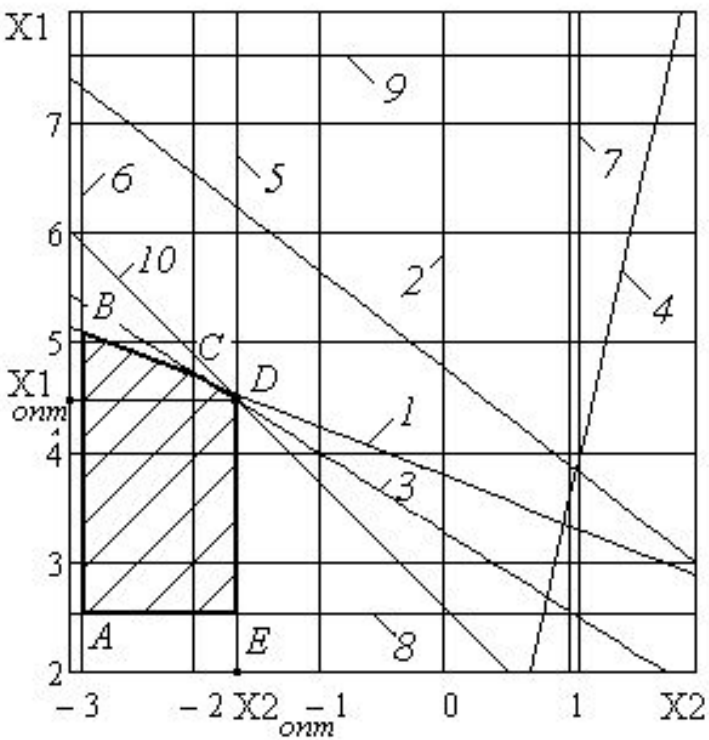


Схема точения с опережающим пластическим деформированием



Оптимизация режима резания





$$\pi Dn/1000 \le C_V K_V / T^{m_v} t^{x_v} s^{y_v},$$

$$C_t t^{x_t} s^{y_t} v^{z_t} \le \Theta_{доп};$$

$$C_P K_P s^{y_p} t^{x_p} (\pi L n)^{(n_p+1)} / 6 \cdot 10^{3(n_p+2)} \le N_{cm}\eta,$$

$$n_{\min} \le n \le n_{\max}, \quad s_{\min} \le s \le s_{\max}.$$

$$\sigma_u B H^2 / 6l \le C_P K_P t^{x_p} s^{y_p} n^{n_p} (\pi D)^{n_p} K_3 / 1000^n$$

$$34c^{1.35} t^{0.77} \left(\sin 60^\circ / \sin\varphi\right)^{0.8} \ge C_P K_P s^{y_p} t^{x_p}$$