

Федеральное агентство по образованию
Псковский государственный политехнический институт

И.П. Никифоров

РЕЗАНИЕ МАТЕРИАЛОВ

Лабораторный практикум

для студентов очной, очно-заочной и заочной форм обучения
специальности 151001 – Технология машиностроения

*Рекомендовано к изданию научно-методическим советом
Псковского государственного политехнического института*

Псков
Издательство ППИ
2010

УДК 621.91
ББК 34.63-1
Н 62

*Рекомендовано к изданию научно-методическим советом
Псковского государственного политехнического института*

Рецензенты:

- Шкуркин В.В., профессор кафедры технологии машиностроения Псковского государственного политехнического института;
- Тищенко О.Е., генеральный директор ЗАО СП «Альянс-ПМФ»

Никифоров И.П.

Н 62 Резание материалов: Лабораторный практикум / И.П. Никифоров. – Псков : Изд-во ППИ, 2010. – 76 с.

Данное учебно-методическое издание представляет лабораторный практикум по курсу «Резание материалов». Рассмотрены базовая тематика дисциплины, такие как: процесс стружкообразования; трение и износ в зоне резания; факторы, влияющие на величину силы резания; планирование эксперимента и др. Пособие предназначено для студентов, но также может быть полезным для магистрантов и аспирантов.

© И.П. Никифоров, 2010

© Псковский государственный политехнический институт, 2010

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1. Определение коэффициентов усадки стружки и внешнего трения	5
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2. Исследование влияния режимов резания на тангенциальную составляющую силы резания	16
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3. Исследование износа режущего инструмента	36
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4. Исследование условий для образования стружки на основе номограмм резания при шлифовании	42
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	57
ЛИТЕРАТУРА	71

ВВЕДЕНИЕ

Настоящий лабораторный практикум предназначен для закрепления теоретических вопросов курса «Резание материалов», приобретения дополнительных знаний по конкретным темам, а также практических навыков для проведения экспериментальных исследований и обработки полученных результатов.

Каждая лабораторная работа включает теоретическую часть по рассматриваемой теме, порядок выполнения работы, содержание отчета, в которых приведены формулы для вычисления необходимых величин. К некоторым работам прилагаются варианты индивидуальных заданий. Пособие также содержит контрольные вопросы по каждой лабораторной работе и необходимые Приложения.

Перед выполнением лабораторной работы студенту необходимо освоить соответствующие разделы лекционного курса, понять цели работы, изучить методику выполнения и ознакомиться с необходимым оборудованием и приборами.

Для сокращения времени обработки результатов рекомендуется применение средств вычислительной техники, в том числе, например, с использованием программы Microsoft Excel.

Предлагаемая тематика лабораторных работ предусматривает их выполнение на двух уровнях. Первый – усвоение и правильное выполнение операций лабораторной работы с получением необходимых экспериментальных данных. Второй уровень включает математическую обработку результатов исследований, получение необходимых зависимостей, анализ полученных результатов и выводы.

Лабораторная работа считается завершенной, если качественно выполнены все этапы, предусмотренные настоящим учебным пособием, оформлен отчет и получен зачет по теоретическому материалу.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ УСАДКИ СТРУЖКИ
И ВНЕШНЕГО ТРЕНИЯ**

Цели работы: Ознакомление с процессом стружкообразования и явлением усадки стружки, методами её измерения и влияющими факторами. Практическое определение коэффициента усадки стружки. Ознакомление с ролью трения в процессе стружкообразования. Определение коэффициента внешнего трения между передней поверхностью инструмента и стружкой косвенным методом. Ознакомление с методами уменьшения коэффициента внешнего трения в зоне резания.

Оборудование:

станок токарно-винторезный 16К20	1 шт.
цилиндрическая заготовка с продольным пазом	1 шт.
резец проходной	1 шт.
микрометр МК-25	1 шт.
штангенциркуль ШЦ-1	1 шт.
угломер	1 шт.
линейка	1 шт.
мензурка со стержнем	1 шт.
нить	1 шт.

Пластическая деформация при резании металлов внешне проявляется в том, что толщина стружки a_1 (рис. 1.1) становится больше толщины среза a . Но поскольку объём остается практически прежним, то длина стружки L становится короче пути L_0 , пройденного резцом.

Явление укорочения стружки по длине и увеличения по толщине называют усадкой стружки. Её величина характеризуется коэффициентами усадки стружки, соответственно, коэффициентом укорочения и коэффициентом утолщения:

$$\xi_L = \frac{L_0}{L}. \quad (1.1)$$

$$\xi_a = \frac{a_1}{a}. \quad (1.2)$$

Экспериментальные исследования показывают, что ширина стружки лишь незначительно отличается от ширины срезаемого слоя. Поэтому на практике коэффициент укорочения стружки и коэффициент утолщения стружки считаются одинаковыми.

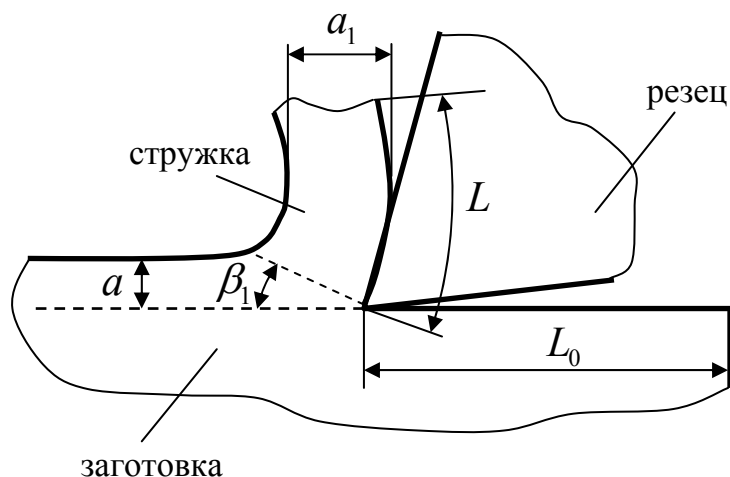


Рис. 1.1. Схема к определению усадки стружки

Существуют следующие основные экспериментальные методы определения коэффициента усадки стружки:

1) Посредством измерения укорочения стружки

Метод заключается в измерении длины стружки L и вычислении пути, пройденного резцом L_0 , за время съема стружки. Значение коэффициента укорочения стружки определяется по формуле (1.1).

2) Посредством измерения утолщения стружки

Метод заключается в измерении толщины стружки a_1 и определении толщины среза a по формуле:

$$a = s \sin \varphi, \quad (1.3)$$

где s – продольная подача, мм/об; φ – главный угол в плане резца¹.

Коэффициент утолщения стружки определяют по формуле (1.2).

¹ Геометрия токарного резца приведена в Приложении 1

3) Весовой метод

Весовой метод дает более точное определение коэффициента усадки, особенно в случаях, когда:

- радиус закругления вершины резца соизмерим с толщиной срезаемого слоя;
- продольная подача велика, а глубина резания мала;
- на передней поверхности резца наблюдается явление наростообразования (наслоение обрабатываемого материала на передней поверхности инструмента непосредственно около режущей кромки).

Для нахождения коэффициента усадки стружки весовым методом необходимо определить длину стружки L и измерить её массу m (в граммах). Коэффициент усадки стружки в этом случае будет определяться по формуле:

$$\xi = \frac{m}{stL\rho}, \quad (1.4)$$

где s – значение продольной подачи, мм/об;

L – длина стружки, мм;

ρ – плотность обрабатываемого материала, г/мм³);

t – глубина резания, мм;

$$t = \frac{D - D_0}{2} : \quad (1.5)$$

D – диаметр заготовки до обработки, D_0 – после обработки, мм.

4) Объёмный метод

Данный метод идентичен весовому методу, с той разницей, что измеряется не масса стружки, а её объём V (например, при помощи мензурки). В этом случае формула для определения коэффициента усадки стружки будет выглядеть следующим образом:

$$\xi = \frac{V}{stL}, \quad (1.6)$$

где входящие параметры см. в формуле (1.4).

Коэффициент усадки стружки косвенно выражает интенсивность пластической деформации. На практике величина коэффициента усадки

стружки находится в пределах 1,5...4, для шлифовальных операций – 1,1...1,8. Исключение составляют титановые сплавы, при обработке которых может наблюдаться отрицательная усадка (коэффициент усадки меньше единицы).

Чем больше значение коэффициента усадки стружки, тем степень деформации стружки больше, т.е. тем меньше сопротивление металла скалыванию и тем лучше его обрабатываемость. Для мягких материалов, таких как, например, медные и алюминиевые сплавы, свинец, низкоуглеродистые стали, которые легко обрабатываются резанием, коэффициент усадки (при скоростях 20...60 м/мин) может достигать до 5...10. Говоря об обрабатываемости, речь не идет о качестве обработки. Резание материалов с высоким коэффициентом усадки стружки может сопровождаться образованием задиров на поверхности.

На усадку стружки влияют:

- физико-механические свойства обрабатываемого материала;
- передний угол: чем больше угол, тем меньше усадка;
- наличие СОЖ: усадка уменьшается;
- толщина среза: чем больше толщина, тем меньше усадка;
- скорость резания: изменение усадки не монотонное. При обработке сталей со скоростями до ≈ 50 м/мин усадка уменьшается, при скоростях от ≈ 50 до ≈ 120 м/мин усадка увеличивается, и при скоростях более ≈ 120 м/мин усадка стружки снова уменьшается. Немонотонность объясняется изменением размеров нароста на передней поверхности резца. Если нарост отсутствует, то при увеличении скорости резания коэффициент усадки стружки уменьшается.

По значению коэффициента усадки стружки можно косвенным способом определить величину коэффициента внешнего трения между передней поверхностью инструмента и стружкой.

Для этого, во-первых, необходимо измерить значение переднего угла резца. Во-вторых, определить угол сдвига β_1 (рис. 1.1) по формуле:

$$\beta_1 = \operatorname{arctg} \left(\frac{\cos \gamma}{\xi - \sin \gamma} \right). \quad (1.7)$$

И, наконец, определить значение коэффициента внешнего трения:

$$\mu_1 = 1 - \operatorname{tg}(\beta_1 - \gamma). \quad (1.8)$$

Трение представляет собой сложный процесс, определяемый механическим и молекулярным (адгезионным) механизмами взаимодействия поверхностей трения. Оно играет огромную роль в процессе образования стружки, износе инструмента и формировании свойств обработанной поверхности. Чем меньше величина трения, тем меньшая толщина стружки может быть снята режущей кромкой инструмента. При этом уменьшается величина пластической деформации обработанной поверхности и повышается стойкость инструмента.

Перспективным направлением повышения эффективности обработки металлов резанием может быть разработка комплексных мер, целенаправленных на уменьшение трения в зоне резания. Вот некоторые способы уменьшения величины коэффициента трения между передней поверхностью инструмента и стружкой:

- повышение скорости резания;
- повышение температуры в зоне резания (например, предварительный нагрев заготовки);
- использование вибраций (в т.ч. с ультразвуковой частотой);
- применение эффективных смазочно-охлаждающих технологических средств (СОТС);
- интенсификация образования оксидных, сульфидных или иных плёнок на трущихся поверхностях и др.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ:

- 1) С помощью штангенциркуля измерьте диаметр заготовки D до обработки и ширину продольного паза b .²
- 2) Установите заготовку в токарный патрон. Установите режимы резания на станке в соответствии с вариантом задания (табл. 1.1). Под руководством учебного мастера выполните обработку заготовки, изменяя режимы резания согласно заданию (всего необходимо выполнить 3 опыта). Наличие продольного паза обеспечит отделение единичных стружек за каждый оборот вращения заготовки.

² Все показания и расчёты заносятся в специальную форму отчета, приведенную в конце работы.

Варианты заданий

Номер вар.	Подача s , мм/об	Глубина резания t , мм	Частота вращения шпинделя n , об/мин		
			Опыт №1	Опыт №2	Опыт №3
1	0,52	0,6	200	400	630
2	0,61	0,5	250	500	800
3	0,70	0,5	315	630	1000
4	0,52	0,8	400	800	1250
5	0,61	0,6	100	630	1250
6	0,70	0,5	250	630	1000

Примечание: Исходные данные могут быть откорректированы (уточнить у преподавателя)

- 3) **После того как стружка остынет, осторожно** соберите её (по 3 штуки от каждого опыта) для последующих измерений. Выберите наименее закрученные экземпляры стружек, зафиксировав численные значения режимов резания, при которых они были получены:
- продольная подача s , мм/об.
 - глубина резания t , мм (определяется по формуле (1.5) после измерения диаметра D_0 заготовки после обработки).
 - скорость резания по формуле:

$$v = \frac{\pi D n}{1000}, \quad (1.9)$$

где n – частота вращения шпинделя об/мин, D – первоначальный диаметр заготовки;

- 4) Определите длину пути, пройденного резцом за один оборот шпинделя по формуле:

$$L_0 = \pi D - b. \quad (1.10)$$

- 5) С помощью нити, методом прокатывания стружки вдоль деревянной линейки или методом сканирования (в зависимости от скрученности стружек) измерьте длину L каждой из 3-х стружек и определите средние значения в каждом опыте.

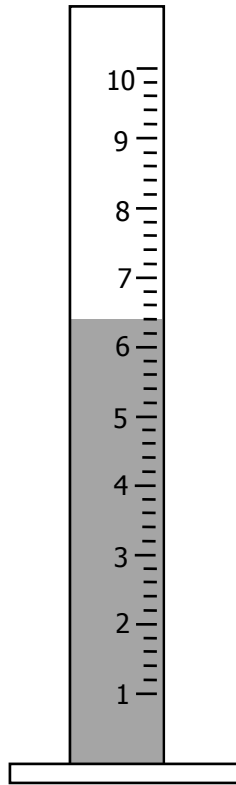
- 6) С помощью микрометра измерьте толщину a_1 каждой стружки и определите средние значения в каждом опыте.
- 7) Определите толщину среза по формуле (1.3), предварительно измерив главный угол резца φ в плане с помощью угломера.
- 8) По формулам (1.1) и (1.2) определите, соответственно, коэффициенты укорочения и утолщения стружки для каждого опыта.
- 9) Определите объём сразу 3-х стружек отдельно для каждого опыта при помощи мензурки. Для этого налейте в мензурку не более $6,5 \text{ см}^3$ воды (рис. 1.2); опустите стержень в мензурку (он должен немного погружаться в жидкость); отметьте по шкале мензурки уровень жидкости свободной поверхности и выньте стержень. Затем **осторожно, чтобы не пораниться**, разломите три стружки из первого опыта на небольшие кусочки (можно смешать) и опустите их в мензурку с жидкостью. Снова погрузите стержень в жидкость и отмерьте новый уровень жидкости.
- 10) Определите объём одной стружки (мм^3) по формуле:

$$V = \frac{\Delta}{m} (200 - 1,75 d^2), \quad (1.11)$$

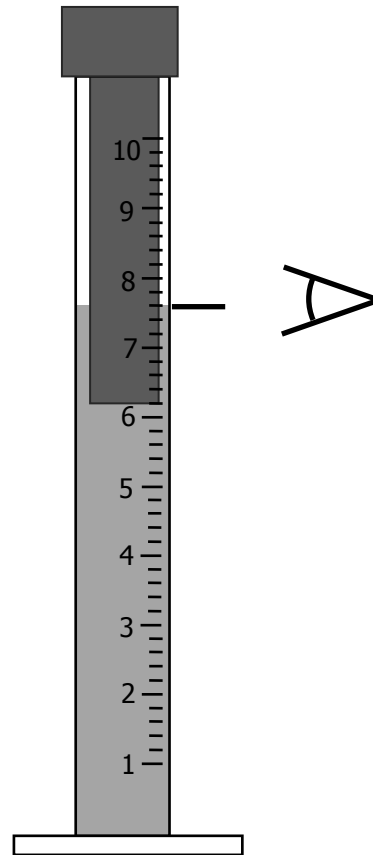
где Δ – разница уровней жидкости (в дел. !!!) до и после погружения стружки в мензурку; m – количество стружек ($m = 3$); d – диаметр опускаемого в жидкость стержня, $d = 9,2$ мм.

- 11) Повторите п. 9 и п. 10 для других опытов.
- 12) Определите коэффициенты усадки стружки по формуле (1.6) для каждого из опытов.
- 13) Постройте графики зависимости коэффициентов усадки стружки, определенных различными методами, от скорости резания (в одних и тех же осях координат).
- 14) С помощью угломера измерьте величину переднего угла γ в главной секущей плоскости (перпендикулярно главной режущей кромке).
- 15) По формуле (1.7) определите значение угла сдвига в каждом опыте, применив в расчётах значения коэффициентов усадки стружки, полученные объёмным методом.
- 16) По формуле (1.8) определите значения коэффициента внешнего трения для разных опытов.
- 17) Постройте графики зависимости коэффициента внешнего трения от скорости резания.
- 18) Сделайте выводы по работе. Оформите отчёт.

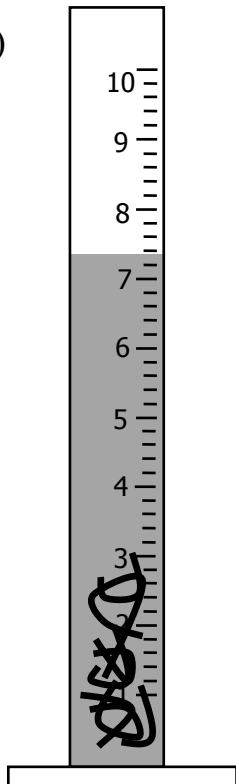
1)



2)



3)



4)

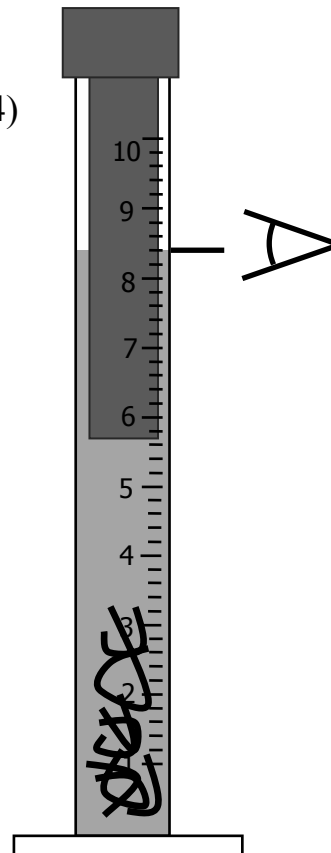
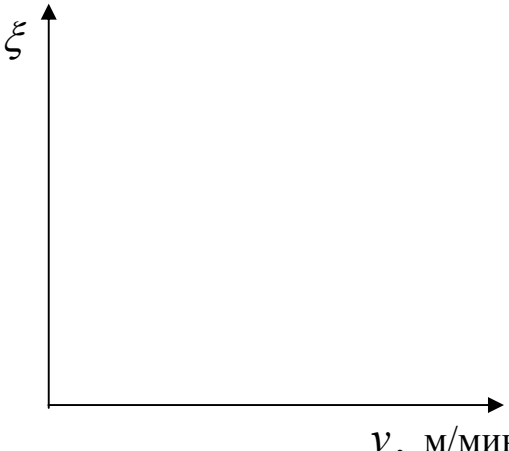
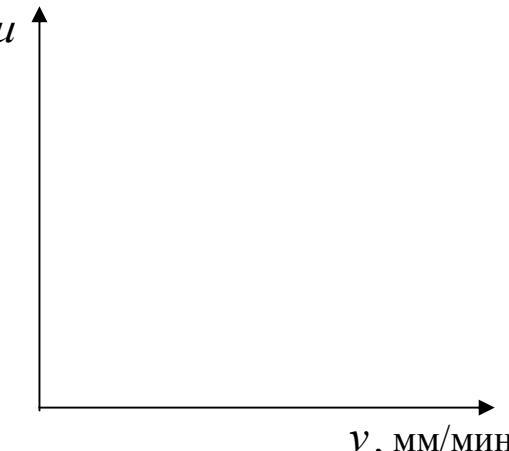


Рис. 1.2. Методика измерения объема стружки

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ УСАДКИ СТРУЖКИ И ВНЕШНЕГО ТРЕНИЯ				Вариант №		
				Группа №		
Лабораторная работа	№1	Работу выполнили студенты		1. 2. 3. 4.		
Дата выполнения						
Материал инструмента	Обрабатываемый материал					
Постоянные параметры		Обозн.	Ед. изм.			
Исходный диаметр заготовки		D	мм			
Ширина продольного паза		b				
Продольная подача		s	мм/об			
Диаметр после обработки		D_0	мм			
Глубина резания		t				
Длина пути, пройденная резцом		L_0				
Главный угол в плане		φ	град.			
Передний угол		γ				
Толщина среза		a	мм			
Варьируемые параметры		Обозн.	Ед. изм.	Номер опыта		
				1	2	3
Частота вращения шпинделя		n	об/мин			
Скорость резания		v	м/мин			
Длина стружки	Номер стружки	1	L	мм		
		2				
		3				
		среднее	L_{cp}			
Толщина стружки	Номер стружки	1	a_1			
		2				
		3				
		среднее	a_{1cp}			
Коэфф. укорочения стружки		ξ_L	-			
Коэфф. утолщения стружки		ξ_a				
Объём единичной стружки		V	мм ³			
Коэффициент усадки стружки		ξ	-			
Угол сдвига		β_1	град.			
Коэффициент внешнего трения		μ_1	-			

РАСЧЁТЫ³	
Наименование величины	Формулы и вычисления
Глубина резания	$t = \frac{D - D_0}{2} =$
Длина пути, пройденная резцом	$L_0 = \pi D - b =$
Толщина среза	$a = s \sin \varphi =$
Скорость резания	$v = \frac{\pi D n}{1000} =$
Среднее значение длины стружки	$L_{cp} = \frac{L_1 + L_2 + L_3}{3} =$
Среднее значение толщины стружки	$a_{1cp} = \frac{a_{11} + a_{12} + a_{13}}{3} =$
Коэффициент укорочения стружки	$\xi_L = \frac{L_0}{L_{cp}} =$
Коэффициент утолщения стружки	$\xi_a = \frac{a_{1cp}}{a} =$
Объем единичной стружки	$V = \frac{\Delta}{m} (200 - 1,75 d^2) =$
Коэффициент усадки стружки	$\xi = \frac{V}{s t L} =$
Угол сдвига	$\beta_1 = \arctg \left(\frac{\cos \gamma}{\xi - \sin \gamma} \right) =$
Коэффициент внешнего трения	$\mu_1 = 1 - \operatorname{tg}(\beta_1 - \gamma) =$

³ В представленной форме отчета приводятся примеры расчетов для первого опыта; для остальных – записываются только конечные значения.

График 1. Зависимость коэффициентов усадки стружки от скорости резания	График 2. Зависимость коэффициента внешнего трения от скорости резания
	
Выводы по графику 1	Выводы по графику 2

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ:

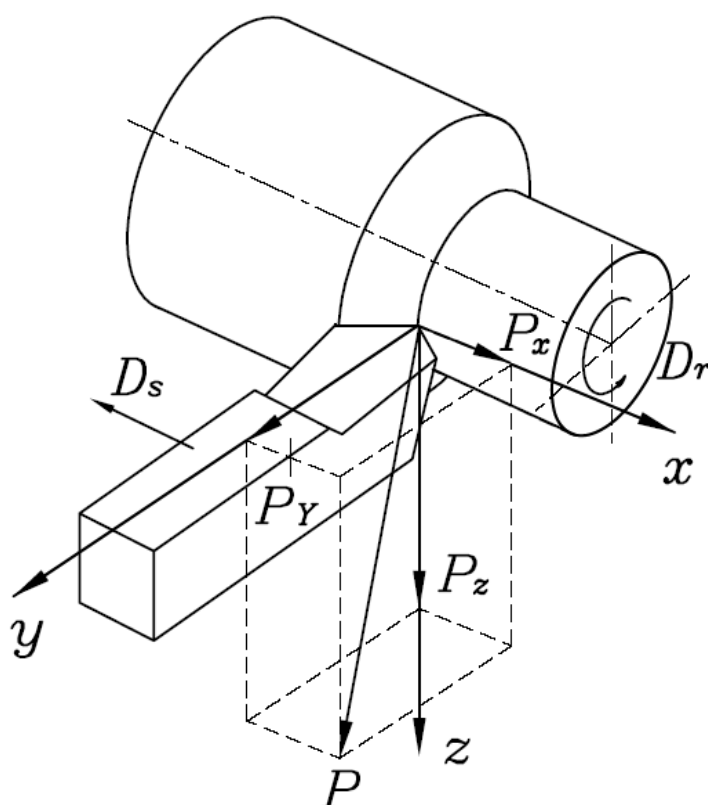
1. Что подразумевается под усадкой стружки? Каким параметром она характеризуется?
2. Поясните основные зависимости, позволяющие определить коэффициент усадки стружки.
3. Охарактеризуйте экспериментальные методы определения коэффициента усадки стружки.
4. Какие факторы влияют на усадку стружки?
5. Какую роль играет трение в зоне резания?
6. Каким образом можно определить значение коэффициента трения между передней поверхностью инструмента и стружкой?
7. Перечислите способы уменьшения трения в зоне резания.
8. Расскажите о методике проведения эксперимента.
9. Поясните наличие стержня при измерении объёма стружки при помощи мензурки (рис. 1.2).
10. Обоснуйте выводы, сделанные по результатам проведенных опытов.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ НА ТАНГЕНЦИАЛЬНУЮ СОСТАВЛЯЮЩУЮ СИЛЫ РЕЗАНИЯ

Цели работы: Экспериментальные исследования влияния режимов резания на тангенциальную составляющую силы резания. Ознакомление с методикой планирования эксперимента. Исследование полученной математической модели.

Оборудование:

станок токарно-винторезный 16К20	1 шт.
тензометрический датчик СВ-1	1 шт.
резец проходной	1 шт.
штангенциркуль	1 шт.



Равнодействующая сила P сопротивления резанию раскладывается на три составляющие (рис. 2): P_z – тангенциальную (главная сила резания), действует в направлении главного движения; P_y – радиальную, в горизонтальной плоскости, перпендикулярно оси детали и P_x – осевую, сила подачи, противоположную направлению подачи.

Рис. 2.1. Составляющие силы резания

⁴ Работа рассчитана на 4 академических часа и 4 часа самостоятельной работы.

По величине P_z принято производить расчёты прочности и жесткости реза, а также необходимой мощности на осуществление процесса резания.

В резании материалов широко используют зависимость вида:

$$A = C x^a y^b z^c, \quad (2.1)$$

где A – выходная величина (параметр оптимизации), например, показатель стойкости режущего инструмента, сила, температура в зоне резания и др.;

C – постоянный коэффициент;

x, y, z – факторы, переменные величины;

a, b, c – показатели степени.

Методика нахождения зависимости тангенциальной составляющей силы резания от режимов резания в виде:

$$P_z = C_p v^n s^q t^k, \quad (2.2)$$

где P_z – выходная величина (сила резания) – отклик на изменение факторов;

C_p – постоянный коэффициент;

v, s, t – факторы (переменные величины): соответственно, скорость резания, подача, глубина резания;

n, q, k – показатели степени.

Используется планирование эксперимента с преобразованием отклика (P_z) и факторов (v, s, t). Для этого логарифмируется зависимость (2.2):

$$\ln P_z = \ln C_p + n \ln v + q \ln s + k \ln t. \quad (2.3)$$

Логарифмирование приводит к получению линейной модели, что существенно облегчает задачу определения параметров модели.

Можно записать выражение (2.3) в виде:

$$Y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3. \quad (2.4)$$

Для определения коэффициентов уравнения (2.4) в данном случае используется полный факторный эксперимент с числом комбинаций уровней независимых факторов:

$$N = 2^K, \quad (2.5)$$

где K – число факторов эксперимента; в нашем случае число факторов $K = 3$ (v, s, t), т.е. различное число комбинаций равно $N = 2^3 = 8$.

Уровни факторов представляют собой границы исследуемой области. В данном случае каждый фактор (скорость, подача и глубина резания) будет иметь два уровня – максимальное и минимальное значение.

При проведении экспериментов пользоваться натуральной системой координат не всегда удобно, поэтому в планах переходят к безразмерной системе координат, в которой верхний уровень равен +1 (обозначается «+»), нижний уровень равен -1 (обозначается «-»).

Преобразование независимых переменных X_i к безразмерным переменным производят с помощью уравнения преобразования:

$$X_i = \frac{2(\ln X_i - \ln X_{i\max})}{\ln X_{i\max} - \ln X_{i\min}} + 1. \quad (2.6)$$

В таблице 2.1 представлены области исследований факторов в натуральной и кодированной системе координат.

Таблица 2.1

Области исследований факторов

Уровни факторов	Факторы					
	скорость резания		подача		глубина резания	
	Система					
	натуральная	кодированная	натуральная	кодированная	натуральная	кодированная
	v , м/мин	X_1	s , мм/об	X_2	t , мм	X_3
верхний	v_{\max}	+1	s_{\max}	+1	t_{\max}	+1
нижний	v_{\min}	-1	s_{\min}	-1	t_{\min}	-1

Затем составляют матрицу планирования эксперимента (табл. 2.2), в которую заносятся результаты эксперимента y''_{ji} (показания тензометрического датчика). Каждый эксперимент, с целью повышения точности модели, проводят минимум в трехкратной повторности.

Таблица 2.2

Матрица планирования 2^3 и результаты эксперимента

№ опыта	X_0	X_1	X_2	X_3	Y			
					Y_1''	Y_2''	Y_3''	\bar{Y}''
1	+	-	-	-	y''_{11}	y''_{12}	y''_{13}	\bar{y}''_1
2	+	+	-	-	y''_{21}	y''_{22}	y''_{23}	\bar{y}''_2
3	+	-	+	-	y''_{31}	y''_{32}	y''_{33}	\bar{y}''_3
4	+	+	+	-	y''_{41}	y''_{42}	y''_{43}	\bar{y}''_4
5	+	-	-	+	y''_{51}	y''_{52}	y''_{53}	\bar{y}''_5
6	+	+	-	+	y''_{61}	y''_{62}	y''_{63}	\bar{y}''_6
7	+	-	+	+	y''_{71}	y''_{72}	y''_{73}	\bar{y}''_7
8	+	+	+	+	y''_{81}	y''_{82}	y''_{83}	\bar{y}''_8

Используя показания датчика, определяют действительную величину силы резания (в Н) через поправочный коэффициент:

$$y'_{ji} = K_C \times y''_{ji}, \quad (2.7)$$

учитывающий жесткость токарного резца; $K_C = 315$.

Для получения искомой зависимости в виде (2.2) в дальнейшем необходимо работать не с натуральными значениями силы резания, а с их логарифмами: $y_{ji} = \ln(y'_{ji})$. Далее находят средние значений в каждом опыте \bar{y}'_j, \bar{y}_j . В результате заполняется таблица, подобная таблице 2.2.

Согласно матрице планирования, коэффициенты в выражении (2.4) находят через средние значения в строках (логарифм силы резания) \bar{y}_j :

$$b_0 = \frac{\bar{y}_1 + \bar{y}_2 + \bar{y}_3 + \bar{y}_4 + \bar{y}_5 + \bar{y}_6 + \bar{y}_7 + \bar{y}_8}{N}, \quad (2.8)$$

$$b_1 = \frac{-\bar{y}_1 + \bar{y}_2 - \bar{y}_3 + \bar{y}_4 - \bar{y}_5 + \bar{y}_6 - \bar{y}_7 + \bar{y}_8}{N}, \quad (2.9)$$

$$b_2 = \frac{-\bar{y}_1 - \bar{y}_2 + \bar{y}_3 + \bar{y}_4 - \bar{y}_5 - \bar{y}_6 + \bar{y}_7 + \bar{y}_8}{N}, \quad (2.10)$$

$$b_3 = \frac{-\bar{y}_1 - \bar{y}_2 - \bar{y}_3 - \bar{y}_4 + \bar{y}_5 + \bar{y}_6 + \bar{y}_7 + \bar{y}_8}{N}. \quad (2.11)$$

Следует провести **исследование полученной математической модели**. Под исследованием в данном случае понимается:

- проверка однородности дисперсии по критерию Кохрена (на основе натуральных значений силы резания);
- оценка значимости вычисленных коэффициентов регрессии по критерию Стьюдента (на основе логарифмов значений силы резания);
- проверка адекватности полученной математической модели по критерию Фишера (на основе натуральных значений силы резания).

Далее поэтапно рассматривается исследование модели.

1) На основании экспериментальных данных таблицы 2.2 построчно находится дисперсия адекватности (построчная дисперсия) для натуральных значений силы резания и для логарифмических значений, соответственно:

$$S_j'^2 = \frac{\sum_{i=1}^m (y'_{ji} - \bar{y}'_j)^2}{m-1}, \quad S_j^2 = \frac{\sum_{i=1}^m (y_{ji} - \bar{y}_j)^2}{m-1} \quad (2.12)$$

где i – номер повторного опыта ($i = 1 \dots m$);

m – число повторных опытов ($m=3$);

j – номер опыта ($j = 1 \dots N$); N – число комбинаций ($N=8$).

2) Находится сумма построчных дисперсий:

$$S_\Sigma'^2 = \sum_{j=1}^N S_j'^2, \quad S_\Sigma^2 = \sum_{j=1}^N S_j^2 \quad (2.13)$$

3) Определяется число степеней свободы для повторных опытов и комбинаций:

$$m_1 = m - 1, \quad (2.14) \quad m_2 = N, \quad (2.15)$$

где m – число повторных опытов ($m=3$); N – число комбинаций ($N=8$).

4) По таблице 2.1 (Приложение 2) в зависимости от числа степеней свободы находится квантиль $G_{\alpha m_1 m_2}$ распределения Кохрена для уровня значимости $\alpha = 0,05$.

5) Проверяется однородность дисперсии по критерию Кохрена. Для этого должно выполняться условие:

$$\frac{S'_{j \max}{}^2}{S'_{\Sigma}{}^2} < G_{\alpha m_1 m_2}, \quad (2.16)$$

где $S'_{j \max}{}^2$ – максимальное значение дисперсии адекватности, определенной по формуле (2.12) для натуральных значений силы резания.

6) Определяется дисперсия воспроизводимости (дисперсия отклика):

$$S'_{\text{восн}}{}^2 = \frac{S'_{\Sigma}{}^2}{N}, \quad S^2_{\text{восн}} = \frac{S_{\Sigma}^2}{N} \quad (2.17)$$

7) Определяется дисперсия коэффициентов уравнения регрессии:

$$S_b^2 = \frac{S^2_{\text{восн}}}{N \cdot m}, \quad (2.18) \quad S_b = \sqrt{S_b^2}, \quad (2.19)$$

8) Определяется общее число степеней свободы:

$$m_3 = m_2 \cdot m_1. \quad (2.20)$$

9) Находится значение доверительного интервала для коэффициентов регрессии:

$$\Delta b = t_{\alpha m_3} S_b. \quad (2.21)$$

Здесь $t_{\alpha m_3}$ – теоретическое значение коэффициента Стьюдента, в зависимости от уровня значимости α и числа степеней свободы m_3 (определяется по таблице 2.2, Приложение 2)⁵.

⁵ В программе Microsoft Excel для этого существует специальная функция **СТЮДРАСПОБР(α ; m_2)**

10) Проводится проверка значимости коэффициентов регрессии. Для этого значение доверительного интервала Δb сопоставляется с абсолютными значениями коэффициентов b_c , вычисленных по формулам (2.8)–(2.11). Должно выполняться условие:

$$|b_c| > \Delta b. \quad (2.22)$$

11) Если абсолютное значения какого-либо из коэффициентов регрессии окажется меньше чем значение доверительного интервала, то это означает, что данный коэффициент являются незначимым, и им можно пренебречь (обнулить). Т. е. уравнение регрессии вида (2.4) может быть упрощено.

К примеру, если окажется, что $|b_2| < \Delta b$, то уравнение (2.4) будет иметь вид:

$$\hat{Y} = b_0 + b_1 x_1 + b_3 x_3. \quad (2.23)$$

12) От выражения (2.23), написанного в кодированной системе координат, снова переходят к натуральной. С целью упрощения модели, незначимые факторы исключают.

Используя выражение преобразования (2.6), получают искомую зависимость (2.2), где входящие в выражение параметры в общем виде определяются следующим образом:

$$C_P = e^B, \quad (2.24)$$

$$B = b_0 + b_1 + b_2 + b_3 - 2 \left(\frac{b_1 \ln v_{\max}}{\ln v_{\max} - \ln v_{\min}} + \frac{b_2 \ln s_{\max}}{\ln s_{\max} - \ln s_{\min}} + \frac{b_3 \ln t_{\max}}{\ln t_{\max} - \ln t_{\min}} \right), \quad (2.25)$$

$$n = \frac{2b_1}{\ln v_{\max} - \ln v_{\min}}, \quad (2.26)$$

$$q = \frac{2b_2}{\ln s_{\max} - \ln s_{\min}}, \quad (2.27)$$

$$k = \frac{2b_3}{\ln t_{\max} - \ln t_{\min}}. \quad (2.28)$$

13) Полученные значения подставляются в формулу (2.2) и для каждого опыта (построчно) определяют выходную величину \hat{y}'_j , где значения скорости резания, подачи и глубины резания принимают натуральные значения согласно таблице 2.1 и матрице планирования (табл. 2.1).

14) Находится дисперсию адекватности:

$$S'^2_{ад} = \frac{m \sum_{i=1}^N (\bar{y}'_j - \hat{y}'_j)^2}{N - l}. \quad (2.29)$$

Здесь l – число значимых коэффициентов в уравнении регрессии (2.23). В данном примере $l = 3$.

15) Определяется экспериментальное значение критерия Фишера:

$$F_{эксп} = \frac{S'^2_{ад}}{S'^2_{восп}}. \quad (2.30)$$

16) По таблице 2.3 (Приложение 2) находится теоретическое значение критерия Фишера $F_{\alpha m_4 m_5}$ ⁶, в зависимости от уровня значимости α и числа степеней свободы m_4 и m_5 , которые определяются следующим образом:

$$m_4 = N - l, \quad (2.31) \quad m_5 = N(m - 1). \quad (2.32)$$

17) Делается вывод об адекватности модели. Модель считается адекватной, если выполняется следующее условие:

$$F_{эксп} < F_{\alpha m_4 m_5}. \quad (2.33)$$

Если условие (2.33) не выполняется, а эксперимент проведен качественно, то это означает, что в данном случае скорее всего имеет место эффект взаимодействия факторов (когда эффект одного фактора зависит от уровня, на котором находится другой фактор)⁷.

⁶ В программе Microsoft Excel это реализовано с помощью специальной функции **ФРАСПОБР**(α ; m_4 ; m_5)

⁷ В рамках данных лабораторных работ такие вопросы не рассматриваются.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ:

- 1) Измерьте диаметр заготовки D до обработки.
- 2) В соответствии с вариантом задания, и пояснениями к таблице 2.1 определите «Области исследования факторов». Скорость резания (м/мин) определите по формуле $v = \frac{\pi D n}{1000}$ (n – частота вращения шпинделя, об/мин)⁸.

Таблица 2.1

Варианты заданий

Номер варианта	Частота вращения шпинделя n , об/мин		Подача S , мм/об		Глубина резания t , мм	
	n_{\min}	n_{\max}	S_{\min}	S_{\max}	t_{\min}	t_{\max}
1	200	630	0,11	0,21	0,5	1,0
2	250	800	0,097	0,195	0,2	0,8
3	315	1000	0,074	0,15	0,4	0,8
4	400	1250	0,084	0,17	0,5	1,2
5	100	1250	0,17	0,34	0,3	0,7
6	250	1000	0,15	0,3	0,4	1,0

- 3) По формуле (2.5) определите число комбинаций уровней независимых факторов.
- 4) Составьте матрицу планирования эксперимента, по примеру табл. 2.2 (заполнить столбцы X_0, X_1, X_2, X_3 знаками «+» или «-»).
- 5) Под руководством учебного мастера выполните обработку заготовки, изменяя режимы резания согласно таблице «Области исследования факторов» и матрице планирования эксперимента. Каждый эксперимент необходимо провести в трехкратной повторности. Полученные данные занесите в таблицу измерений (столбцы Y_1'', Y_2'', Y_3'').

⁸ Все показания и расчёты заносятся в специальную форму отчета, приведенную в конце работы.

- 6) Используя формулу (2.7) заполните таблицу «Значение силы резания» в натуральной (столбцы Y'_1, Y'_2, Y'_3) и логарифмической (Y_1, Y_2, Y_3) системе и определить средние значения в каждой строке (соответственно, столбцы \bar{Y}' и \bar{Y})⁹.
- 7) Для каждого опыта, по формуле (2.12) определите построчную дисперсию адекватности.
- 8) По формуле (2.13) определите сумму построчных дисперсий.
- 9) По формулам (2.14) и (2.15) определите, соответственно, число степеней свободы для повторных опытов и комбинаций.
- 10) По таблице 2.1 (Приложение 2) в зависимости от числа степеней свободы найдите квантиль $G_{\alpha m_1 m_2}$ распределения Кохрена для уровня значимости $\alpha = 0,05$.
- 11) Найдите максимальные построчные дисперсии.
- 12) По формуле (2.16) проверьте однородность дисперсий (критерий Кохрена)¹⁰.
- 13) По формуле (2.17) определите дисперсии воспроизводимости (дисперсии отклика).
- 14) По формулам (2.18) и (2.19) определите дисперсию коэффициентов уравнения регрессии.
- 15) По формуле (2.20) определите общее число степеней свободы.
- 16) По таблице 2.2 (Приложение 2) в зависимости от уровня значимости $\alpha = 0,05$ и числа степеней свободы найдите теоретическое значение коэффициента Стьюдента.
- 17) По формуле (2.21) определите значение доверительного интервала для коэффициентов регрессии.
- 18) Рассчитайте коэффициенты регрессии через средние значения логарифмов \bar{Y} в каждом опыте по формулам (2.8) – (2.11).
- 19) Используя выражение (2.22), определите значимость коэффициентов регрессии (критерий Стьюдента).
- 20) Обнулив незначимые коэффициенты регрессии, запишите линейную модель вида (2.23) и определите число значимых коэффициентов.

⁹ В отчёте приводятся расчёты только для первого опыта, для остальных – в виде таблицы. Расчет Y_i и \bar{Y} производить с точностью до 0,001.

¹⁰ Если дисперсии неоднородны, то необходимо повторить опыт, для которого построчная дисперсия принимает максимальное значение.

- 21) По формулам (2.24) – (2.28) определите постоянный коэффициент и показатели степени. Запишите степенную модель вида (2.2).
- 22) Для каждого опыта (построчно) определите выходную величину $\hat{y}'_j = P_z = f(v, s, t)$, где значение скорости резания, подачи и глубины резания принимают натуральные значения согласно таблице 2.1 и матрице планирования – таблице 2.1.
- 23) По формуле (2.29) определите дисперсию адекватности.
- 24) По формуле (2.30) определите экспериментальное значение критерия Фишера.
- 25) По формулам (2.31) и (2.32) определите число степеней свободы.
- 26) По таблице 2.3 (Приложение 2) найдите теоретическое значение критерия Фишера $F_{\alpha m_4 m_5}$, в зависимости от уровня значимости $\alpha = 0,05$ и числа степеней свободы.
- 27) По формуле (2.33) выполните проверку адекватности модели (критерий Фишера).
- 28) На основе полученной модели постройте графики зависимости силы резания от режимов резания, предварительно заполнив таблицу (см. форму отчёта):
 - $P_z = f(v)$ при $s = s_{\min}; t = t_{\min}$
 - $P_z = f(v)$ при $s = s_{\max}; t = t_{\min}$
 - $P_z = f(v)$ при $s = s_{\min}; t = t_{\max}$
 - $P_z = f(v)$ при $s = s_{\max}; t = t_{\max}$
 При этом скорость резания $v_{\min} \leq v_i \leq v_{\max}$ (взять пять значений).
- 29) Отметьте на графике значения P_z полученные экспериментальным путём с учётом принятых уровней факторов. На графике необходимо отметить отклики \bar{Y} каждого из проведенных на практике экспериментов (8 точек).
- 30) Убедитесь, что точки экспериментальных данных находятся вблизи линий, построенных на основе полученной математической модели.
- 31) Сделайте выводы по графикам. Оформите отчёт¹¹.

¹¹ Отчёт оформляется каждым студентом индивидуально. Один отчёт (главный) оформляется по показаниям, полученным в ходе проведения эксперимента в лаборатории; остальные студенты оформляют отчёт исходя из данных, приведенных в Приложении 3, согласно индивидуальному варианту задания (табл. 3.1, 3.2).

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ НА ТАНГЕНЦИАЛЬНУЮ СОСТАВЛЯЮЩУЮ СИЛЫ РЕЗАНИЯ				Вариант №			
				Группа №			
Лабораторная работа	№2	Работу выполнили студенты		1. 2. 3. 4.			
Дата выполнения							
Материал инструмента	Обрабатываемый материал						
Исходные данные		Обозн.	Ед. изм.			Численное значение	
Диаметр заготовки		D	мм				
Число факторов эксперимента		K	-				
Число комбинаций		N					
Число повторных опытов		m					
Области исследований факторов							
Уровни факторов	скорость резания		подача		глубина резания		
	Система						
	натуральная	кодированная	натуральная	кодированная	натуральная	кодированная	
	$v, \text{ м/мин}$	X_1	$s, \text{ мм/об}$	X_2	$t, \text{ мм}$	X_3	
нижний		-1		-1		-1	
верхний		+1		+1		+1	
Матрица планирования. Результаты эксперимента							
№ опыта	X_0	X_1	X_2	X_3	Показания тензодатчика		
					Y_1''	Y_2''	Y_3''
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
Поправочный коэффициент					K_C		

Тангенциальная составляющая силы резания											
№ опы та	Натуральная система, Н $Y_i' = K_C \times Y_i''$						Логарифмическая система $Y_i = \ln(Y_i')$				
	Y_1'	Y_2'	Y_3'	\bar{Y}'	$S_j'^2$	\hat{Y}	Y_1	Y_2	Y_3	\bar{Y}	S_j^2
1											
2											
3											
4											
5											
6											
7											
8											
РАСЧЁТЫ¹²											
Наименование величины		Формулы и вычисления									
Скорость резания (нижний уровень)		$v_{\min} = \frac{\pi D n_{\min}}{1000} =$									
Скорость резания (верхний уровень)		$v_{\max} = \frac{\pi D n_{\max}}{1000} =$									
Число комбинаций уровней независи- мых факторов		$N = 2^K =$									
Средние значение		$\bar{y}'_1 = \frac{y'_{11} + y'_{12} + y'_{13}}{m} =$									
		$\bar{y}_1 = \frac{y_{11} + y_{12} + y_{13}}{m} =$									

¹² В представленной форме отчета приводятся примеры расчетов для первого опыта. Для остальных опытов записываются только конечные значения.

Построчная дисперсия	$S_1'^2 = \frac{\sum_{i=1}^m (y_{1i}' - \bar{y}_1')^2}{m-1} =$
	$S_1^2 = \frac{\sum_{i=1}^m (y_{1i} - \bar{y}_1)^2}{m-1} =$
Сумма построчных дисперсий	$S_\Sigma'^2 = \sum_{j=1}^N S_j'^2 =$
	$S_\Sigma^2 = \sum_{j=1}^N S_j^2 =$
Число степеней свободы	$m_1 = m - 1 =$ $m_2 = N =$
Квантиль распределения Кохрена	$G_{\alpha m_1 m_2} =$
Максимальная дисперсия	$S_{j \max}'^2 =$
Проверка однородности дисперсий	$\frac{S_{j \max}'^2}{S_\Sigma'^2} < G_{\alpha m_1 m_2}$
Вывод об однородности дисперсий	
Дисперсия воспроизводимости	$S_{\text{восп}}'^2 = \frac{S_\Sigma'^2}{N} =$

Дисперсия воспроизводимости	$S_{\text{восн}}^2 = \frac{S_{\Sigma}^2}{N} =$
Дисперсия коэффициентов уравнения регрессии	$S_b^2 = \frac{S_{\text{восн}}^2}{N \cdot m} =$ $S_b = \sqrt{S_b^2} =$
Общее число степеней свободы	$m_3 = m_2 \cdot m_1 =$
Коэффициент Стьюдента	$t_{\alpha m_3} =$
Доверит. интервал для коэффициентов регрессии	$\Delta b = t_{\alpha m_3} S_b =$
Коэффициенты регрессии	$b_0 = \frac{\bar{y}_1 + \bar{y}_2 + \bar{y}_3 + \bar{y}_4 + \bar{y}_5 + \bar{y}_6 + \bar{y}_7 + \bar{y}_8}{N} =$ $b_1 = \frac{-\bar{y}_1 + \bar{y}_2 - \bar{y}_3 + \bar{y}_4 - \bar{y}_5 + \bar{y}_6 - \bar{y}_7 + \bar{y}_8}{N} =$ $b_2 = \frac{-\bar{y}_1 - \bar{y}_2 + \bar{y}_3 + \bar{y}_4 - \bar{y}_5 - \bar{y}_6 + \bar{y}_7 + \bar{y}_8}{N} =$ $b_3 = \frac{-\bar{y}_1 - \bar{y}_2 - \bar{y}_3 - \bar{y}_4 + \bar{y}_5 + \bar{y}_6 + \bar{y}_7 + \bar{y}_8}{N} =$

Проверка значимость коэффициентов регрессии	$ b_0 > \Delta b$ $ b_1 > \Delta b$ $ b_2 > \Delta b$ $ b_3 > \Delta b$
Вывод о значимости коэффициентов регрессии	
Число значимых коэффициентов	$l =$
Линейная модель	$Y =$
Определение постоянного коэффициента и показателей степени	$B = b_0 + b_1 + b_2 + b_3 -$ $-2 \left(\frac{b_1 \ln v_{\max}}{\ln v_{\max} - \ln v_{\min}} + \frac{b_2 \ln s_{\max}}{\ln s_{\max} - \ln s_{\min}} + \frac{b_3 \ln t_{\max}}{\ln t_{\max} - \ln t_{\min}} \right) =$ $=$ $C_p = e^B = 2,718^B =$ $n = \frac{2b_1}{\ln v_{\max} - \ln v_{\min}} =$

	$q = \frac{2b_2}{\ln s_{\max} - \ln s_{\min}} =$ $k = \frac{2b_3}{\ln t_{\max} - \ln t_{\min}} =$
Степенная модель	$P_z =$
Дисперсия адекватности	$S'_{ad}{}^2 = \frac{m \sum_{i=1}^N (\bar{y}'_j - \hat{y}'_j)^2}{N - l} =$
Критерий Фишера (эксперимент)	$F_{эксн} = \frac{S'_{ad}{}^2}{S'_{восн}{}^2} =$
Число степеней свободы	$m_4 = N - l =$ $m_5 = m_3 =$
Критерий Фишера (теория)	$F_{\alpha m_4 m_5} =$
Проверка адекватности модели	$F_{эксн} < F_{\alpha m_4 m_5}$
Вывод об адекватности модели	

Построение графических зависимостей							
$P_z = f(v, s, t)$							
Пере- менный фактор	Фиксированные факторы						
	мм/об	s	min	max	min	max	
		мм	t	min	min	max	max
v_i	Ед. изм.	м/мин	min				
			max				
Зависимость $P_z = f(v)$, при различных значениях s и t¹³							
Выводы по графикам							

¹³ Если скорость резания окажется незначимым фактором, то построить зависимость $P_z = f(s, t)$, используя в отчете альтернативную форму (с. 34).

Построение графических зависимостей					
$P_z = f(s, t)$					
Пере- менный фактор	Фиксированный фактор				
	мм	t	min	max	
s	Ед. ИЗМ	об/мин	min		
			max		
Зависимость $P_z = f(s)$, при различных значениях t					
<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="margin-right: 10px;">$P_z, \text{Н}$</div> </div>					
Выводы по графикам					

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ:

1. В каких направлениях действуют составляющие силы резания и покажите их на рисунке 2.1 и на токарном резце (в статической системе координат).
2. В каких случаях возникает необходимость рассчитывать значение тангенциальной составляющей силы резания?
3. От каких факторов зависит величина силы резания? (Попробуйте указать также иные факторы, не рассмотренные в данной работе).
4. В чём заключается методика планирования полного факторного эксперимента.
5. Разработайте матрицу планирования полного факторного эксперимента 2^2 .
6. Запишите выражение вида (2.4) с числом комбинаций 2^2 и запишите формулы для определения коэффициентов b_i .
7. Для чего выполняется проверка однородности построчных дисперсий? Какие действия необходимо принимать, если условие однородности не выполняется?
8. В каком случае математическая модель может быть упрощена? Не приведет ли это к значительному уменьшению точности модели?
9. Расскажите о методике проверки математической модели на адекватность.
10. Расскажите о правилах пользования таблицами, приведенными в Приложении 2. Какие исходные данные для этого необходимы? Для чего в последующем используются данные указанных таблиц?

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗНОСА РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

Цели работы: Ознакомление с факторами, влияющими на стойкость и характер износа инструмента по передней и задней поверхности. Измерение величины износа режущих инструментов. Определение работоспособности инструмента. Разработка рекомендаций по уменьшению износа.

Оборудование:

микроскоп инструментальный ММИ 1 шт.
набор изношенного режущего инструмента 1 шт.

Потеря режущей способности РИ вызывается:

- истиранием контактных поверхностей (основной вид износа);
- выкрашиванием мельчайших частиц (для более хрупких материалов).

Истирание резца может происходить по задней поверхности (рис. 3.1), передней поверхности и одновременно по задней и передней поверхностям. В результате изнашивания на передней поверхности лезвия образуется лунка длиной l_l , шириной b_l и глубиной δ_l , а на задней поверхности – площадка высотой h_3 , имеющая задний угол, равный нулю.

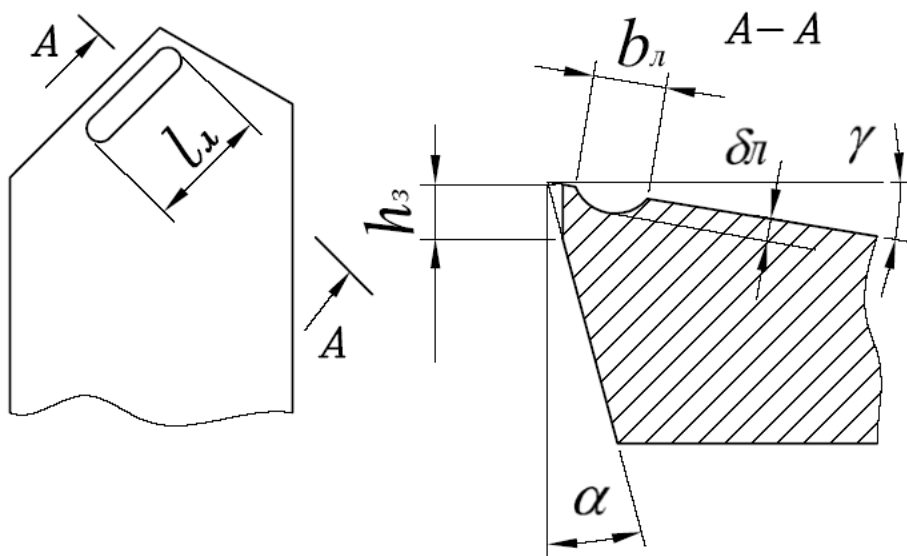


Рис. 3.1. Виды износа резца

Износ по задним поверхностям преобладает при обработке твердых хрупких материалов и при обработке пластичных материалов с малой толщиной срезаемого слоя ($a < 0,1$ мм) и низкими скоростями резания. Износ по передней поверхности преобладает при обработке пластичных материалов с толщиной срезаемого слоя $a < 0,5$ мм и высокими скоростями резания без охлаждения.

При фрезеровании, в зависимости от условия резания зубья могут изнашиваются только по задней (рис. 3.2, а) или одновременно по задней и передней поверхностям (рис. 3.2, б). Чем меньше толщина среза, тем больше истирается задняя поверхность. Такой вид износа характерен для цилиндрических, концевых, шлицевых, прорезных и фасонных фрез. Торцовые и дисковые фрезы при обработке сталей обычно изнашиваются по задней и передней поверхностям.

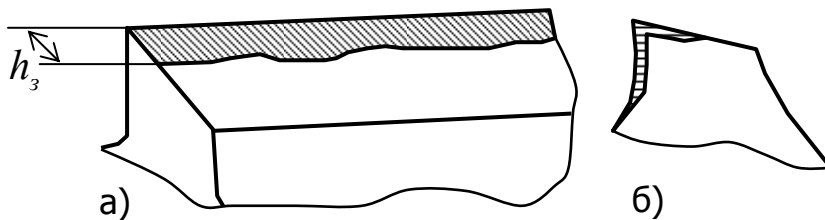


Рис. 3.2. Износ зубьев цилиндрической фрезы

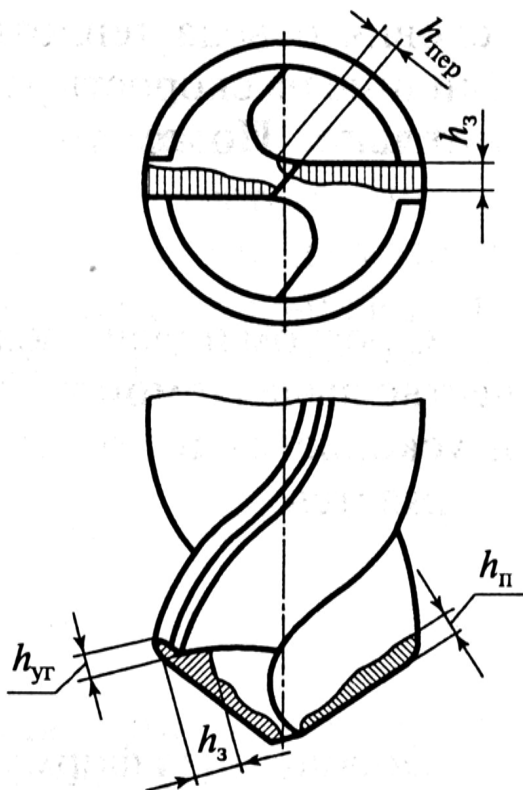


Рис. 3.3. Виды износа сверла

При обработке конструкционных сталей сверлами из быстрорежущей стали износ происходит одновременно по передней h_n (рис. 3.3) и задней $h_з$ поверхностям, а также по ленточкам. При обработке хрупких материалов износ происходит по уголкам $h_{уг}$. При чрезмерной длине перемычки и неправильной заточке сверла наблюдается износ по поперечной режущей кромке $h_{пер}$.

При износе инструмента по задней поверхности на некоторую величину, ухудшается шероховатость обработанной поверхности и, кроме того, наблюдается изменение размера обработанной детали.

Допустимой величиной износа называется такая величина h_3 , при которой дальнейшая работа инструмента должна быть прекращена вследствие резкого возрастания усилия резания и снижения качества обработанной поверхности. Величина h_3 нормирована в зависимости от материала режущей части инструмента и разновидности обработки резанием. Значения допустимого износа резцов из быстрорежущих сталей приведены в таблице 4.1 (Приложение 4), твёрдосплавных резцов – в табл. 4.2, фрез – в табл. 4.3.

Критериями износа сверла являются:

- при сверлении чугуна $h_{\text{yc}} = 0,5...1,2$ мм;
- при сверлении стали $h_3 = 0,4...1,3$ мм.

Для сверл большого диаметра (> 20 мм) допускается более значительная величина износа.

Характер износа зависит от режимов резания, правильности заточки, свойств обрабатываемого материала, условий охлаждения, и других факторов. При достижении названными величинами критических значений, с целью восстановления режущей способности инструмента, должна быть произведена его переточка.

Продолжительность резания новым или переточенным режущим инструментом до потери его работоспособности, т.е. до достижения предельно допустимого износа называется периодом стойкости или стойкостью.

Стойкость РИ, соответствующая некоторой величине радиального износа, называется размерной стойкостью. Высокую размерную стойкость должны иметь РИ, предназначенные для чистовой или окончательной обработки, а также РИ, устанавливаемые на автоматизированных станках и автоматических линиях.

Величина износа нелинейно зависит от времени (рис. 3.4). Различают три характерные зоны. На участке **1** происходит приработка инструмента, на участке **2** – нормальный износ и на участке **3** – катастрофический износ.

Критерий затупления, при котором период стойкости инструмента наибольший, называется критерием оптимального износа h_{3opt} . Этот критерий на кривой износа соответствует моменту перехода периода нормального изнашивания в катастрофический.

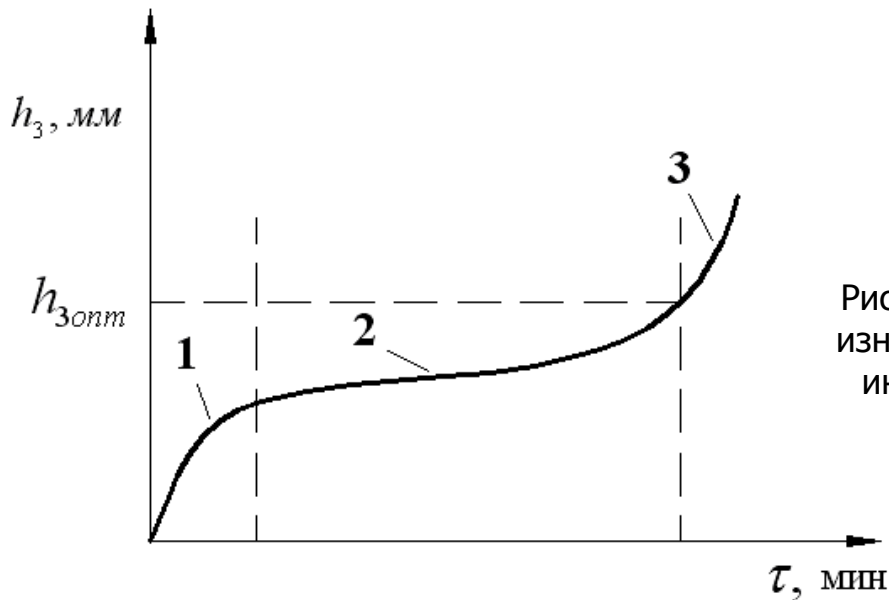


Рис. 3.4. Характер износа лезвийного инструмента во времени

При обработке заготовок широко распространены инструменты, оснащенные многогранными твёрдосплавными пластинами. Возможные проблемы, связанные с износом инструмента и качеством обработки, возникающие при использовании резцов с твёрдосплавными пластинками приведены в таблице 4.4 (Приложение 4). Там же указаны основные способы по их устранению.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ:

- 1) Используя инструментальный микроскоп или сканер, выполните измерение величины износа различных режущих инструментов.
- 2) Выполните зарисовки.
- 3) По таблицам 4.1–4.3 (Приложение 4) сравните подлинную величину износа инструментов с допустимой. Сделайте вывод о работоспособности инструмента.
- 4) Используя описание к работе и данные табл. 4.4 (Приложение 4), укажите возможные способы устранения данных видов износа.
- 5) Сделайте выводы. Оформите отчёт.

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗНОСА РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА			Группа №		
Лабораторная работа	№3	Работу выполнили студенты	1.		
Дата выполнения			2.		
			3.		
			4.		
				
Инструмент №1					
Наименование инструмента					
Эскиз		Наименование критерия износа	Обозначение	Величина износа, мм	
		Вывод о работоспособности инструмента			
		Рекомендации по уменьшению износа			
		1. 2. 3.			
Инструмент №2					
Наименование инструмента					
Эскиз		Наименование критерия износа	Обозначение	Величина износа, мм	
		Вывод о работоспособности инструмента			
		Рекомендации по уменьшению износа			
		1. 2. 3.			

Инструмент №3					
Наименование инструмента					
Эскиз	Наименование критерия износа	Обозначение	Величина износа, мм		
			Измерение	Допуск	
	Вывод о работоспособности инструмента				
	Рекомендации по уменьшению износа				
		1. 2. 3. 4.			

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ:

1. Расскажите о характере износа резцов и геометрических особенностях изношенной части.
2. Что является причиной износа инструмента по задней и передней поверхности резца?
3. В каких случаях фрезы изнашиваются по задней поверхности?
4. Расскажите об особенностях износа сверл.
5. Что может являться критерием износа режущего инструмента? Как износ сказывается на точности обработки.
6. Дайте понятие стойкости режущего инструмента.
7. Расскажите о характере износа инструмента во времени.
8. Дайте понятие критерия оптимального износа.
9. Какие факторы определяют величину допустимого износа по задней поверхности?
10. Какие меры могут быть приняты для уменьшения износа резцов с твердосплавными пластинами?

ИССЛЕДОВАНИЕ УСЛОВИЙ ДЛЯ ОБРАЗОВАНИЯ СТРУЖКИ НА ОСНОВЕ НОМОГРАММ РЕЗАНИЯ ПРИ ШЛИФОВАНИИ

Цели работы: Ознакомление с абразивными материалами, формой абразивных зёрен и особенностями образования стружки при шлифовании. Выявление критериев, необходимых для образования стружки. Определение конечного явления в зоне фрикционного контакта на основе номограмм резания. Определение геометрии абразивного зерна способного снимать стружку.

Оборудование:

номограммы резания 1 шт.
набор чертёжных инструментов 1 шт.

Резание абразивным зерном является сложным физическим процессом, сопровождающимся тепловыделением, деформацией металла, износом инструментального материала.

При шлифовании съём стружки в большинстве случаев происходит при отрицательных передних углах. При этом толщина среза соизмерима с радиусом вершины зерна и может быть чрезвычайно мала, – составлять десятые доли микрометра. Подобное наблюдается при чистовых и отделочных видах обработки, например при тонком точении. В этих случаях геометрия вершины инструмента оказывает существенное влияние на процесс резания.

Математически описать поверхность абразивного зерна довольно сложно, поскольку его форма является случайной (стохастичной) и неопределенной. На рис. 4.1 показано, как выглядят зёрна **алмазного порошка** марки АСб. Зёрна представлены в основном несовершенными кристаллами, их обломками и сrostками. Данный алмазный порошок рекомендуются для изготовления инструментов на органических, металлических, керамических связках. Применяется при обработке твердого сплава, керамики, стекла и других хрупких материалов.

¹⁴ Работа рассчитана на 4 академических часа (2 учебных занятия).

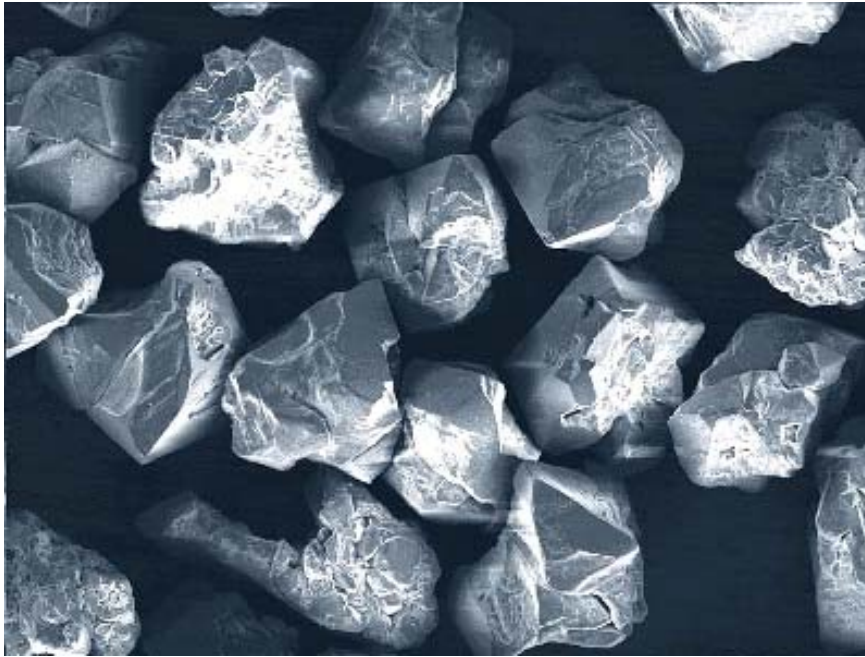


Рис. 4.1. Зёрна алмазного порошка марки AC6

Кубический нитрид бора (КНБ, эльбор или CBN) – второй по твердости (после алмаза) материал. По сравнению с традиционными абразивами, такими как карбид кремния и оксид алюминия (электрокорунд), КНБ обладает более высокими абразивными качествами, а по сравнению с алмазом не утрачивает своих свойств при высоких температурах и химическом воздействии. Это позволяет использовать его для обработки металлов и сплавов, где другие абразивные материалы использовать не рационально. Данный абразивный материал хорошо зарекомендовал себя при шлифовании закаленных сталей.

На рис. 4.2 показаны зёрна кубического нитрида бора марки CBN700, на рис. 4.3 – марки CBN760P, покрытые оболочкой никеля (фирма De Beers, ЮАР). Слой никеля, нанесенный на поверхности зёрен электролитическим способом, взаимодействуя со связкой, гарантирует надежное удержание зерен до полной потери абразивной способности во время работы инструмента.

Корундовые зерна почти не имеют ярко выраженных плоских граней (табл. 4.1). Характеризуются более низкой стойкостью, по сравнению с алмазом и кубическим нитридом бора. Применяются для шлифования углеродистых и легированных сталей. Нормальный электрокорунд применяется в основном для обдирочного шлифования, электрокорунд белый – для окончательного и скоростного шлифования; легированный (хромотитанистый) электрокорунд имеет производительность на 20...30% выше.

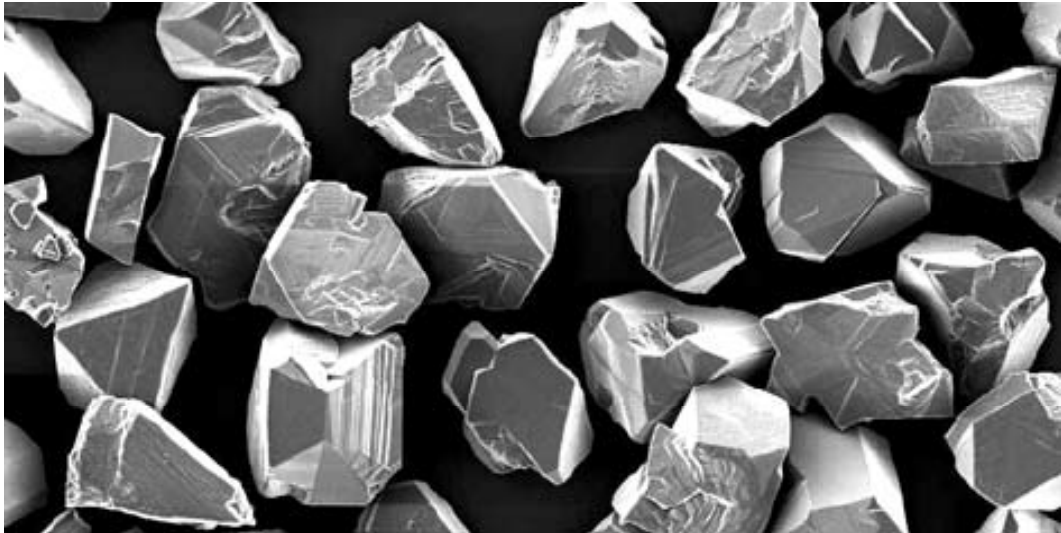


Рис. 4.2. Зёрна кубического нитрида бора марки CBN700

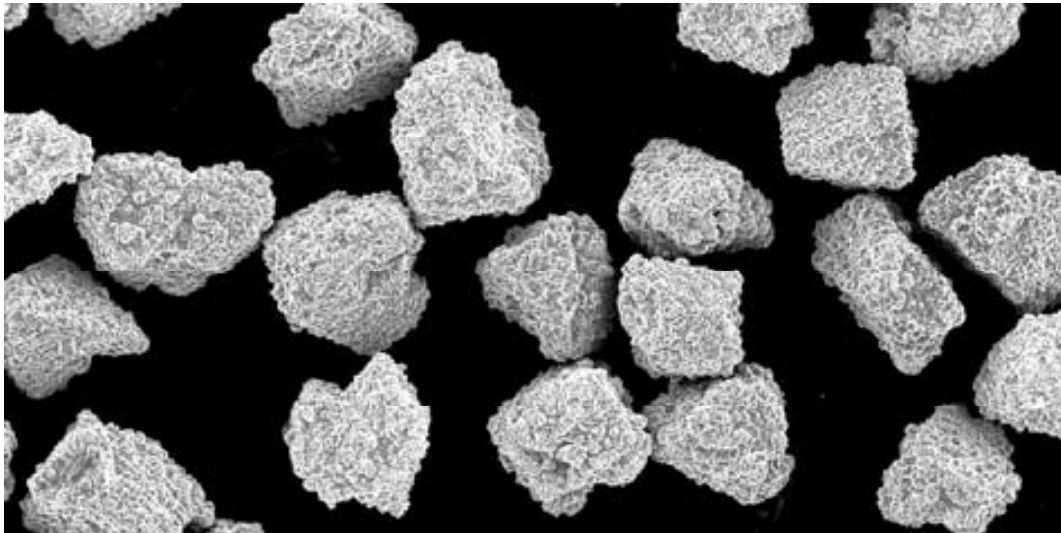





Рис. 4.3. Зёрна кубического нитрида бора марки CBN760P

Таблица 4.1

Форма зёрен электрокорунда

нормальный 13А, 14А	белый 24А, 25А	хромотитанистый 91А, 95А
		

Итак, абразивное зерно имеет сложную геометрическую форму. Однако в первом приближении оно может быть представлено в виде многогранника, выпуклого или угловатого, вершины которого имеют форму двуполостного гиперboloида [9]. В этом случае можно смоделировать процессы, происходящие в зоне фрикционного контакта абразивного зерна и обрабатываемой поверхности (рис. 4.4).

Проведенные исследования¹⁵ показали – для конкретных условий обработки существует минимальное (критическое) значение переднего угла на поверхности инструмента (абразивного зерна), при меньших значениях которого образование стружки становится невозможным. Множество точек на поверхности инструмента, для которых величина переднего угла больше критического значения образуют **переднюю поверхность**. Множество точек, для которых передний угол принимает критическое значение, образуют **линию режущей кромки**. Соответственно, множество точек, для которых величина переднего угла меньше критического значения, образуют **заднюю поверхность** инструмента.

Передняя поверхность принимает участие в образовании стружки и удалении её из зоны резания, задняя – в упругой и упругопластической деформации поверхности заготовки. Режущая кромка как бы разделяет материал заготовки на две части – стружку и обработанную поверхность. Вдоль линии режущей кромки отсутствуют касательные напряжения (силы трения), но нормальные напряжения достигают максимальных значений [1].

Если принять угол β заострения абразивного зерна равным телесному углу асимптотического конуса гиперboloида, а радиус ρ округления режущей кромки – радиусу кривизны вершины гиперboloида, то максимальное значение главного переднего угла γ (см. рис. 4.4) можно определить следующим образом:

$$\gamma = -\arctg \left(\frac{\rho + a \cdot b}{\sqrt{a(2\rho + a \cdot b)}} \right), \quad (4.1)$$

где: a – толщина среза; $b = \operatorname{tg}^2 \left(\frac{\beta}{2} \right)$.

¹⁵ Никифоров И.П. О некоторых пробелах в теории шлифования.// Металлообработка. – 2007. – №1. – С. 2–8.

Критическое значение переднего угла $\gamma_{кр}$ (см. рис.), при котором ещё возможно образование стружки зависит от коэффициента внешнего трения μ_1 между передней поверхностью зерна и стружкой и коэффициента усадки стружки ξ (для абразивной обработки $\xi = 1,1 \dots 1,8$):

$$\gamma_{кр} = 40,7 \xi^2 - 55,9 \mu_1^2 - 72,2 \xi \mu_1 - 122,5 \xi + 280,6 \mu_1. \quad (4.2)$$

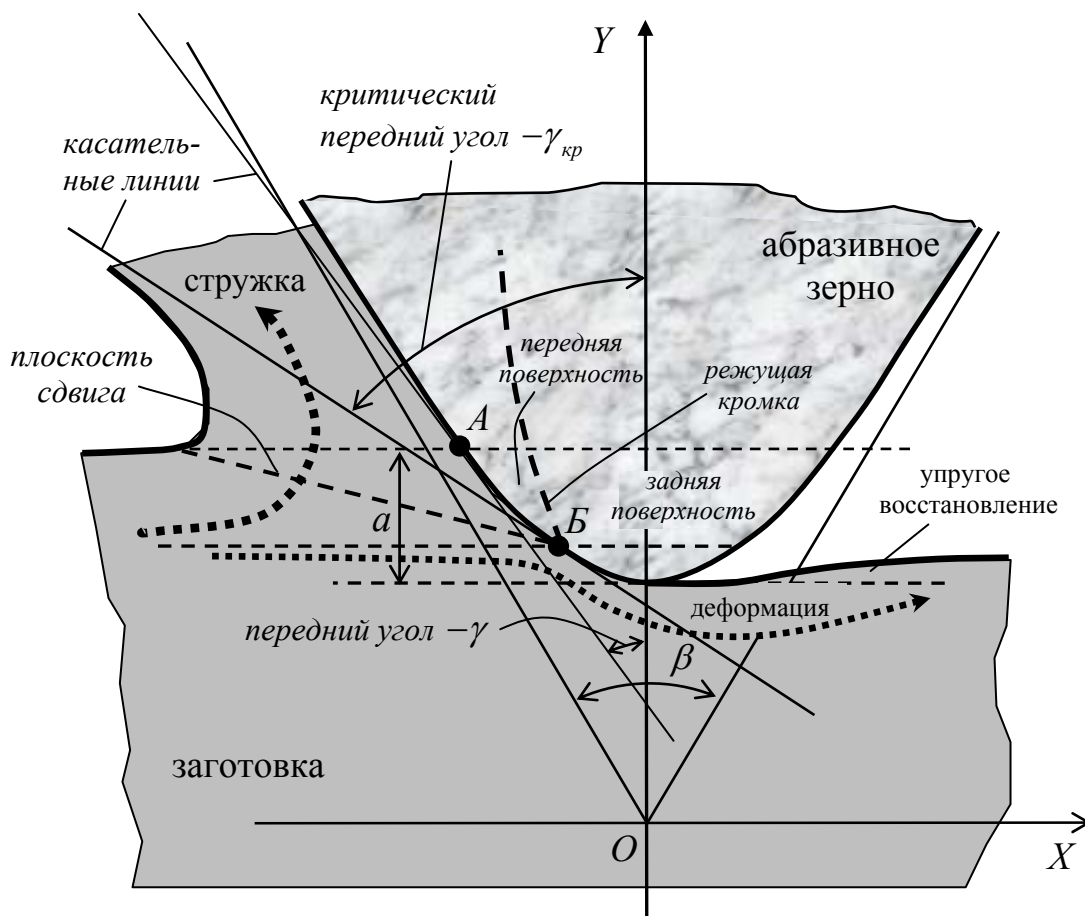


Рис. 4.4. Модель фрикционного взаимодействия абразивного зерна гиперболоидной формы с обрабатываемой поверхностью

Как видно из формулы (4.2), критическое значение переднего угла зависит как от механических свойств обрабатываемого материала, так и от физических свойств контактирующих поверхностей.

Если условие $\gamma > \gamma_{кр}$ выполняется (с учётом отрицательных значений величин), то стружка будет срезаться, если нет – то будет происходить только упругая или упругопластическая деформация, без отделения

металла от обрабатываемой поверхности. Величины $\gamma, \gamma_{кр}$ – углы между касательными плоскостями к поверхности абразивного зерна и основной плоскостью (на рис. 4.4. след основной плоскости совпадает с осью OY). В главной секущей плоскости касание происходит, соответственно, в двух точках – **А** и **Б**. Иными словами, если точка **А** располагается выше точки **Б**, то в этом случае имеются объективные условия для образования стружки.

На основе изложенного выше, автором разработаны специальные номограммы резания (Приложение 6), которые позволяют определить конечное явление в зоне фрикционного контакта зерна с обрабатываемой поверхностью. Приведём несколько примеров по их использованию.

ПРИМЕР 1

ДАНО: Геометрические параметры зерна – угол заострения $\beta = 100^\circ$; радиус округления режущей кромки $\rho = 3$ мкм. Толщина среза $a = 7$ мкм. Коэффициент усадки стружки обрабатываемого материала $\xi = 1,4$; коэффициент внешнего трения между передней поверхностью зерна и стружкой $\mu_1 = 0,2$.

ОПРЕДЕЛИТЬ: Будет ли происходить снятие стружки?

РЕШЕНИЕ:

1) По оси абсцисс графика **1** (рис. 4.5) находим отметку, соответствующую значению толщины среза $a = 7$, через которую проводим вертикаль до пересечения с наклонной линией **I**, соответствующей значению радиуса округления режущей кромки $\rho = 3$. Получим точку **А**.

2) Из точки **А** проводим горизонтальную линию до кривой **II** на графике **2**, соответствующей значению угла заострения $\beta = 100^\circ$. Получим точку **В**.

3) Из точки **В** проводим вертикальную линию сквозь линии графика **3**.

4) По оси ординат графика **3** находим отметку, соответствующую значению коэффициента внешнего трения $\mu_1 = 0,2$, через которую проводим горизонтальную линию до пересечения с ранее проведенной вертикальной линией. Получаем точку **С**.

5) Линия **III**, положение которой определяется коэффициентом усадки стружки, является границей между зонами «резание» и «деформация». Как видим, найденная точка **С** попадает в зону «резание». Из че-

го следует, что будут происходить не только процессы упругой и упруго-пластической деформации (они неизбежно присутствуют в процессе резания), но и будет сниматься стружка.

ОТВЕТ: Да. При заданных условиях стружка будет сниматься.

ПРИМЕР 2

ДАНО: Коэффициент внешнего трения $\mu_1 = 0,3$; коэффициент усадки стружки $\xi = 1,8$; толщина среза $a = 5$ мкм.

ОПРЕДЕЛИТЬ: Геометрические параметры абразивного зерна, способного снимать стружку.

В данном случае необходимо решить обратную задачу.

РЕШЕНИЕ:

1) По оси ординат графика **3** (рис. 4.6) находим отметку, соответствующую значению коэффициента внешнего трения $\mu_1 = 0,3$. Проводим горизонтальную линию до линии **III** – границы зон «резание» и «деформация», которая определяется коэффициентом усадки стружки $\xi = 1,8$. Получаем точку **С**.

2) Через точку **С** проводим вертикальную линию вверх, через линии графика **2**. Видим, что угол заострения абразивного зерна не должен быть более $\approx 95^\circ$.

3) Пусть угол заострения $\beta = 80^\circ$ (проведенная вертикальная линия пересекает линию **II** графика **2**, соответствующую значению угла заострения 80°). Находим точку пересечения **В**.

4) Из точки **В** проводим вправо горизонтальную линию через линии графика **1**.

5) По оси абсцисс графика **1** находим отметку, соответствующую значению толщины среза $a = 5$ мкм и проводим через неё вертикальную линию вверх.

6) Точка пересечения ранее проведенной горизонтальной линии и данной вертикальной линии расположена выше наклонной линии, соответствующей значению радиуса округления режущей кромки $\rho = 7$ мкм. Это означает, что радиус округления абразивного зерна должен быть не более 7 мкм.

ОТВЕТ: Для того чтобы происходил сьем стружки угол заострения абразивного зерна должен быть менее 95° . Если, к примеру, $\beta = 80^\circ$, то радиус округления режущей кромки должен быть $\rho \leq 7$ мкм.

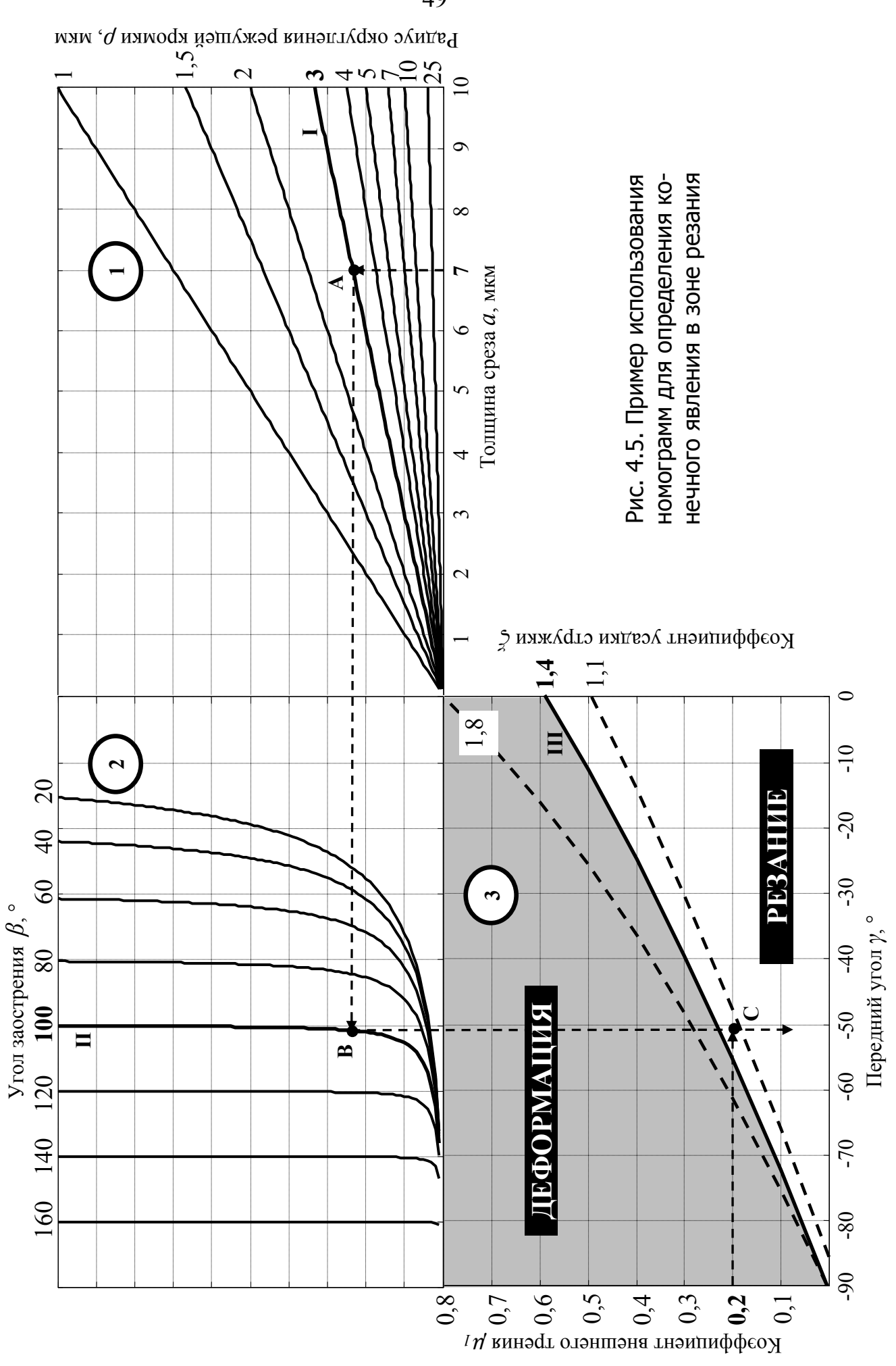


Рис. 4.5. Пример использования номограмм для определения начного явления в зоне резания

Радиус округления режущей кромки ρ , мкм

Толщина среза a , мкм

Коэффициент усадки стружки ξ

Угол заострения β , °

Передний угол γ , °

Коэффициент внешнего трения μ_1

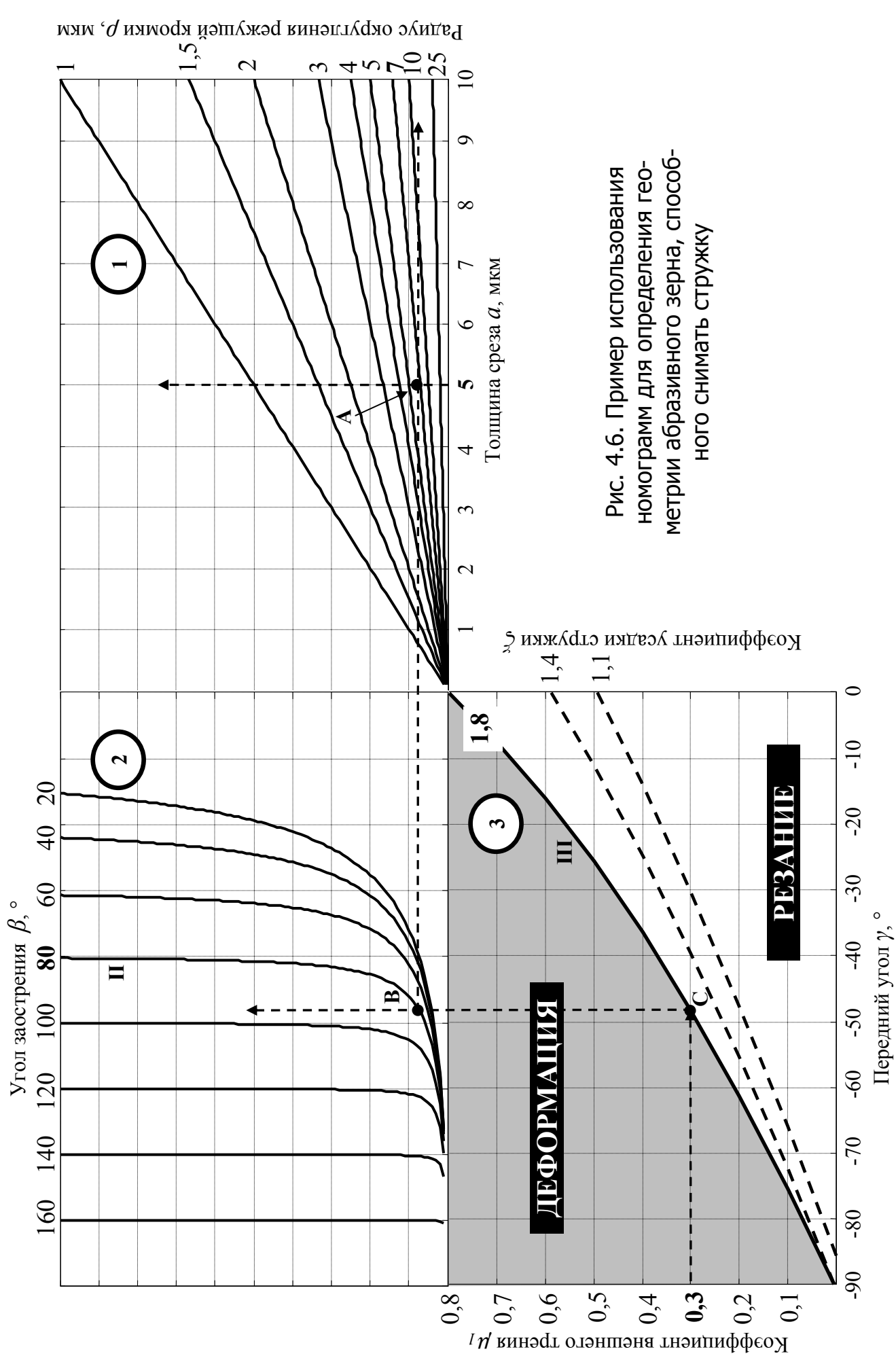


Рис. 4.6. Пример использования номограмм для определения геометрии абразивного зерна, способного снимать стружку

Радиус округления режущей кромки ρ , мкм

С помощью разработанных номограмм можно решать и другие практические задачи. Покажем это еще на одном примере.

ПРИМЕР 3

ИСХОДНЫЕ УСЛОВИЯ: Обработка ведется кругом марки 24A25CM1K (материал: 25А – электрокорунд белый; 25 – размер шлифзерна: 315...250 мкм; CM1 – степень твердости: среднемягкий, К – связка: керамическая). Значение поперечной подачи $S_{\text{non}} = 10$ мкм/дв. ход.

ТРЕБУЕТСЯ: Обосновать рациональную скорость резания данным инструментом.

При решении задачи исходим из того, что средний радиус вершин зёрен для кругов данной марки составляет $\rho = 12$ мкм; средний угол заострения составляет $\varepsilon \approx 100^\circ$ (по данным литературных источников). Для ориентировочной оценки значение толщины среза принимаем равной величине поперечной подачи за двойной ход: $a = 10$ мкм.

В дальнейшем методика пользования номограммами такая же, как в рассмотренном выше **ПРИМЕРЕ 1**. Опуская подробное изложение, в итоге находим максимальное значение коэффициента внешнего трения, при котором возможно образование стружки: $\mu_1 \approx 0,24$.

Далее исходим из того, что коэффициент трения зависит от скорости резания. В работе¹⁶ приведены такие зависимости для кругов марки 24А. Данная величина коэффициента трения наблюдается при взаимодействии корундовых кругов с закаленной сталью при скорости резания $v \approx 50$ м/с. Следовательно, с учётом исходных условий обработки, для того чтобы контакт зёрен круга в большинстве случаев заканчивался резанием (снятием стружки), необходимо использовать скорости резания более 50 м/с.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ:

- 1) Изучите геометрию абразивного зерна. Изобразите одно из абразивных зёрен (с увеличением), изображенных на рис. 4.1–4.3. Привяжи-

¹⁶ Филимонов Л.Н. Высокоскоростное шлифование. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1979. – 248 с.

те гиперболу к вершине зерна (см. рис. 4.4): покажите асимптоты, угол при вершине, передний угол. Измерьте угловые величины и обозначьте их на рисунке. Сделайте необходимые надписи.

- 2) Согласно варианту задания (Приложение 5, табл. 5.1), графическим (с использованием номограмм резания, Приложении 6) и аналитическим методами (формулы 4.1, 4.2), решите следующие задачи и оформите отчёт¹⁷:

ЗАДАЧА №1. ДАНО: $\beta, \rho, a, \xi, \mu_1$.

ОПРЕДЕЛИТЬ: Конечное явление в зоне контакта абразивного зерна гиперболоидной формы с обрабатываемой поверхностью.

Используя формулы (4.1) и (4.2) проверьте правильность решения аналитическим методом.

ЗАДАЧА №2. ДАНО: a, μ_1, ξ (остальные параметры неизвестны).

ОПРЕДЕЛИТЬ: Геометрические параметры абразивного зерна, способного снимать стружку.

Используя формулы (4.1) и (4.2) проверьте правильность полученных результатов аналитическим методом (должно быть явление – «резание»). Если $\gamma < \gamma_{кр}$ то следует подкорректировать выбранные геометрические параметры абразивного зерна, чтобы условие $\gamma > \gamma_{кр}$ выполнялось.

ЗАДАЧА №3. Здесь студент должен самостоятельно поставить перед собой некоторую задачу (не рассмотренную в данном Пособии) и описать методику ее решения. Иными словами необходимо показать иные возможности представленных номограмм резания.

Из таблицы вариантов взять некоторые данные как известные, и показать, какую информацию можно получить на их основе.

¹⁷ Отчёт по данной работе оформляется каждым студентом индивидуально. Форма отчёта приведена в конце работы и включает также заполненные номограммы резания (Приложение 6).

ИССЛЕДОВАНИЕ УСЛОВИЙ ДЛЯ ОБРАЗОВАНИЯ СТРУЖКИ НА ОСНОВЕ НОМОГРАММ РЕЗАНИЯ ПРИ ШЛИФОВАНИИ			Вариант №	
			Группа №	
Лабораторная работа	№4	Работу выполнили студенты	1.	
Дата выполнения			2.	
			3.	
			4.	
			
Исходные данные по варианту задания				
Геометрические параметры абразивного зерна		Толщина среза a , мм	Коэффициенты	
Угол заострения β , °	Радиус вершины ρ , мкм		усадки стружки, ξ	внешнего трения, μ_1
Геометрия абразивного зерна (рисунок) ¹⁸				

¹⁸ См. рис. 4.1–4.3 и 4.4

Задача №1. Определение конечного явления в зоне резания				
Исходные данные:				
$\varepsilon =$	$\beta =$	$a =$	$\xi =$	$\mu_1 =$
1. Графический метод				
Конечное явление в зоне контакта: ¹⁹				
2. Аналитический метод				
Наименование величины	Формулы и вычисления			
Передний угол	$b = tg^2\left(\frac{\beta}{2}\right) =$ $\gamma = -\arctg\left(\frac{\rho + a \cdot b}{\sqrt{a(2\rho + a \cdot b)}}\right) =$			
Критический передний угол	$\gamma_{кр} = 40,7 \xi^2 - 55,9 \mu_1^2 - 72,2 \xi \mu_1 - 122,5 \xi + 280,6 \mu_1 =$			
Сравнение величин γ и $\gamma_{кр}$				
Конечное явление в зоне контакта				
Сравнение результатов, полученных графическим и аналитическим методами				

¹⁹ Резание или деформация

Задача №2. Определение геометрии абразивного зерна, способного снимать стружку			
Исходные данные →	$a =$	$\xi =$	$\mu_1 =$
1. Графический метод			
$\varepsilon =$	$\beta =$	← Найденные геометрические параметры	
2. Аналитический метод			
Наименование величины	Формулы и вычисления		
Передний угол	$b = tg^2\left(\frac{\beta}{2}\right) =$ $\gamma = -\arctg\left(\frac{\rho + a \cdot b}{\sqrt{a(2\rho + a \cdot b)}}\right) =$		
Критический передний угол	$\gamma_{кр} = 40,7 \xi^2 - 55,9 \mu_1^2 - 72,2 \xi \mu_1 - 122,5 \xi + 280,6 \mu_1 =$		
Сравнение величин γ и $\gamma_{кр}$			
Конечное явление в зоне контакта			
Вывод о правильности определения геометрии абразивного зерна			

Задача №3

Дано:

Определено:

Методика решения задачи графическим методом (описание):

Примечание:

К данному отчёту прилагаются три номограммы, отражающие геометрические методы решения поставленных задач (Приложение 6).

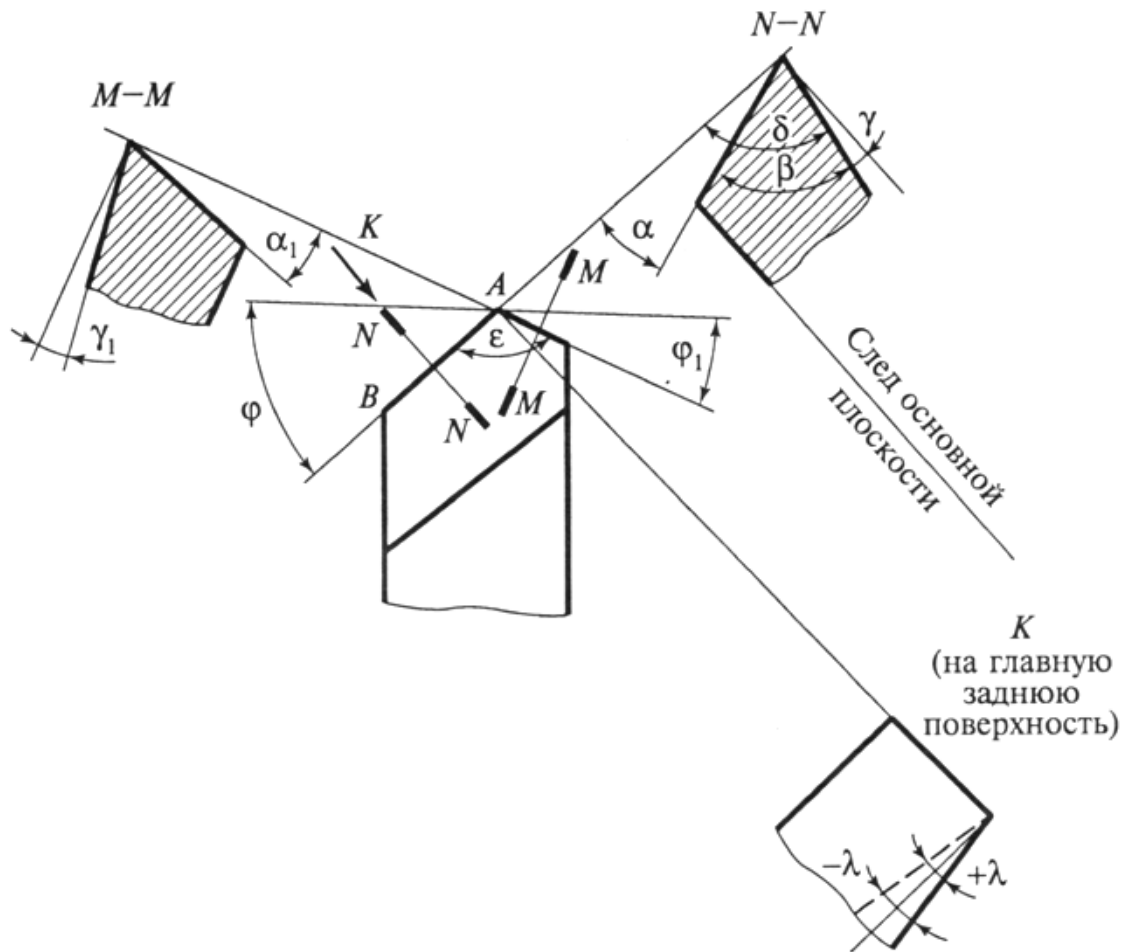
КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ:

1. Расскажите о физико-механических свойствах и области применения абразивных материалов.
2. Охарактеризуйте геометрию зёрен различных абразивных материалов.
3. Дайте понятие передней и задней поверхности инструмента.
4. Назовите случаи, когда глубина резания соизмерима с радиусом вершины инструмента.
5. Используя рис. 4.1 расскажите о процессах, происходящих в зоне фрикционного взаимодействия абразивного зерна с обрабатываемой поверхностью.
6. Что такое «критический передний угол» на поверхности инструмента? Какие факторы оказывают на него влияние.
7. Какими явлениями может заканчиваться фрикционный контакт инструмента с обрабатываемой поверхностью?
8. Расскажите о правилах пользования номограммами резания для решения задачи №1.
9. Расскажите о правилах пользования номограммами резания для решения задачи №2.
10. Какие вам известны пути обеспечения резания (повышения режущей способности инструмента)?

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Геометрия токарного резца (статическая система координат)



Плоскость	Обозначение параметра	Наименование параметра
Основная	φ	главный угол в плане
	φ_1	вспомогательный угол в плане
	ε	угол при вершине
Резания	BA	главная режущая кромка
	λ	угол наклона главной режущей кромки
N – N Главная секущая	γ	главный передний угол
	α	главный задний угол
	β	угол заострения
	δ	угол резания
M–M вспомога- тельная секущая	γ_1	вспомогательный передний угол
	α_1	вспомогательный задний угол

**Квантили G_{α, m_1, m_2} распределения Кохрена для уровня значимости $\alpha = 0,05$
в зависимости от числа степеней свободы m_1 и m_2**

m_2	m_1													∞
	1	2	3	4	5	6	8	10	16	36	∞			
2	0,9985	0,9750	0,9392	0,9057	0,8772	0,8534	0,8159	0,7880	0,7341	0,6602	0,5000			
3	0,9669	0,8709	0,7977	0,7454	0,7071	0,6771	0,6333	0,6025	0,5466	0,4748	0,3333			
4	0,9065	0,7679	0,6841	0,6287	0,5895	0,5598	0,5175	0,4884	0,4366	0,3720	0,2500			
5	0,8412	0,6838	0,5981	0,5441	0,5065	0,4783	0,4387	0,4118	0,3645	0,3066	0,2000			
6	0,7808	0,6161	0,5321	0,4803	0,4447	0,4184	0,3817	0,3568	0,3135	0,2612	0,1667			
7	0,7271	0,5612	0,4800	0,4307	0,3974	0,3726	0,3384	0,3154	0,2756	0,2278	0,1429			
8	0,6798	0,5157	0,4377	0,3910	0,3595	0,3362	0,3043	0,2829	0,2462	0,2022	0,1250			
9	0,6385	0,4775	0,4027	0,3584	0,3286	0,3067	0,2768	0,2568	0,2226	0,1820	0,1111			
10	0,6020	0,4450	0,3733	0,3311	0,3029	0,2823	0,2541	0,2353	0,2032	0,1655	0,1000			
12	0,5410	0,3924	0,3264	0,2880	0,2624	0,2439	0,2187	0,2020	0,1737	0,1403	0,0833			
15	0,4709	0,3346	0,2758	0,2419	0,2195	0,2034	0,1815	0,1671	0,1429	0,1144	0,0667			
20	0,3894	0,2705	0,2205	0,1921	0,1735	0,1602	0,1422	0,1303	0,1108	0,0879	0,0500			
24	0,3434	0,2354	0,1907	0,1656	0,1493	0,1374	0,1216	0,1113	0,0942	0,0743	0,0417			
30	0,2929	0,1980	0,1593	0,1377	0,1237	0,1137	0,1001	0,0921	0,0771	0,0604	0,0333			
40	0,2370	0,1576	0,1259	0,1082	0,0968	0,0887	0,0780	0,0713	0,0595	0,0462	0,0250			
60	0,1737	0,1131	0,0895	0,0765	0,0682	0,0623	0,0552	0,0497	0,0411	0,0316	0,0167			
120	0,0998	0,0632	0,0495	0,0419	0,0371	0,0337	0,0292	0,0266	0,0218	0,0165	0,0083			
∞	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			

Таблица 2.2

**Двухсторонние пределы $t_{\alpha m_2}$ распределения Стьюдента
(t - распределения) в зависимости от уровня значимости α
и числа степеней свободы m_3**

Число степеней свободы m_3	Уровни значимости						
	0,2	0,1	0,05	0,02	0,01	0,005	0,001
1	3,08	6,31	12,71	31,82	63,66	127,32	636,32
2	1,89	2,92	4,30	6,97	9,93	14,09	31,60
3	1,64	2,35	3,18	4,54	5,84	7,45	12,94
4	1,53	2,13	2,78	3,75	4,60	5,60	8,61
5	1,48	2,02	2,57	3,37	4,03	4,77	6,86
6	1,44	1,94	2,45	3,14	3,71	4,32	5,96
7	1,42	1,90	2,37	3,00	3,50	4,03	5,41
8	1,40	1,86	2,31	2,90	3,36	3,83	5,04
9	1,38	1,83	2,26	2,82	3,25	3,69	4,78
10	1,37	1,81	2,23	2,76	3,17	3,58	4,59
11	1,36	1,80	2,20	2,72	3,11	3,50	4,44
12	1,36	1,78	2,18	2,68	3,06	3,43	4,32
13	1,35	1,77	2,16	2,65	3,01	3,37	4,22
14	1,34	1,76	2,15	2,62	2,98	3,33	4,14
15	1,34	1,75	2,13	2,60	2,95	3,29	4,07
16	1,34	1,75	2,12	2,58	2,92	3,25	4,02
17	1,33	1,74	2,11	2,57	2,90	3,22	3,97
18	1,33	1,73	2,10	2,55	2,88	3,20	3,92
19	1,33	1,73	2,09	2,54	2,86	3,17	3,88
20	1,33	1,73	2,09	2,53	2,85	3,15	3,85
22	1,32	1,72	2,07	2,51	2,82	3,12	3,79
24	1,32	1,71	2,06	2,49	2,80	3,09	3,75
26	1,32	1,71	2,06	2,48	2,78	3,07	3,71
28	1,31	1,70	2,05	2,47	2,76	3,05	3,67
30	1,31	1,70	2,04	2,46	2,75	3,03	3,65
40	1,30	1,68	2,02	2,42	2,70	2,97	3,55
60	1,30	1,67	2,00	2,39	2,66	2,91	3,46
120	1,29	1,66	1,98	2,36	2,62	2,86	3,37
∞	1,28	1,64	1,96	2,33	2,58	2,81	3,29

Квантили F_{α, m_4, m_5} распределения Фишера (F-распределения)

для уровня значимости $\alpha = 0,05$ в зависимости от числа степеней свободы m_4 и m_5

m_5	m_4											
	1	2	3	4	5	6	8	12	16	24	50	∞
1	161,4	199,5	215,7	224,6	230,2	234,0	238,9	243,9	246,5	249,0	251,8	254,3
2	19,51	19,00	19,60	19,24	19,30	19,33	19,37	19,41	19,43	19,45	19,47	19,50
3	10,13	9,55	9,28	9,12	9,01	8,94	8,84	8,74	8,69	8,64	8,58	8,53
4	7,71	6,94	6,59	6,39	6,26	6,16	6,04	5,91	5,84	5,77	5,70	5,63
5	6,61	5,79	5,41	5,19	5,05	4,95	4,82	4,68	4,60	4,53	4,44	4,36
6	5,99	5,14	4,76	4,53	4,39	4,28	4,15	4,00	3,92	3,84	3,75	3,67
7	5,59	4,74	4,35	4,12	3,97	3,87	3,73	3,57	3,49	3,41	3,32	3,28
8	5,32	4,46	4,07	3,84	3,69	3,58	3,44	3,28	3,20	3,12	3,03	2,93
9	5,12	4,26	3,86	3,63	3,48	3,37	3,23	3,07	2,98	2,90	2,80	2,71
10	4,96	4,10	3,71	3,48	3,33	3,22	3,07	2,91	2,82	2,74	2,64	2,54
11	4,84	3,98	3,59	3,36	3,20	3,09	2,95	2,79	2,70	2,61	2,50	2,40
12	4,75	3,88	3,49	3,26	3,11	3,00	2,85	2,69	2,60	2,50	2,40	2,30
13	4,67	3,80	3,41	3,18	3,02	2,92	2,77	2,60	2,51	2,42	2,32	2,21
14	4,60	3,74	3,34	3,11	2,96	2,85	2,70	2,53	2,44	2,35	2,24	2,18
15	4,54	3,68	3,29	3,06	2,90	2,79	2,64	2,48	2,39	2,29	2,18	2,07
16	4,49	3,63	3,24	3,01	2,85	2,74	2,59	2,42	2,33	2,24	2,13	2,01
20	4,35	3,49	3,10	2,87	2,71	2,60	2,45	2,28	2,18	2,08	1,96	1,84
30	4,17	3,32	2,92	2,69	2,53	2,42	2,27	2,09	1,99	1,89	1,76	1,62
40	4,08	3,23	2,84	2,61	2,45	2,34	2,18	2,00	1,90	1,79	1,66	1,51
50	4,03	3,18	2,79	2,56	2,40	2,29	2,13	1,95	1,85	1,74	1,60	1,44
100	3,94	3,09	2,60	2,46	2,30	2,19	2,03	1,85	1,75	1,63	1,48	1,28
∞	3,84	2,99	2,60	2,37	2,21	2,09	1,94	1,75	1,64	1,52	1,35	1,00

Варианты заданий к лабораторной работе №2

Правила пользования таблицами:

1. По таблице 3.1. Согласно варианту задания определите область исследования факторов, выбрав минимальные и максимальные значения режимов резания.
2. Из комплексной таблицы 3.2 по числу десятков и числу единиц в номере варианта выберите таблицу размером 8x3 показаний тензометрического датчика.

Например. Для варианта **26** исходные данные будут следующими (в таблице 2 эти данные выделены):

№ опыта	Показания тензодатчика		
	Y_1''	Y_2''	Y_3''
1	0,244	0,357	0,387
2	0,176	0,264	0,234
3	1,824	1,182	1,233
4	1,317	1,263	0,973
5	2,260	1,455	1,396
6	1,461	2,140	2,018
7	7,815	9,072	9,149
8	7,548	8,757	8,387

3. Матрица планирования эксперимента для выделенной таблицы исходных данных соответствует таблице 2.2.

Таблица 3.1

Область исследования факторов

Номера вариантов	Скорость резания v , м/мин		Подача S , мм/об		Глубина резания t , мм	
	v_{\min}	v_{\max}	S_{\min}	S_{\max}	t_{\min}	t_{\max}
с 00 по 09	46,2	163,2	0,14	0,80	0,5	1,3
с 10 по 19	48,6	152,1	0,09	0,42	0,3	1,2
с 20 по 29	56,6	120,3	0,11	0,63	0,3	3,0
с 30 по 39	34,9	182,3	0,10	0,37	0,4	1,7
с 40 по 49	28,2	196,6	0,14	0,22	0,3	2,7

Таблица 3.2

Показания тензометрического датчика

№ опы та	Число десятков	Число единиц в номере варианта											
		0			3			6			9		
		1		4		7		8					
		2		5		8							
1	0	0,450	0,398	0,400	0,517	0,743	0,573	0,542	0,441	0,369	0,515	0,619	0,549
2		0,404	0,508	0,490	0,437	0,386	0,429	0,396	0,273	0,361	0,276	0,386	0,334
3		2,918	2,039	2,449	2,744	2,461	2,128	2,582	2,867	2,560	2,644	2,731	2,732
4		1,942	2,269	1,854	1,508	2,088	1,429	1,283	1,414	1,269	1,443	2,329	1,905
5		1,435	1,385	1,261	1,450	1,143	0,878	1,361	1,451	1,067	1,026	0,868	1,045
6		0,853	1,389	0,976	0,999	0,728	0,918	0,781	0,714	0,925	1,016	0,810	0,773
7		7,606	4,673	5,190	4,582	6,092	4,331	6,841	4,388	5,282	6,110	5,819	5,746
8		6,292	3,689	4,596	3,480	3,637	4,868	4,187	4,356	3,624	4,844	4,379	3,146
1	1	0,261	0,286	0,187	0,195	0,226	0,194	0,169	0,228	0,264	0,151	0,241	0,179
2		0,163	0,168	0,152	0,168	0,173	0,189	0,252	0,160	0,132	0,122	0,192	0,179
3		0,597	0,744	0,905	0,738	0,992	0,965	0,868	0,922	0,950	0,843	1,040	0,899
4		0,735	0,872	0,600	0,587	0,646	0,578	0,818	0,747	0,960	0,607	0,535	0,671
5		0,783	0,649	0,559	0,925	0,635	0,768	0,713	0,624	0,607	0,690	0,614	0,721
6		0,781	0,652	0,587	0,657	0,597	0,562	0,558	0,696	0,617	0,521	0,385	0,667
7		2,973	2,070	2,276	2,819	3,173	2,459	3,152	2,628	3,108	3,093	2,801	3,546
8		1,794	1,954	2,607	2,287	2,609	2,557	2,089	2,448	2,530	3,066	2,286	2,287
1	2	0,336	0,266	0,201	0,194	0,270	0,185	0,244	0,357	0,387	0,243	0,264	0,251
2		0,172	0,182	0,293	0,239	0,272	0,235	0,176	0,264	0,234	0,182	0,157	0,253
3		1,467	1,294	1,593	1,435	1,269	1,671	1,824	1,182	1,233	1,532	1,109	1,258
4		1,639	1,260	1,169	1,033	1,018	1,352	1,317	1,263	0,973	1,335	0,738	1,121
5		1,647	2,391	1,670	1,945	2,155	1,671	2,260	1,455	1,396	2,098	2,082	1,932
6		2,051	1,707	1,650	1,299	1,839	2,268	1,461	2,140	2,018	1,795	1,819	1,538
7		10,31	10,61	9,094	9,646	6,718	9,198	7,815	9,072	9,149	13,66	11,05	9,403
8		5,454	8,699	8,415	9,373	7,563	11,02	7,548	8,757	8,387	6,752	8,628	9,338
1	3	0,249	0,425	0,333	0,304	0,403	0,362	0,363	0,286	0,307	0,468	0,348	0,295
2		0,320	0,239	0,222	0,233	0,262	0,211	0,316	0,201	0,193	0,263	0,197	0,168
3		1,224	0,802	1,037	0,761	0,871	1,388	1,104	1,095	1,025	0,710	1,049	1,013
4		0,720	1,095	0,903	0,885	0,777	0,788	0,853	0,646	0,843	0,871	1,005	0,521
5		1,438	1,458	1,018	1,376	1,074	1,031	0,902	1,227	1,364	1,161	1,327	1,137
6		0,794	1,320	0,958	1,025	0,977	1,012	1,248	0,902	0,967	0,850	0,764	0,695
7		3,253	3,710	3,369	3,904	3,573	3,713	5,094	3,215	4,242	2,711	3,991	3,777
8		2,202	2,646	4,103	2,320	2,503	2,295	2,138	3,002	2,359	2,845	2,135	2,938
1	4	0,350	0,431	0,358	0,379	0,429	0,313	0,292	0,378	0,262	0,260	0,356	0,442
2		0,208	0,323	0,315	0,326	0,269	0,164	0,198	0,269	0,299	0,210	0,242	0,287
3		0,428	0,501	0,607	0,582	0,618	0,487	0,381	0,570	0,452	0,613	0,425	0,408
4		0,249	0,345	0,358	0,360	0,330	0,282	0,404	0,245	0,381	0,394	0,413	0,440
5		3,029	2,414	2,551	2,666	1,913	2,615	2,649	2,904	2,301	1,743	2,620	2,715
6		1,719	2,370	1,523	1,704	1,638	2,151	2,356	1,372	1,582	2,307	1,445	1,373
7		4,712	3,880	2,311	3,759	3,134	4,543	4,094	3,554	2,535	3,593	3,752	4,603
8		3,935	3,039	3,597	2,973	2,941	2,173	2,877	3,725	2,704	2,653	3,357	2,598

Допустимый износ h_3 резцов из быстрорежущей сталей, мм

Тип резца	Обрабатываемый материал		
	Сталь, стальное литье, чугуны ковкий		Серый чугун
	с охлаждением	без охлаждения	
Токарный проходной, подрезной или расточной	1,5...2,0	0,3...0,5	2,0...3,0
Токарный прорезной и отрезной	0,8...1,0	0,3...0,5	1,5...2,0
Строгальный проходной	–	1,5...2,0	3,0...4,0
Строгальный поперечный подрезной	–	0,8...1,0	1,5...2,0

Таблица 4.2

Допустимый износ h_3 твёрдосплавных резцов, мм

Тип резца	Характер обработки	Обрабатываемый материал			
		Сталь, стальное литье, цветные металлы, легированные сплавы		Чугун	
		Марка материала инструмента	h_3	Марка материала инструмента	h_3
Токарный проходной, подрезной или расточной	Черновая	T15K6	1,5...2,0	BK6	0,8...1,0
		T5K10	0,8...1,0	BK8	1,4...1,7
		BK8	0,8...1,0	BK4	0,6...0,7
	Чистовая	T15K6	0,4...0,6	BK6	0,6...0,7
T5K10					
BK8					
Токарный отрезной и подрезной	–	T5K10	0,8...1,0	BK6	0,8...1,0
		T15K6		BK8	
Токарный резьбовой	Черновая	T5K10	0,8	BK6	1,0
		T15K6		BK8	
Токарный резьбовой	Чистовая	T5K10	0,8	BK6	1,0
		T15K6		BK8	
Строгальный проходной и подрезной	–	–	–	BK6	1,0...1,2
				BK8	1,5...2,0

Допустимый износ h_3 зуба фрезы, мм

Тип фрезы	Обрабатываемый материал	Материал режущей части	Характер обработки	h_3
Торцовые	Сталь	Твёрдый сплав	Черновая	1,0...1,2
			Чистовая	0,8...1,0
		Эльбор, гексанит	Черновая и чистовая	0,4...0,5
		Композит	Чистовая	0,3...0,4
	Получистовая		0,8	
	Чугун	Твёрдый сплав	Черновая и чистовая	1,5...2,0
Дисковые	Сталь		Твёрдый сплав	Черновая
		Чистовая		0,8...1,0
		Быстрорежущая сталь	Черновая	0,4...0,6
	Чистовая		0,15...0,25	
	Чугун		Черновая	0,4...0,6
		Чистовая	0,15...0,25	
Цилиндрические	Сталь	Твёрдый сплав	Черновая и чистовая	0,5...0,6
		Быстрорежущая сталь	Черновая	0,4...0,6
			Чистовая	0,15...0,25
	Чугун	Твёрдый сплав	Черновая и чистовая	0,7...0,8
		Быстрорежущая сталь	Черновая	0,5...0,8
			Чистовая	0,2...0,3
Концевые	Сталь	Твёрдый сплав	Черновая	0,3...0,5
			Чистовая	0,2...0,3
		Быстрорежущая сталь	Черновая	0,3...0,5
			Чистовая	0,1...0,2
	Чугун	Твёрдый сплав	Черновая	0,7...0,8
			Чистовая	0,3...0,5
		Быстрорежущая сталь	Черновая	0,5...0,8
			Чистовая	0,2...0,3
Прорезные и отрезные	Сталь	Быстрорежущая сталь	Черновая	0,3...0,4
Фасонные незатылованные			Чистовая	0,2...0,3
Фасонные и пазовые затылованные			Черновая	0,3...0,4
			Чистовая	0,2

Таблица 5.4

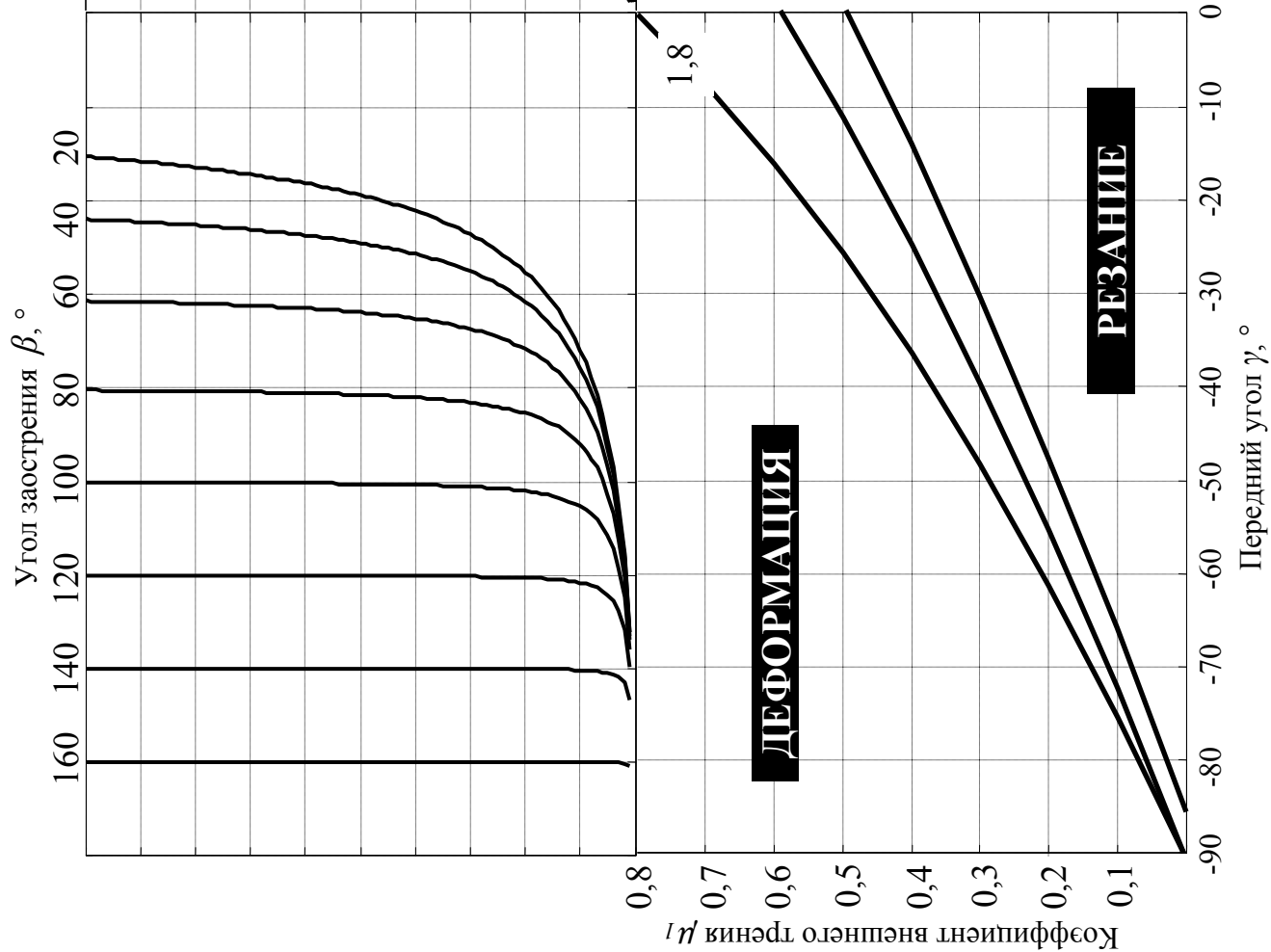
Возможные проблемы при точении резцами с твердосплавными пластинами и меры по их устранению

Проблемы	Уменьшить скорость резания	Увеличить скорость резания	Уменьшить подачу	Увеличить подачу	Уменьшить глубину резания	Увеличить глубину резания	Выбрать более износостойкий сплав	Выбрать более прочную марку сплава	Выбрать меньший радиус при вершине	Выбрать пластину с оптимальной геометрией
Износ по задней поверхности	X			X			X			X
Образование лунки на передней поверхности	X			X			X			X
Пластическая деформация	X			X			X			X
Наростообразование		X		X				X		X
Мелкие выкрашивания режущей кромки		X		X				X		X
Поломка пластины			X	X						
Длинная витая стружка			X	X					X	X
Вибрации	X		X	X						X

Таблица 5.1

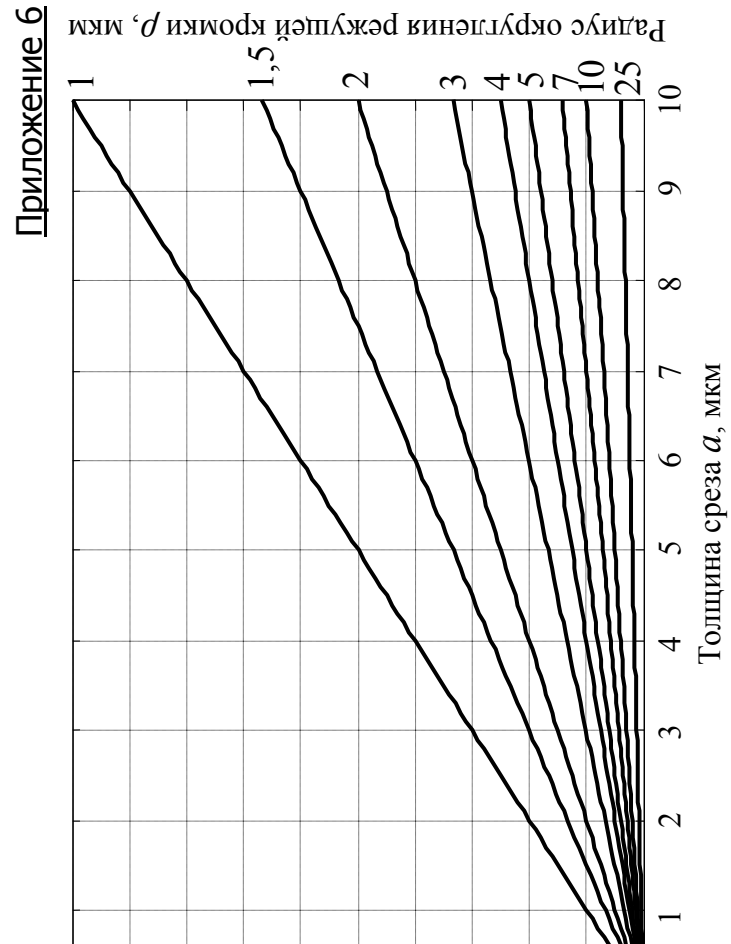
Варианты заданий к лабораторной работе №4

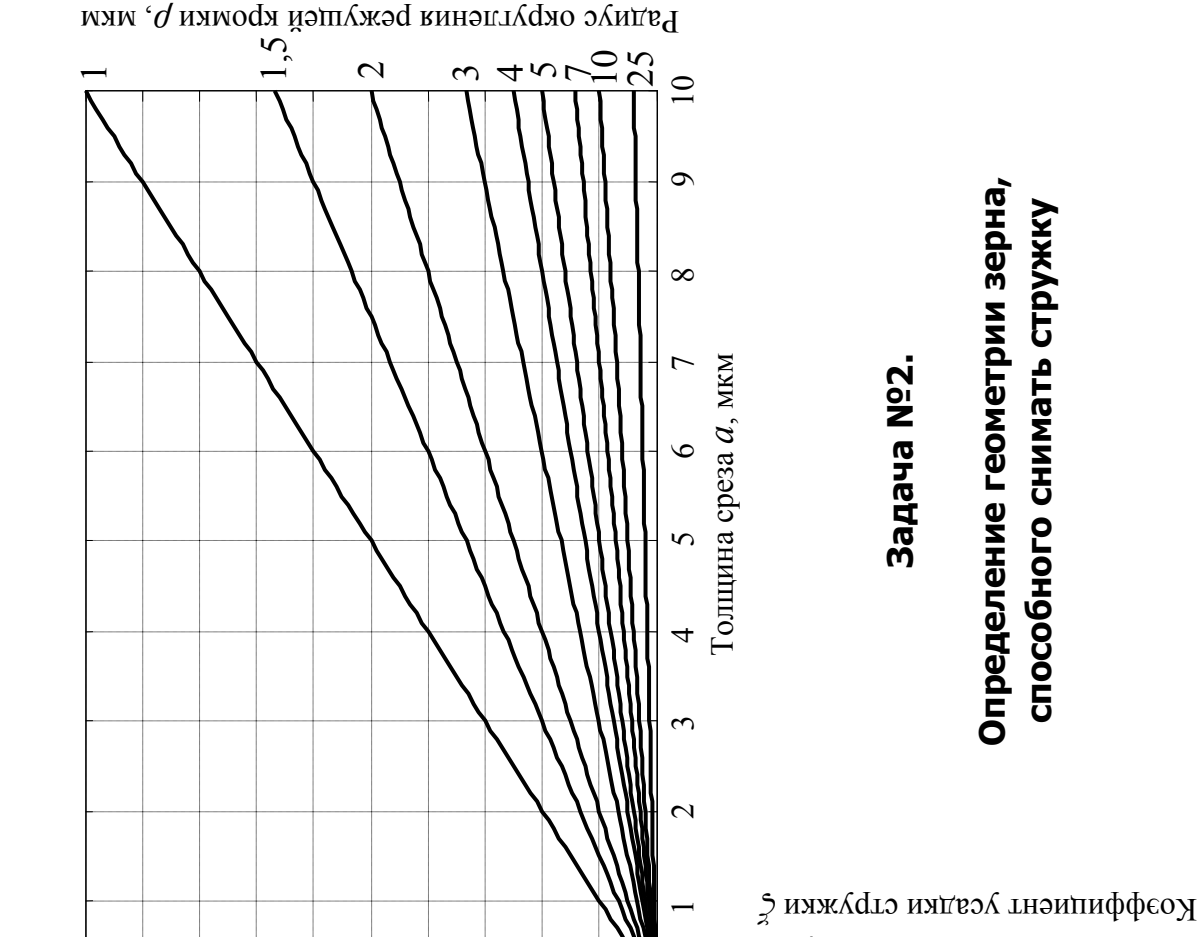
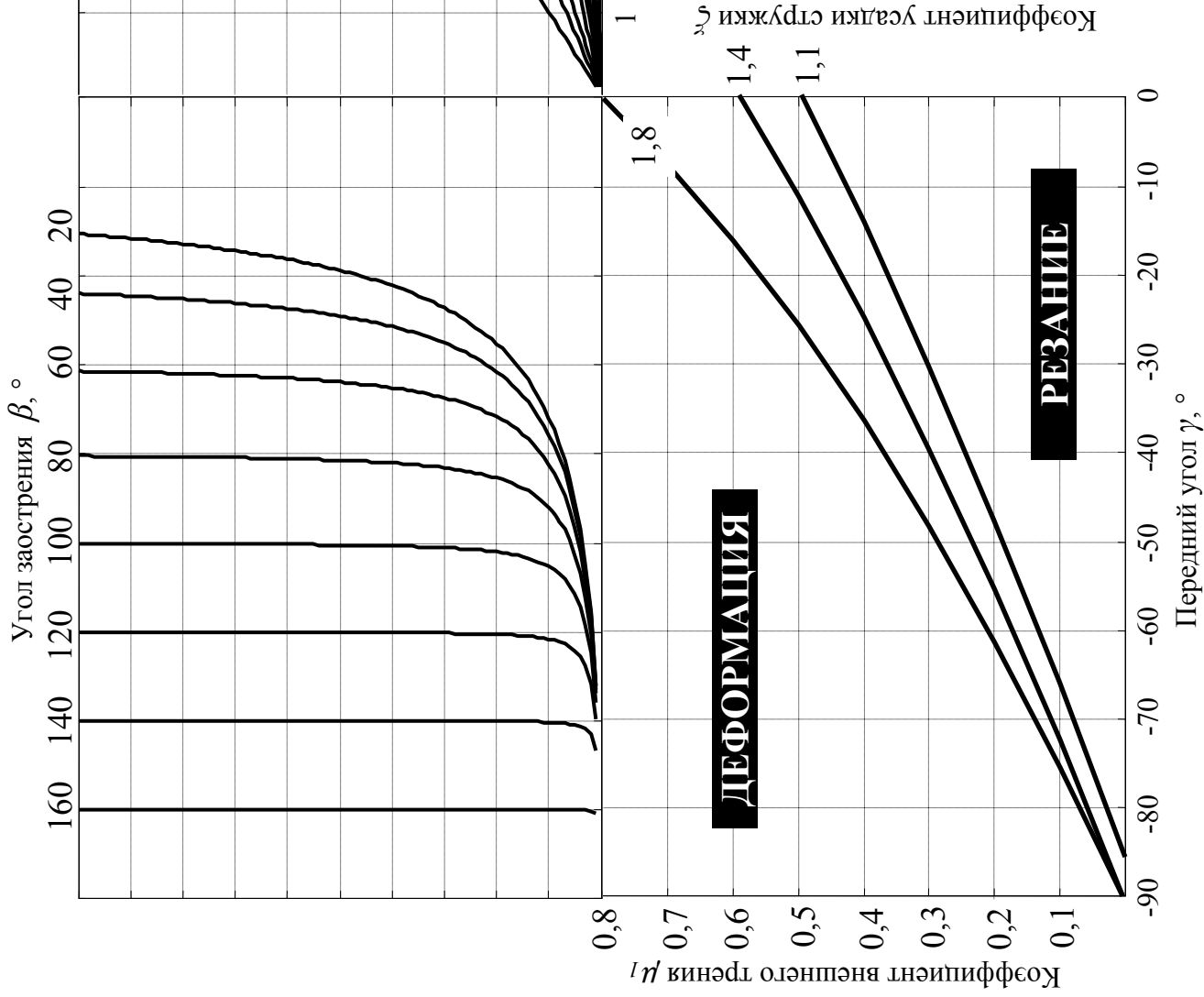
Но- мер вари- анта	Геометрические парамет- ры абразивного зерна		Толщина среза a , мкм	Коэффициенты	
	Угол заост- рения β , °	Радиус вершины ρ , мкм		усадки стружки, ξ	внешнего трения, μ_1
1	100	2	2	1,8	0,3
2	80	7	8	1,1	0,4
3	120	1	4	1,8	0,1
4	100	5	10	1,4	0,4
5	60	4	6	1,1	0,25
6	40	1	9	1,4	0,5
7	60	1,5	2	1,4	0,1
8	80	4	6	1,1	0,4
9	100	4	7	1,8	0,3
10	120	7	5	1,8	0,2
11	100	10	10	1,4	0,15
12	80	7	3	1,1	0,3
13	60	1	4	1,1	0,05
14	100	1	6	1,8	0,2
15	80	2	1	1,1	0,15
16	120	4	8	1,4	0,4
17	120	1,5	9	1,1	0,2
18	60	10	7	1,8	0,4
19	40	7	4	1,4	0,3
20	80	4	2	1,4	0,5
21	40	1	3	1,1	0,25
22	80	2	3	1,4	0,2
23	100	4	5	1,8	0,4
24	120	4	2	1,1	0,2
25	80	1	4	1,1	0,2
26	140	3	6	1,1	0,15
27	100	7	1	1,8	0,6
28	100	8	8	1,8	0,15
29	80	5	10	1,4	0,2
30	100	2	6	1,1	0,25



Задача №1.

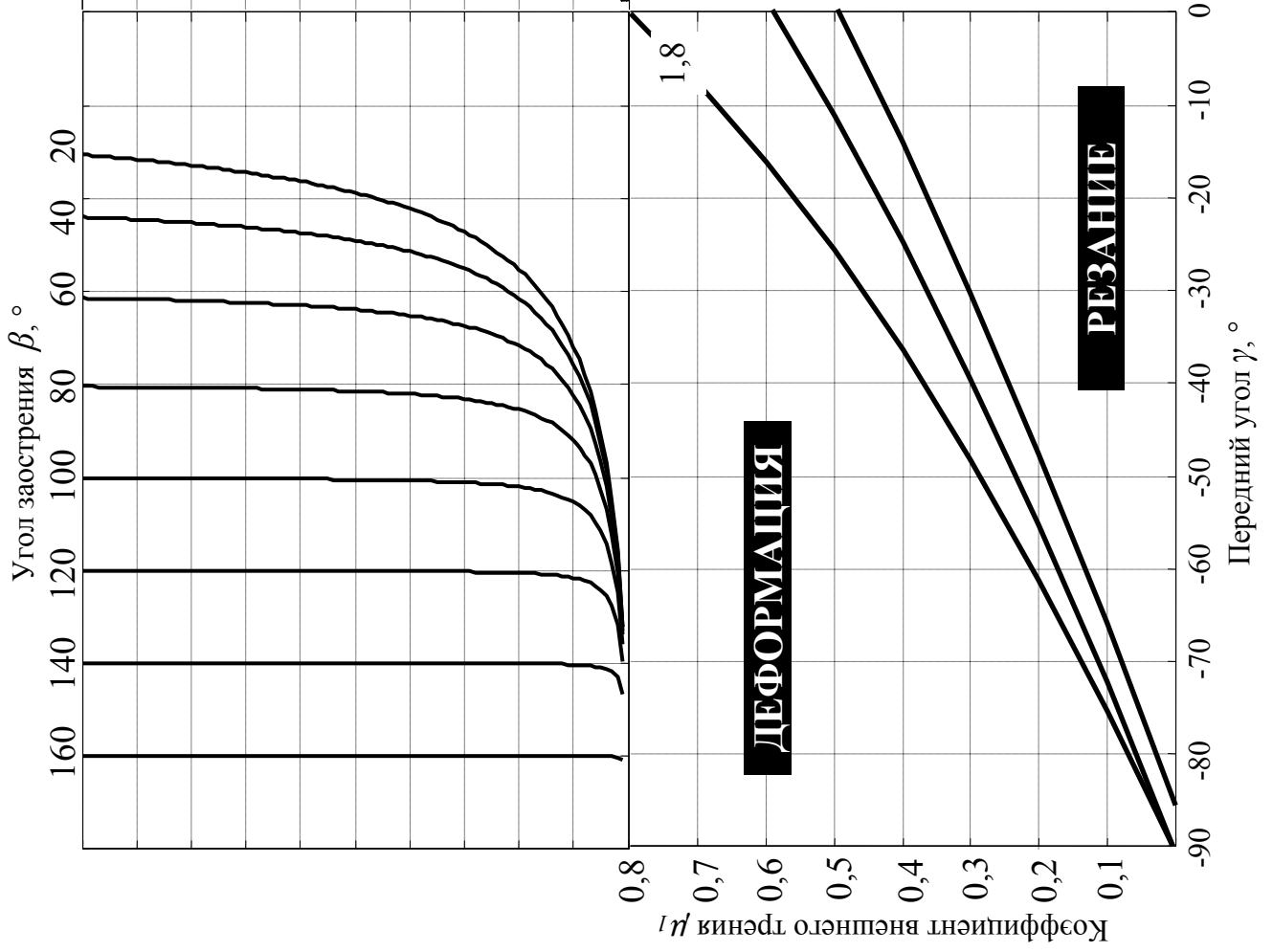
**Определение конечного явления
в зоне резания**



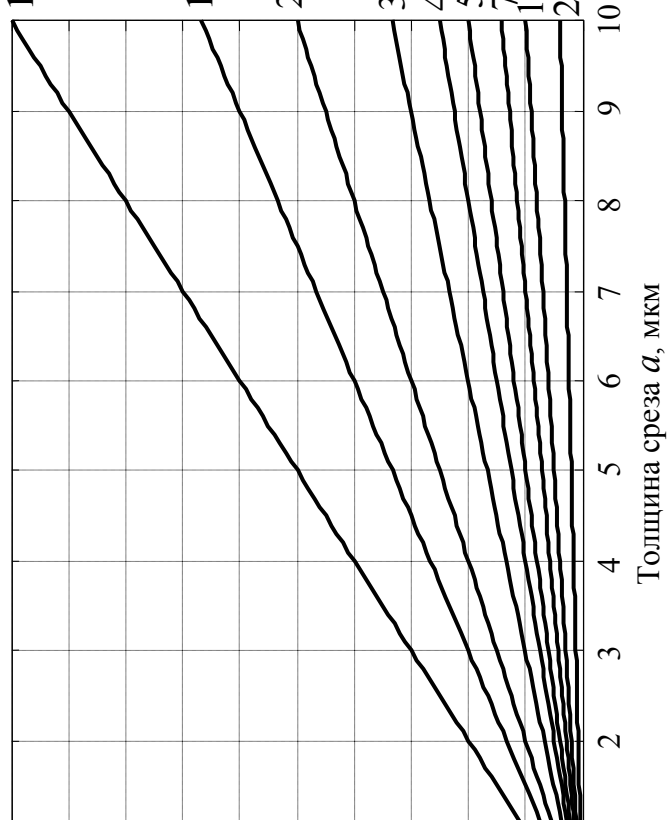


Задача №2.

**Определение геометрии зерна,
способного снимать стружку**



Коефіцієнт усадки стружки ζ



Радиус округлення режущей кромки $\rho, \text{мкм}$

Задача №3.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бобров В.Ф. Основы теории резания металлов. – М.: Машиностроение, 1975. – 344 с.
2. Высокопроизводительная обработка металлов резанием. – М.: Изд-во «Полиграфия», 2003. – 301 с.
3. ГОСТ 3.1109-82. «Единая система технологической документации. Термины и определения основных понятий».
4. ГОСТ 25751-83. «Инструменты режущие. Термины и определения общих понятий».
5. ГОСТ 25762-83. «Обработка резанием. Термины, определения и обозначения общих понятий».
6. Грановский Г.И., Грановский В.Г. Резание металлов: Учебник для машиностр. и приборостр. спец. вузов. – М.: Высш. шк., 1985. – 304 с.
7. Косовский В.Л. Справочник молодого фрезеровщика. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1992. – 400 с.
8. Никифоров И.П. О некоторых пробелах в теории шлифования.// Металлообработка. – 2007. – №1. – С. 2–8.
9. Никифоров И.П. Шлифование глубоких отверстий малого диаметра: проблемы и решения. – Псков: Изд-во политехн. ин-та, 2006. – 200 с.
10. Солоненко В.Г. Резание металлов и режущие инструменты: Учеб. пособие для вузов./ В.Г. Солоненко, А.А. Рыжкин. – М.: Высш. шк., 2007. – 414 с.
11. Справочник инструментальщика./ И.А. Ординарцев, Г.В. Филиппов, А.Н. Шевченко и др.; Под общ. ред. И.А. Ординарцева. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1987. – 846 с.
12. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. – т. 2 / Под. ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1986. – 656 с.

Для заметок

Для заметок

Для заметок

Никифоров Игорь Петрович

РЕЗАНИЕ МАТЕРИАЛОВ

Лабораторный практикум

Технический редактор: И.П. Никифоров
Компьютерная верстка: И.П. Никифоров
Корректор: С.Н. Емельянова

Подписано в печать 10.02.2010 г. Формат 60x90/16.
Гарнитура Таhоmа. Усл. п. л. 4,75.
Тираж 126 экз. Заказ № 3054

Адрес издательства:
Россия, 180000, Псков, ул. Л.Толстого, 4
Издательство ППИ

