

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«Владимирский государственный университет  
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»  
(ВлГУ)**

**Методические указания**  
к выполнению практических работ по дисциплине  
**«МЕТОДЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КАЧЕСТВА МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОЙ ПРОДУКЦИИ»**

Для магистров направления подготовки: 15.04.05 – конструкторско-технологическое  
обеспечение машиностроительных производств»

Составитель:  
профессор кафедры ТМС Гусев В. Г.

Владимир 2016

Методические указания, содержат рекомендации по выполнению практической работы по дисциплине «Методы обеспечения качества машиностроительной продукции» для магистров ВлГУ направления подготовки: 15.04.05 – конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств»

Методические указания составлены на основе требований ФГОС ВО и ОПОП направления 15.04.05 – Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств, рабочей программы дисциплины «Методы обеспечения качества машиностроительного производства».

При разработке настоящих методических указаний к выполнению практических работ использованы учебные пособия с грифом Министерства образования и науки РФ, разработанные с участием автора, а также публикации автора в журналах, входящих в международную базу данных «SKOPUS» и журналах, рекомендованных ВАК РФ.

Рассмотрены и одобрены на заседании  
кафедры Технология машиностроения.  
Протокол № 9/1 от 21.04.2016г.  
**Рукописный фонд кафедры ТМС ВлГУ**

**Оглавление**

Введение.....	4
1.Практическая работа 1. Определение показателей качества машиностроительной продукции на основе кривых распределения.....	5
2.Практическая работа 2. Повышение качества продукции на основе разработки современного однолезвийного режущего инструмента с многогранными неперетачиваемыми пластинами с износостойкими покрытиями.....	9
3.Практическая работа 3. Повышение качества продукции на основе разработки современного многолезвийного режущего инструмента с многогранными неперетачиваемыми пластинами с износостойкими покрытиями.....	20
4.Практическая работа 4. Обеспечение качества продукции путем разработки и использования дискретного шлифовального инструмента.....	32
Материально-техническое обеспечение практической работы.....	44
Список рекомендованной литературы .....	44

## **Введение**

Практические занятия имеют целью закрепить знания, полученные при самостоятельном изучении магистрантами теоретической части курса. Практические занятия являются формой индивидуально-группового и практико-ориентированного обучения.

Рассмотрены наиболее актуальные направления обеспечения качества машиностроительной продукции на основе:

- разработки и применения прогрессивных конструкций режущего инструмента.
- эффективного использования современных многофункциональных станков с ЧПУ.
- корректировки масс быстро вращающихся рабочих органов металлорежущих станков.

Уделено внимание обеспечению показателей качества деталей на основе анализа кривых нормального распределения.

В результате выполнения практических работ магистранты подучат практические навыков в области разработки и применения прогрессивных конструкций режущего инструмента, эффективного использования современных многофункциональных станков с ЧПУ, корректировки масс быстро вращающихся рабочих органов металлорежущих станков и др.

Для освоения указанного материала магистранты должны иметь хорошую стартовую подготовку в области конструкций современного режущего лезвийного и абразивного инструментов, математической статистики, балансировки скоростных исполнительных органов станков, компьютерных технологий.

## Практическая работа № 1

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОЙ ПРОДУКЦИИ НА ОСНОВЕ КРИВЫХ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ

1. **Цель:** освоение методики определения показателей качества машиностроительной продукции на основе статистических кривых распределения.

#### 2. Порядок выполнения работы

1. Определить стохастическую последовательность изменения показателя качества обработанной поверхности детали

2. Разбить поле рассеивания показателя качества на интервалы.

3. Построить полигон распределения показателя качества.

4. Построить кривую распределения показателя качества деталей.

5. Определить точность выполнения заданного размера детали.

6. Выполненный отчет в электронном виде прикрепить на образовательный сервер ВЛГУ в соответствующий раздел дисциплины: <http://www.cs.vlsu.ru:81>

*На занятиях выдается* таблица со стохастически изменяющимися численными значениями показателя качества обработанной поверхности, методика определения параметров распределения.

#### 2. Краткие теоретические сведения, необходимые для выполнения работы

##### 3.1. Виды погрешностей

Погрешности, возникающие при выполнении заготовок, обработке резанием, контроле, сборке и других видах обработки, можно разделить на три вида: систематические постоянные, систематические закономерно изменяющиеся и случайные.

Систематические постоянные погрешности не изменяются при обработке одной заготовки или нескольких партий заготовок. Они возникают под влиянием постоянно действующего фактора. Систематические постоянные погрешности могут быть выявлены пробными измерениями нескольких обработанных деталей. Эти погрешности сводятся к желаемому минимуму соответствующими технологическими мероприятиями.

Систематические закономерно изменяющиеся погрешности могут влиять на точность обработки непрерывно или периодически. Примером непрерывно влияющей погрешности может служить погрешность, вызываемая размерным износом режущего инструмента, а периодически действующей — погрешность, возникающая в результате тепловой деформации станка в период его пуска до достижения состояния теплового равновесия. Знание закона изменения этих погрешностей позволяет

принимать меры для их устранения или уменьшения при построении станочных операций.

Случайные погрешности возникают в результате действия большого количества несвязанных между собой факторов.

Случайная погрешность может иметь различное значение. Определить заранее момент появления и точную величину этой погрешности для каждой конкретной детали в партии не представляется возможным.

Определить случайную погрешность для каждой детали в партии практически нельзя; тем не менее можно установить пределы изменения этой погрешности. При явно выраженной связи между случайной погрешностью и факторами, вызывающими ее появление, пределы изменения случайной величины могут быть определены аналитическими расчетами; например, разность предельных расстояний от измерительной базы до обрабатываемой поверхности, представляющую собой погрешности базирования, можно заранее вычислить, зная допуск на размер заготовки.

При неявной (не выявленной) связи между случайной погрешностью и факторами, влияющими на ее появление, пределы изменения случайной величины могут быть установлены на базе экспериментальных исследований. В процессе изучения явлений не выявленные ранее связи становятся явными. В результате этого можно более полно учитывать влияние различных технологических факторов на точность механической обработки при разработке технологических процессов.

### **3.2. Кривые распределения и оценка точности обработки на их основе**

Статистический метод оценки точности применим в условиях производства большого числа одинаковых деталей, обрабатываемых как на предварительно настроенных станках, так и методом пробных рабочих ходов.

Кривые распределения строят следующим образом. Всю совокупность измерений исследуемой величины (например, какого-либо размера в партии заготовок, обрабатываемых при определенных условиях) разбивают на ряд групп.

В каждую группу входят величины, результаты измерения которых находятся в пределах установленного интервала.

Интервалы, число которых берут в пределах 7—11, откладывают по оси абсцисс, а число измерения, приходящееся на каждый интервал, откладывают по оси ординат.

После соединения нанесенных на график точек получают ломаную линию, называемую полигоном распределения. Полигон распределения диаметров колец, подвергнутых предварительному точению, приведен на рис. 1, *a*. На средние интервалы размеров приходится большее число колец. При увеличении числа деталей в партии,

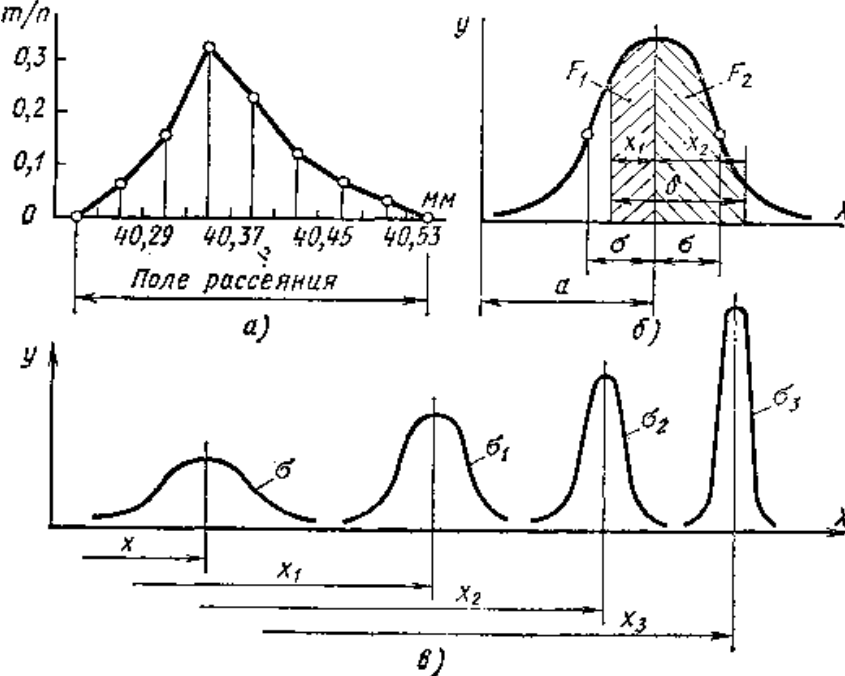


Рис 1. Кривые распределения

сужении интервалов и увеличении их числа ломаная линия приближается к плавной.

Вместо абсолютного числа  $m$  деталей в каждом интервале по оси ординат откладывают также отношение этого числа к общему числу  $n$  деталей в партии; данное отношение называется относительной частотой, или частотью. В технологии машиностроения размеры чаще распределяются по нормальному закону (закону Гаусса). Соответствующая кривая распределения (рис. 1, б) имеет симметричную шатрообразную форму. Нормальный закон распределения наблюдается в тех случаях, когда исследуемый показатель качества является результатом действия большого числа независимых случайных величин, причем все факторы по интенсивности своего влияния действуют одинаково. Этому закону подчиняются многие непрерывные величины: размеры деталей, обработанных на настроенных станках, масса заготовок и деталей машин, твердость и другие механические свойства материала, высота микронеровностей на обработанных поверхностях, погрешности измерений и некоторые другие величины. Во всех перечисленных случаях приходится наблюдать небольшие отклонения от нормального закона. Эти отклонения непостоянны во времени для одних и тех же условий обработки.

Кривая Гаусса

выражается уравнением

$$y = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-a)^2}{2\sigma^2}} \quad (1)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - x_{cp})^2}{n}} \quad (2)$$

где  $\sigma$  — среднее квадратичное отклонение аргумента;  $e$  — основание натуральных

логарифмов;  $a$  — значение абсциссы, при которой ордината  $y$  кривой достигает максимума; величина  $a$  является центром распределения (группирования) аргумента и в то же время его средней арифметической;  $n$  - число произведенных измерений;  $x_i$  — значение текущего измерения;  $x_{\text{ср}}$  — среднее арифметическое из произведенных измерений:

$$x_{\text{ср}} = \frac{(x_1 + x_2 + \dots + x_n)}{n} = \frac{\sum_1^n x_i}{n}. \quad (3)$$

Число измерений  $n$  рекомендуется брать равным 50.

### 3.3. Данные для выполнения лабораторной работы

Численные данные для вариантов заданий лабораторной работы получены в результате обработки деталей на станке и измерения размеров (табл. 1).

Таблица 1

Данные для выполнения работы

№ строки	Выборка № 1				Выборка № 2			
1	+0,04	+0,07	+0,01	-0,03	-0,06	-0,04	-0,03	-0,02
2	+0,05	+0,05	+0,01	-0,02	-0,12	-0,06	+0,04	-0,05
3	+0,04	+0,03	-0,04	-0,05	+0,02	-0,05	-0,02	-0,06
4	+0,07	+0,02	-0,05	-0,05	+0,02	-0,01	-0,01	-0,09
5	-0,01	+0,01	-0,01	-0,06	-0,04	-0,04	-0,05	+0,05
6	-0,02	-0,05	+0,04	-0,07	-0,04	-0,02	-0,12	-0,07
7	+0,06	-0,09	-0,05	+0,06	-0,05	-0,04	-0,01	-0,10
8	-0,04	-0,04	-0,03	+0,02	-0,03	-0,07	-0,06	+0,02
9	-0,09	-0,06	-0,04	+0,02	-0,07	-0,09	-0,09	+0,13
10	-0,08	-0,05	0,00	-0,04	-0,01	-0,01	+0,02	+0,04
11	-0,09	-0,07	-0,04	+0,13	-0,09	+0,06	-0,01	+0,01
12	-0,01	-0,11	+0,04	+0,04	+0,05	-0,03	+0,04	-0,05
13	-0,04	-0,09	-0,04	-0,09	+0,01	+0,04	-0,01	-0,03
14	-0,08	-0,10	-0,07	-0,09	+0,01	-0,02	-0,04	-0,02
15	-0,07	+0,04	-0,12	-0,08	-0,01	-0,12	-0,03	-0,08
16	-0,14	-0,01	-0,14	+0,03	-0,03	-0,06	-0,02	-0,02
17	-0,03	+0,03	-0,06	-0,04	-0,01	-0,15	+0,03	-0,01
18	-0,08	+0,07	-0,01	-0,03	-0,07	-0,05	+0,04	-0,01
19	-0,04	+0,05	-0,07	-0,08	-0,02	-0,07	+0,01	0,01
20	-0,05	-0,02	-0,13	-0,11	-0,03	+0,04	-0,01	+0,03
21	-0,04	+0,02	-0,03	-0,12	-0,08	-0,06	-0,04	-0,04
22	-0,03	+0,09	+0,05	-0,01	-0,08	+0,01	-0,02	-0,05
23	-0,06	-0,02	-0,01	-0,07	+0,08	-0,01	-0,03	-0,09
24	-0,07	+0,02	-0,08	+0,04	+0,01	-0,04	0,00	-0,05
25	-0,01	+0,04	-0,04	+0,07	+0,02	-0,06	+0,01	0,00

В таблице приведены данные для четырех вариантов: для первого варианта следует брать две крайних левых столбца выборки №1, для второго варианта – следующие за ними два столбца выборки №1, для третьего варианта – следующая пара столбцов в выборке №2, для четвертого варианта – крайние правые два столбца выборки №2.



*Вопросы для обсуждения:*

1. Область использования кривых распределения для оценки качества машиностроительной продукции.
2. Укажите способы и средства получения данных, приведенных в таблице 1.
3. Каковы разновидности кривых распределения.
4. В каких случаях можно эффективно использовать кривые Гаусса для оценки точности протекания процесса механической обработки деталей?

*Контрольные вопросы*

1. Какие геометрические показатели качества обработанных деталей известны?
2. Каким образом измеряют шероховатость обработанных поверхностей деталей?
3. Как измерить волнистость обработанной поверхности?
4. Как построить кривую нормального распределения?
5. Какие сведения о показателях качества продукции содержит кривая распределения?
6. Как определить годность обработанных деталей на основе кривых нормального распределения?
7. Какие технологические и технические решения можно принимать на основе кривых нормального распределения и управлять ходом обработки?

*Практическая работа №2*

**ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ПРОДУКЦИИ НА ОСНОВЕ РАЗРАБОТКИ  
СОВРЕМЕННОГО ОДНОЛЕЗВИЙНОГО РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА С  
МНОГОГРАННЫМИ НЕПЕРЕТАЧИВАЕМЫМИ ПЛАСТИНАМИ С  
ИЗНОСОСТОЙКИМИ ПОКРЫТИЯМИ**

- 1. Цель:** освоение методики разработки резцов, оснащенных многогранной твердосплавной неперетачиваемой твердосплавной пластиной.

**2. Порядок выполнения работы**

1. Выбрать чертеж детали, содержащей цилиндрические, конические ступени, подвергаемые точению.
2. Выбрать поверхности детали, которые можно обработать методом точения одним режущим инструментом.

3. Задать режим точения.
4. Выбрать тело режущего инструмента.
5. Выбрать многогранную неперетачиваемую пластину для обработки поверхностей детали.
6. Разработать конструкцию резца, оснащенного многогранной твердосплавной неперетачиваемой твердосплавной пластиной, для точения обрабатываемых поверхностей.
7. Выполненный отчет в электронном виде прикрепить на образовательный сервер ВлГУ в соответствующий раздел дисциплины: <http://www.cs.vlsu.ru:81>

*На занятиях выдается:*

чертеж детали, выбираются поверхности, подлежащие точению разработанным резцом, материалы по конструктивному оформлению твердосплавных неперетачиваемых твердосплавных пластин.

Таблица 1

Варианты индивидуальных заданий по разработке резцов для точения ступеней вала

Номер варианта	Диаметр обрабатываемой шейки вала	Длина обрабатываемой шейки вала	Задний угол, при точении ступеней вала	Задний угол, градус при точении торцев вала
	$d_o$ , мм	$l_o$ , мм	N, градус	N, градус
1	30	50	0	3
2	40	55	0	4
3	50	60	0	5
4	60	65	0	6
5	70	70	0	7
6	36	48	0	4
7	52	54	0	7
8	42	60	0	6
9	64	58	0	10
10	56	74	0	5

### 3.Краткие теоретические сведения, необходимые для выполнения работы

#### 3.1. Твердосплавные многогранные неперетачиваемые быстросменные пластины

Для современных сменных многогранных пластин характерна высокая стабильность их режущих свойств, что особенно необходимо в производственных условиях при работе на автоматизированном оборудовании. Наличие большого многообразия сменных многогранных пластин, предлагаемого различными производителями инструментов, позволяет выбрать наиболее приемлемый вариант, обеспечивающий требуемые

функциональные показатели процесса обработки при минимальных затратах. В настоящее время большинство твердых сплавов имеют покрытие. В последние годы, сплавы с покрытием получили распространение в сверлении и фрезеровании разных групп материалов. Покрытия на твердом сплаве очень тонкие, обычно общая толщина покрытия составляет 2-12 мкм, чрезмерная толщина может вызвать отрицательные эффекты.

Пластины с покрытием являются первым выбором почти для всех операций точения, сверления и фрезерования для обработки большинства материалов.

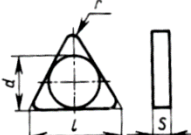
На основании анализа режущих пластин делаем вывод, что наиболее эффективное использование инструмента достигается при использовании многогранных неперетачиваемых пластин с покрытием (табл. 2).

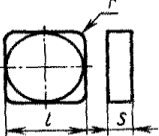
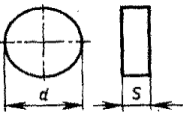
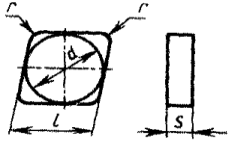
Таблица 2

### 3.2. Форма пластин

Таблица 1. - Форма режущих неперетачиваемых твердосплавных пластин

Размеры, мм

Форма пластины *	Буквенно-цифровое обозначение	Длина режущей кромки	Диаметр вписанной окружности	Толщина	Радиус закругления
Трехгранная 	TNCN-160408	16,5	9,525	4,76	0,8
	TNUN-160408			4,76	0,8
	TNCN-160812			8,0	1,2
	TNUN-160812			8,0	1,2

Форма пластины *	Буквенно-цифровое обозначение	Длина режущей кромки	Диаметр вписанной окружности	Толщина	Радиус закругления
Квадратная 	SNUN-120412 SNGN-120412 SNUN-120416 SNGN-120416	12,7	12,7	4,76	1,2 1,2 1,6 1,6
Круглая 	RNGN-070500 RNUN-070500	— —	7,0 7,0	5,0 5,0	— —
Ромбическая 	CNGN-120812 CNUN-120812	12,9 12,9	12,7 12,7	8 8	1,2 1,2

\* Форма и размеры пластин марок ВOK60 и В3 по ГОСТ 25003—81. \_

Перед выбором пластин необходимо определить, какие же пластины все-таки лучше: отечественные или зарубежные. Если внимательно посмотреть на таблицу 1 представленную ниже, то выбор очевиден.

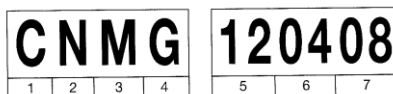
### 3.3. Шероховатость поверхности после обработки стандартными пластинами и пластинами фирмы SANDVIK COROMANT

Таблица 3

Шероховатость поверхности, обработанной стандартными пластинами и фирмы SANDVIK COROMANT в зависимости от радиуса при вершине и величины подачи.

Подача мм	Стандарт	Wiper	Стандарт	Wiper	Подача мм	Стандарт	Wiper	Стандарт	Wiper
	$r_\epsilon 0,4$ $R_a$ мкм	$r_\epsilon 0,4$ $R_a$ мкм	$r_\epsilon 0,8$ $R_a$ мкм	$r_\epsilon 0,8$ $R_a$ мкм		$r_\epsilon 1,2$ $R_a$ мкм	$r_\epsilon 1,2$ $R_a$ мкм	$r_\epsilon 1,6$ $R_a$ мкм	$r_\epsilon 1,6$ $R_a$ мкм
0,07	0,31	0,30	–	–	0,15	0,47	0,30	–	–
0,10	0,63	0,32	0,31	0,30	0,18	0,68	0,34	–	–
0,12	0,90	0,45	0,45	0,30	0,20	0,83	0,42	0,63	0,32
0,15	1,41	0,70	0,70	0,35	0,22	1,16	0,58	0,87	0,44
0,18	2,03	1,00	1,01	0,50	0,25	1,50	0,65	1,12	0,56
0,20	2,50	1,25	1,25	0,63	0,28	1,88	0,68	1,41	0,70
0,22	3,48	1,74	1,74	0,87	0,30	2,16	0,72	1,62	0,78
0,25	–	–	2,25	0,90	0,35	2,93	0,97	2,20	0,80
0,28	–	–	2,82	0,93	0,40	3,83	1,26	2,88	0,95
0,30	–	–	3,23	1,07	0,45	5,70	1,88	4,27	1,41
0,35	–	–	4,40	1,10	0,50	7,03	2,32	5,27	1,74
0,40	–	–	5,75	1,44	0,55	8,51	2,40	6,38	2,10
0,45	–	–	8,54	2,14	0,60	10,13	2,53	7,59	2,40
0,50	–	–	10,55	2,64	0,65	–	–	8,91	2,50
					0,70	–	–	10,34	2,60
					0,85	–	–	15,24	3,81
					0,90	–	–	17,09	4,27

### 3.4. Обозначение пластин



1 – форма пластины, 2 – задний угол, 3 – допуск  $\pm$  на  $s$  и  $iC/iW$ , 4 – тип пластины

5 – длина режущей кромки, 6 – толщина пластины, 7 – радиус при вершине.

Так же имеется восьмое обозначение, которое является обозначением изготовителя.

C – пластина в виде четырехугольника с углом при вершине  $80^\circ$ ; N – задний угол равен  $0^\circ$ ;

M – класс точности  $\pm 0,08$  мм; G – тип пластины; 12 – длина режущей кромки 2,7 мм;

04 – толщина пластины 4,76 мм; 08 – радиус при вершине 0,8 мм.

### 3.4. Выбор пластин

Таблица 4

Характеристики режущих пластин

**1 Форма пластины**

80° <b>C</b>	55° <b>D</b>
55° <b>K</b>	<b>R</b>
<b>S</b>	<b>T</b>
35° <b>V</b>	80° <b>W</b>

**2 Задний угол**

<b>B</b>	<b>C</b>
<b>E</b>	<b>N</b>
<b>P</b>	<b>O</b> Специальная

**3 Допуски ± на s и iC/iW**

Класс s	iC / iW
G ±0,13	±0,025
M ±0,13	±0,05 - ±0,15 <sup>1)</sup>
U ±0,13	±0,08 - ±0,25 <sup>1)</sup>
E ±0,025	±0,25

<sup>1)</sup>Зависят от величины iC.  
См. таблицу ниже.

Диаметр вписанной окружности iC mm	Класс точности	
	M	U
3,97 5,0 5,56 6,0 ±0,05 6,35 8,0 9,525 10,0	±0,08	
12,0 12,7	±0,08	±0,13
15,875 16,0 19,05 20,0	±0,10	±0,18
25,0 25,4	±0,13	±0,25
31,75 32,0	±0,15	±0,25

Для пластин с задними углами значение iC дано для плоскости, проходящей через режущие кромки. Соответствует острой режущей кромке, тип F. (Пункт 8).

**5 Длина режущей кромки, l мм**

iC мм	iC дюйм	C	D	R	S	T	V	W	K
3.97	5,32"					06			
5.0				05					
5.56	7/32"					09			
6.0				06					
6.35	1/4"	06	07			11	11		
8.0				08					
9.525	3/8"	09	11	09	09	16	16	06	16 <sup>*)</sup>
10.0				10					
12.0				12					
12.7	1/2"	12	15	12	12	22	22	08	
15.875	5/8"	16		15	15	27			
16.0				16					
19.05	3/4"	19		19	19	33			
20.0				20					
25.0				25					
25.4	1"	25		25	25				
31.75				31					
32				32					

<sup>\*)</sup> Для пластин формы K (KNMX, KNUX) указана только длина стороны пластины.

**4 Тип пластины**

<b>A</b>	<b>Q</b>
<b>G</b>	<b>R</b>
<b>M</b>	<b>T</b>
<b>N</b>	<b>W</b>
<b>P</b>	
<b>X</b>	Специальная конструкция

**6 Толщина пластины, s мм**

	<b>01</b> s = 1,59
	<b>T1</b> s = 1,98
	<b>02</b> s = 2,38
	<b>03</b> s = 3,18
	<b>T3</b> s = 3,97
	<b>04</b> s = 4,76
	<b>05</b> s = 5,56
	<b>06</b> s = 6,35
	<b>07</b> s = 7,94
	<b>09</b> s = 9,52
	<b>10</b> s = 10,00
	<b>12</b> s = 12,00

**7 Радиус при вершине, rε мм**

	<b>M0, 00</b> rε ≅ Круглая пластина
	<b>04</b> rε = 0,4
	<b>08</b> rε = 0,8
	<b>12</b> rε = 1,2
	<b>16</b> rε = 1,6
	<b>24</b> rε = 2,4

Форма пластины выбирается, исходя из необходимого для инструмента главного угла в плане, а также в зависимости от того, требуется ли специализированный инструмент, который предполагает использовать только на определенной операции, или инструмент более широкого применения.

Для обеспечения прочности режущей вершины, а соответственно и экономической эффективности обработки, следует выбирать режущую пластину с наибольшим из возможных углом при вершине.

Если имеет место изменение глубины резания или другая нестабильность процесса обработки, то рекомендуется использовать пластины с возможно меньшим углом при вершине, однако, обеспечивающим достаточную прочность режущей кромки.

При обработке конусов и других фасонных поверхностей рекомендуется подбирать пластину с таким углом при вершине, чтобы угол между режущими кромками и касательной к обрабатываемой поверхности составлял не менее  $2^\circ$ .

Для обеспечения эффективности операции важно правильно выбрать размер пластины. Это особенно важно при черновой обработке. Размер пластины зависит от размера посадочного гнезда державки. Если размер инструмента, главный угол в плане и форма пластины заданы, то фактический размер пластины уже определен. Но если выбор размера пластины поставлен на первое место и определяет выбор державки, то сначала определяется максимальная глубина резания, а затем по величине главного угла в плане – необходимая эффективная длина режущей кромки. После чего, с учетом коэффициента, определяемого главным углом в плане, выбирают размер пластины.

При черновой обработке, когда резание прерывистое и наблюдается тенденция к вибрациям, следует обращать внимание на условия входа и выхода инструмента из заготовки, чтобы избежать нежелательных ударов по режущей кромке и дополнительного давления на заготовку при выходе, приводящего к выкрашиваниям режущей кромки. При обработке торцев требования к режущей кромке значительно увеличиваются, поскольку глубина резания одновременно существенно возрастает. В этом случае надо выбирать пластину большего размера, менять направление и уменьшать подачу, чтобы избежать значительных увеличений усилия резания.

По максимальной глубине резания ( $a_p$ ) определяют необходимую эффективную длину режущей кромки ( $l_a$ ), исходя из величины главного угла в плане ( $k_r$ ). Это можно сделать по приведенной ниже таблице. В зависимости от формы пластины может быть определена длина режущей кромки пластины ( $l$ ) по величине эффективной длины

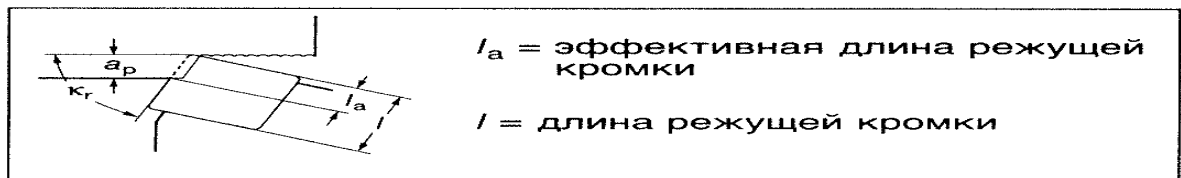
режущей кромки ( $l_a$ ) и соотношению между ними, приведенному в следующей таблице.

Из таблицы видно, что эти соотношения различны для пластин разной формы.

### 3.5. Определение эффективной длины режущей кромки

Таблица 5

Эффективная длина режущей кромки



Главный угол в плане $\kappa_r$	Глубина резания ( $a_p$ ) мм											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15	
	Необходимая эффективная длина режущей кромки ( $l_a$ ) мм											
90	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15	
105	75	1,5	2,1	3,1	4,1	5,2	6,2	7,3	8,3	9,3	11	16
120	60	1,2	2,3	3,5	4,7	5,8	7	8,2	9,3	11	12	18
135	45	1,4	2,9	4,3	5,7	7,1	8,5	10	12	13	15	22
150	30	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	30
165	15	4	8	12	16	20	24	27	31	35	39	58

<p><math>l_a = 0,4 \times d</math></p>	<p><math>l_a = 2/3 \times l</math></p>
<p><math>l_a = 2/3 \times l</math></p>	<p><math>l_a = 1/2 \times l</math></p>
<p><math>l_a = 1/2 \times l</math></p>	<p><math>l_a = 1/2 \times l</math></p>
<p><math>l_a = 1/4 \times l</math></p>	<p><math>l_a = 1/4 \times l</math></p>



Глубина резания и главный угол в плане определяют эффективную длину режущей кромки. При главном угле в плане  $90^\circ$  эффективная длина режущей кромки равна глубине резания. Если уменьшить угол в плане, то при той же глубине резания эффективная длина режущей кромки будет больше. Для каждой операции выбор размера пластины и, соответственно, длины режущей кромки производится, исходя из максимальной глубины резания, с учетом главного угла в плане. За редким исключением, рекомендуется, чтобы эффективная длина режущей кромки составляла половину длины режущей кромки, а обработка с большей глубиной резания возможна только в течение короткого периода времени.

Если допустимая эффективная длина режущей кромки меньше, чем требуется, исходя из глубины резания, то следует выбрать пластину большего размера или увеличить число проходов.

Величина радиуса при вершине пластины очень важна при черновой обработке с точки зрения прочности режущей кромки, а при чистовой обработке – с точки зрения получения требуемой шероховатости поверхности.

В обоих случаях радиус при вершине тесно связан с величиной подачи, поэтому выбирать его надо, учитывая подачу.

Большой радиус при вершине делает кромку более прочной, но при этом требуется большая мощность станка и возрастает опасность вибраций. Обрабатываемый материал и условия обработки также влияют на выбор радиуса при вершине пластины. При растачивании меньший радиус при вершине уменьшает вибрации и позволяет работать с большими вылетами инструмента.

При черновой обработке следует выбирать пластину с максимально возможным радиусом при вершине. Если его использование не вызывает вибрации. Чем больше радиус при вершине, тем выше прочность и стойкость пластины, что позволяет вести обработку с большими величинами подачи. И все же, в большинстве случаев, величина подачи не должна превышать половины значения радиуса при вершине.

При чистовом точении чистота обработанной поверхности зависит от соотношения радиуса при вершине и подачи. Малый радиус при вершине предопределяет ослабленную режущую кромку, но способную выполнять более качественную обработку поверхности.

Существует стандартный ряд значений радиуса при вершине: от 0,2 мм до 2,4 мм.

При чистовой обработке радиус при вершине пластины часто является единственным местом контакта пластины и детали. И хотя главный угол в плане пластины может достигать  $90^\circ$ , фактически он (при соизмеримости глубины резания и радиуса) колеблется от достаточно маленького до максимального, иногда достигающего  $90^\circ$ .

Поперечное сечение снимаемой стружки в значительной мере определяется главным углом в плане, который влияет также на распределение нагрузки на режущую кромку. При определенной глубине резания толщина стружки существенно изменяется с изменением главного угла в плане от  $45^\circ$  до  $90^\circ$ . Чем меньше угол в плане, тем тоньше стружка при большей длине эффективной режущей кромки.

С увеличением угла в плане, толщина стружки увеличивается, а эффективная длина режущей кромки уменьшается, соответственно, будет изменяться и нагрузка на режущую кромку. При черновой обработке наиболее благоприятен небольшой угол в плане, который обеспечивает плавный вход и выход режущей кромки, а также распределение общей нагрузки между радиальной и осевой составляющими силы резания. При большом угле в плане основная нагрузка направлена вдоль оси, что особенно благоприятно для расточных операций.

При выборе геометрии следует принимать во внимание такие особенности операции как прерывистое резание, склонность к вибрациям, а также мощность станка.

Передний угол – это угол между плоскостью, касательной к передней поверхности режущего инструмента и горизонтальной плоскостью, проходящей через ось обрабатываемой детали. Этот угол может быть как положительным, так и отрицательным.

Различия в процессе резания с положительными и отрицательными передними углами довольно существенны и отрицательными передними углами довольно существенны и составимы с различиями при обработке острым и затупленным инструментом.

Боковые поверхности неперетачиваемых режущих пластин без задних углов перпендикулярны опорной поверхности, а у пластин с задними углами могут быть наклонены к ней.

Однако, пластины без задних углов могут иметь такую форму передней поверхности, которая будет обеспечивать положительный передний угол.

При этом уменьшается площадь контакта между стружкой и передней поверхностью пластины, усилия резания, деформация стружки, количество выделяемого тепла, износ инструмента и необходимая мощность.

Пластины, в зависимости от наличия у них переднего и задних углов, могут располагаться в корпусе державки или параллельно опорной поверхности корпуса, или наклонно.

Сформулированные выше рекомендации будут использованы при разработке нового комбинированного зенкера с неперетачиваемыми твердосплавными платинами фирмы

Сандвик Коромант для обработки отверстия и прилегающего торца в надрессорной балке железнодорожного вагона.

### 3.6. Опорные пластины

Опорная пластина – важная часть любой державки. Она является жестким основанием и защищает корпус державки от износа. Нужно проверять состояние опорной пластины при повороте или смене режущей пластины.

Поврежденная опорная пластина не будет эффективно поддерживать режущую, что может привести к поломке последней. Поэтому всегда необходимо проверять правильность расположения режущей пластины и плотность ее прилегания к поверхностям контакта гнезда.

Чтобы режущая пластина была закреплена надежно, гнездо и опорная пластина не должны иметь загрязнений. Твердые частицы, грязь и стружка должны быть удалены из гнезда любым доступным способом. Когда режущие пластины установлены, необходимо проверить на отсутствие зазоров между ними и опорными поверхностями гнезда. При закреплении винтом, рычагом или прижимом нужно удерживать режущую пластину в правильном положении в гнезде.

Боковые поверхности режущей пластины не должны висеть над точками контакта и плотность прилегания к опорной пластине должна быть удовлетворительная. Это особенно касается узких и длинных пластин.

Также важно, чтобы углы опорных пластин не были сколоты. Такие повреждения приводят к тому, что пластина лишается опоры и это крайне нежелательно из-за низкого предела прочности твердого сплава на растяжение, а изгибные нагрузки вызывают как раз напряжения растяжения.

С другой стороны, предел прочности на сжатие у твердого сплава высок, что позволяет ему выдерживать высокое давление.

При обработке нержавеющей стали пульсирующие усилия резания действуют на пластину и опору. Это может привести при высоких температурах к пластической деформации опоры и, как следствие, возникновению отпечатков профиля передней поверхности двусторонней пластины на поверхности опорной пластины.

Этот момент необходимо проверить перед обработкой материала, который создает при резании высокое давление, например, при точении чугуна. Возникающая в результате отклонение от плоскостности опоры может привести к поломкам пластины, находящейся в гнезде.

Анализ конструктивного оформления опорных пластин в существующих инструментах, показал, что пластины характеризуются сравнительно сложной формой,

что повышает их стоимость и инструмента в целом. Поэтому в дальнейшем мной предлагается пластина простой формы, которая одновременно с этим выполняет все функции известных пластин.

*Вопросы для обсуждения.*

1. Для чего применяют режущий лезвийный инструмент с многогранными неперетачиваемыми пластинами?
2. Какие формы режущих пластин применяют для продольного наружного течения цилиндрических и конических поверхностей вращения?
3. Зачем нужна, кроме режущей многогранной пластины, еще и опорная пластина в лезвийных режущих инструментах?
4. Можно ли использовать многогранные твердосплавные режущие пластины с нулевыми задними углами?
5. Что нужно предпринять конструктору режущего лезвийного инструмента, оснащенного многогранными твердосплавными режущими пластинами, чтобы обеспечить увеличение ресурса работы инструмента в два раза?

*Контрольные вопросы.*

1. Как выбирают многогранные твердосплавные режущие пластины для лезвийного инструмента?
2. Как закрепляют многогранные твердосплавные режущие пластины в державке лезвийного инструмента?
3. Какие требования предъявляют к опорным пластинам в лезвийных инструментах с многогранными твердосплавными режущими пластинами?
4. Какими должны быть выполнены карманы в державке лезвийного инструмента для размещения многогранных твердосплавных режущих пластин?
5. Для чего покрывают многогранные неперетачиваемые твердосплавные режущие пластины износостойкими покрытиями?
6. Как выбирают длину режущего лезвия (границы) многогранной неперетачиваемой твердосплавной режущей пластины?

## Рекомендованная литература

### *а) основная литература*

1. Технология и свойства спеченных твердых сплавов и изделий из них /Панов В.С., Чувилин В.М. –М.: "МИСИС", 2001. 428 с.
2. Каталог режущего инструмента фирмы «Сандвик Коромант»

### *б) дополнительная литература:*

1. Патент Российской Федерации на изобретение No 2366542 Сборный отрезной резец и режущие пластины к нему. Оpubл. Бюл. Открытия, Изобретения, No 25 .- 2009.

### *в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы*

1. [Библиотека технической литературы](http://delta-grup.ru/bibliot/)
2. <http://metallrez.ru/sistema-oboznacheniya-tokarnogo-instrumenta/34-oboznachenie-rezhuschey-plastiny>.

## **3. Практическая работа № 3**

### **ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ПРОДУКЦИИ НА ОСНОВЕ РАЗРАБОТКИ СОВРЕМЕННОГО МНОГОЛЕЗВИЙНОГО РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА С МНОГОГРАННЫМИ НЕПЕРЕТАЧИВАЕМЫМИ ПЛАСТИНАМИ**

1. **Цель:** освоение методики разработки многолезвийного мерного режущего инструмента для механической обработки деталей машин.

#### **2. Порядок выполнения работы**

1. Выбрать чертеж детали, подвергаемой обработке многолезвийным режущим инструментом.

2. Выбрать поверхности детали, подлежащие механической обработке режущим инструментом.
3. Определить режим резания.
4. Разработать чертеж корпуса многолезвийного инструмента.
5. Выбрать многогранные неперетачиваемые пластины для обработки поверхностей детали.
6. Разработать конструкцию гнезда для установки многогранной твердосплавной неперетачиваемой твердосплавной пластины, обосновать число режущих пластин.
7. Выбрать схему крепления режущих пластин в корпусе многолезвийного инструмента
8. Разработать чертеж опорной пластины, на которую будет базироваться режущая многогранная неперетачиваемая твердосплавная пластина.
9. Разработать сборочный чертеж многолезвийного режущего инструмента.
10. Назначить допуски и посадки на сопрягаемые поверхности инструмента.
11. Разработать технические требования и техническую характеристику многолезвийного режущего инструмента.
12. Выполненный отчет в электронном виде прикрепить на образовательный сервер ВлГУ в соответствующий раздел дисциплины: <http://www.cs.vlsu.ru:81>

*На занятиях выдается:*

чертеж детали с размерами, отклонениями на размеры и др. техническими и технологическими требованиями; исходные данные по обрабатываемому материалу заготовки: материал, форма, размеры, твердость, шероховатость, допуски на геометрическую точность. Общий вид инструмента без каких-либо размеров и технических данных.

### **3. Краткие теоретические сведения, необходимые для выполнения работы**

В транспортном машиностроении широко используются крупногабаритные изделия, рабочие поверхности которых в процессе эксплуатации подвергаются интенсивному износу. Ввиду большой массы и по экономическим причинам такие детали не заменяют в течение длительного времени эксплуатации транспортных систем, а подвергают восстановлению путем наплавки износостойкого материала на изношенные рабочие поверхности и последующей механической обработки лезвийными режущими инструментами [1].

К таким изделиям относятся массивные, тяжело нагруженные детали грузовых железнодорожных вагонов, например, наддресорные балки, боковые рамы, изготовленные из стали 20Г1ФЛ ТУ-3-960-76 и др. материалов.

Наплавленные плоские или цилиндрические поверхности характеризуются неравномерным распределением припуска и разбросом твердости, поэтому при лезвийной механической обработке возникает повышенный уровень вибрации, который можно снизить путем увеличения жесткости технологической системы, балансировкой быстро вращающегося режущего инструмента, изоляцией технологической системы от внешних источников вибрации, а также использованием рациональной геометрии режущего инструмента.

Увеличение жесткости технологической системы, корректировка масс в одной или двух плоскостях, изоляция технологической системы и другие пути борьбы с вибрациями требуют значительных материальных и трудовых затрат, а также дополнительного оборудования, что сказывается на повышении технологической себестоимости изделия.

Уменьшить трудовые и материальные затраты, снизить уровень вибрации при механической обработке крупногабаритных деталей более предпочтительно созданием и применением виброустойчивых режущих инструментов, которые путем контактного взаимодействия через силы и моменты резания, реактивные силы, возникающие в опоре режущего инструмента, создают условия для увеличения жесткости замкнутой динамической системы.

Конструктивным изменением режущего инструмента можно не только повысить жесткость технологической системы, но и увеличить его диссипативные свойства, которые компенсируют не только малые упругие перемещения режущих пластин инструмента, но и виброскорость колебательного процесса. Демпфирующие свойства режущего инструмента позволяют рассеивать энергию вынужденных колебаний, а, следовательно, существенно уменьшить амплитуду колебаний элементов технологической системы со всеми вытекающими позитивными аспектами.

Упругие перемещения режущего инструмента, виброскорости и виброускорения сопутствуют практически любому виду лезвийной и абразивной обработки металлов и сплавов, поэтому выше сформулированные основные принципы снижения уровня вибрации можно использовать не только при лезвийной обработке, но и в других известных способах механической обработки крупногабаритных заготовок.

Очень важно использовать большую массу обрабатываемой заготовки, то есть передать на заготовку вибрацию самого режущего инструмента. Благодаря большей своей массе заготовка может эффективно выполнять не только функцию гашения колебаний, но

служить в качестве дополнительной опоры режущему инструменту, что в принципе изменяет в позитивном плане динамику протекающих процессов.

Если учесть тот факт, что заготовка перед обработкой жестко закрепляется в станочном приспособлении, а режущий инструмент направляется заготовкой и связан с ней не только силой резания, но и реактивными силами дополнительной опоры, то можно констатировать, что в итоге мы получаем единую замкнутую динамическую систему, в которой обеспечивается выравнивание инерционных и жесткостных характеристик элементов технологической системы.

Происходит повышение жесткости и виброустойчивости режущего инструмента за счет незначительного снижения виброустойчивости самой заготовки.

Анализ патентной, научно-технической литературы, источников интернета-ресурса, а также производственного опыта свидетельствует о том, что снижению уровня вибрации элементов технологической системы при механической обработке путем использования диссипативных свойств режущего инструмента и передачи его колебаний на обрабатываемую поверхность массивной заготовки не уделялось должного внимания.

Это направление исследований является особо перспективным при восстановлении крупногабаритных деталей, у которых, как отмечалось выше изношенные, рабочие поверхности подвергаются наплавке и последующей механической обработке лезвийным и абразивным режущим инструментом.

Для реализации сформулированного выше положения авторы разработали конструкцию виброустойчивого зенкера для обработки отверстия под шкворневой палец наддресорных балок грузовых железнодорожных вагонов, который позволяет не только уменьшить уровень вибрации, но и обеспечить повышение производительности и геометрической точности обработанных поверхностей.

Эти эффекты достигаются путем конструктивного оформления режущего инструмента и повышения его жесткости и демпфирующей способности. Предложенная конструкция создает дополнительную опору для консольной части зенкера и позволяет передать энергию колебаний от инструмента к массивной заготовке.

Повышение жесткости обеспечивается тем, что в предложенном режущем инструменте взамен широко распространенной в промышленности консольной схемы крепления создана порталная схема, при которой первая внешняя опора инструмента возникает при установке цилиндрического хвостовика в отверстие шпинделя, а вторая внешняя опора – в результате контактного взаимодействия упругих элементов демпфера с обрабатываемым цилиндрическим отверстием заготовки. При этом инструмент



приобретает две внешние опоры вместо одной, характерной для консольной схемы крепления зенкера.

Виброустойчивый зенкер состоит из корпуса, в верхней части которого выполнена цилиндрическая посадочная ступень 1 (рис.1, а), обеспечивающая точное

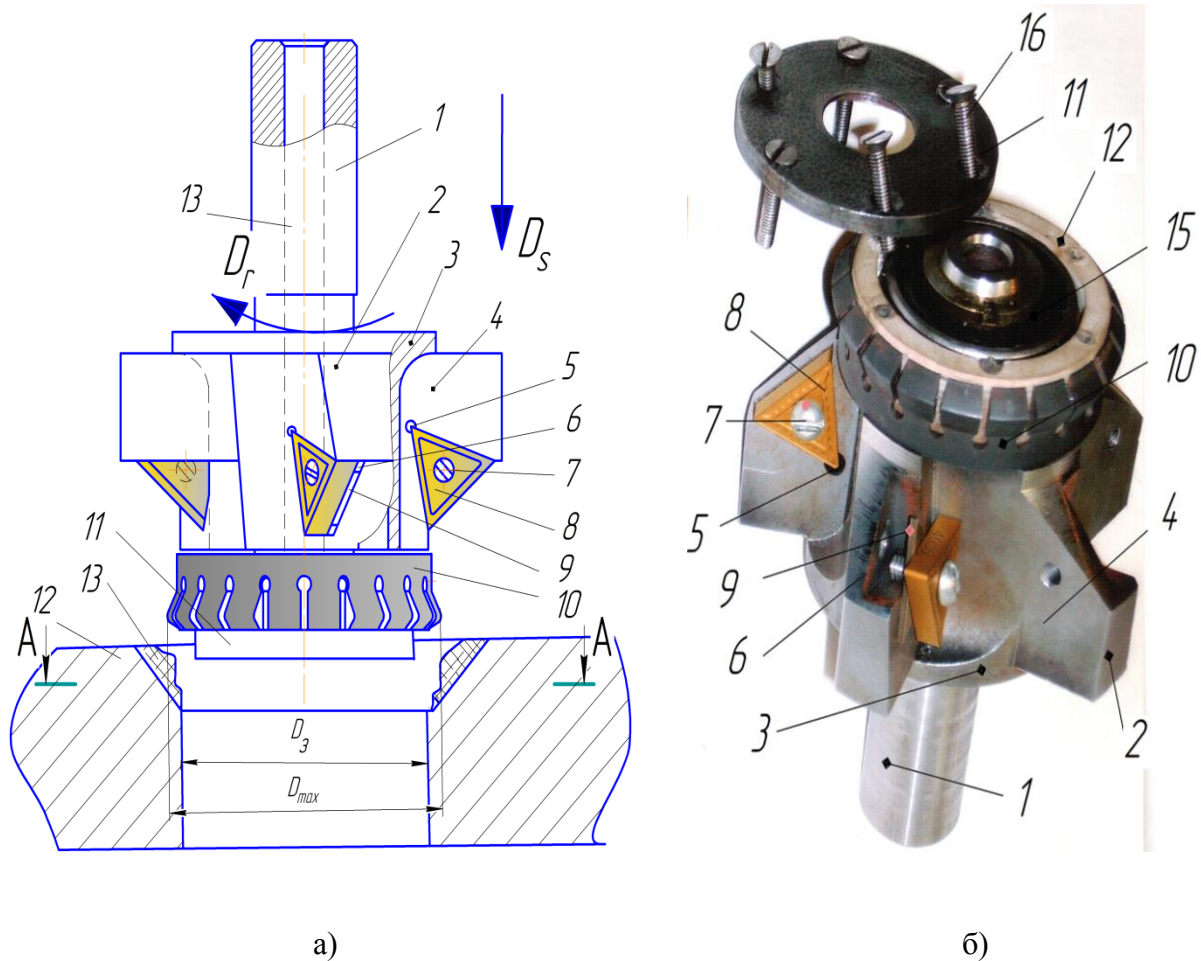


Рис. 1. Схема зенкерования конического отверстия виброустойчивым инструментом (а) и фото инструмента (б): 1 – посадочная ступень корпуса, 2 – ступень корпуса, 3 – предохраняющая шейка, 4 - стружечная канавка, 5 – малое отверстие, 6 – гнездо под режущую пластину, 7 – винт, 8 – режущая пластина, 9 – опорная пластина, 10 – демпфирующий элемент, 11 – крышка, 12 – заготовка, 13 – наплавленный слой износостойкого материала, 14 - резиновое кольцо, 15 – шарикоподшипник, 16 – винт.

центрирование инструмента в отверстии шпинделя металлорежущего станка ФБ-01, предназначенного для обработки надressорных балок грузовых железнодорожных вагонов.

На ступени 2 выполнена сравнительно узкая цилиндрическая шейка 3, которая предохраняет шпиндель станка от контакта с выходящей из зоны резания стружкой. Стружечные канавки 4 предназначены для направления и транспортирования снятого

материала. Со стороны плоскости 4 просверлены отверстия 5 диаметром 2 мм, которые обеспечивают свободное расположение вершин режущих пластин в гнездах, предохраняя углы пластин от повреждения.

На ступени 2 выполнены треугольные пазы 6, в которые вставлены и закреплены винтами 7 режущие твердосплавные пластины 8. Между режущими пластинами 8 и основаниями пазов 6 установлены опорные металлические пластины 9, которые предохраняют от износа треугольные пазы корпуса инструмента под действием силы резания. Твердость опорной пластины меньше твердости материала корпуса инструмента, что вызывает износ простых в изготовлении и дешевых металлических пластин, обеспечивая тем самым ресурс работы корпуса, соизмеримый с ресурсом работы станка. Изношенные опорные пластины подлежат замене на новые, а поскольку их форма простая, а размеры малы по сравнению с размерами корпуса, то затраты, связанные с их заменой, незначительны.

В нижней части корпуса, на цилиндрической шейке, установлен демпфер 10, предназначенный для рассеивания энергии колебательных движений при помощи упругих лепестков 11. Направляющий демпфер расположен между корпусом режущего инструмента и обрабатываемой поверхностью заготовки 12. На рис. 2 представлен виброустойчивый зенкер в разобранном виде.

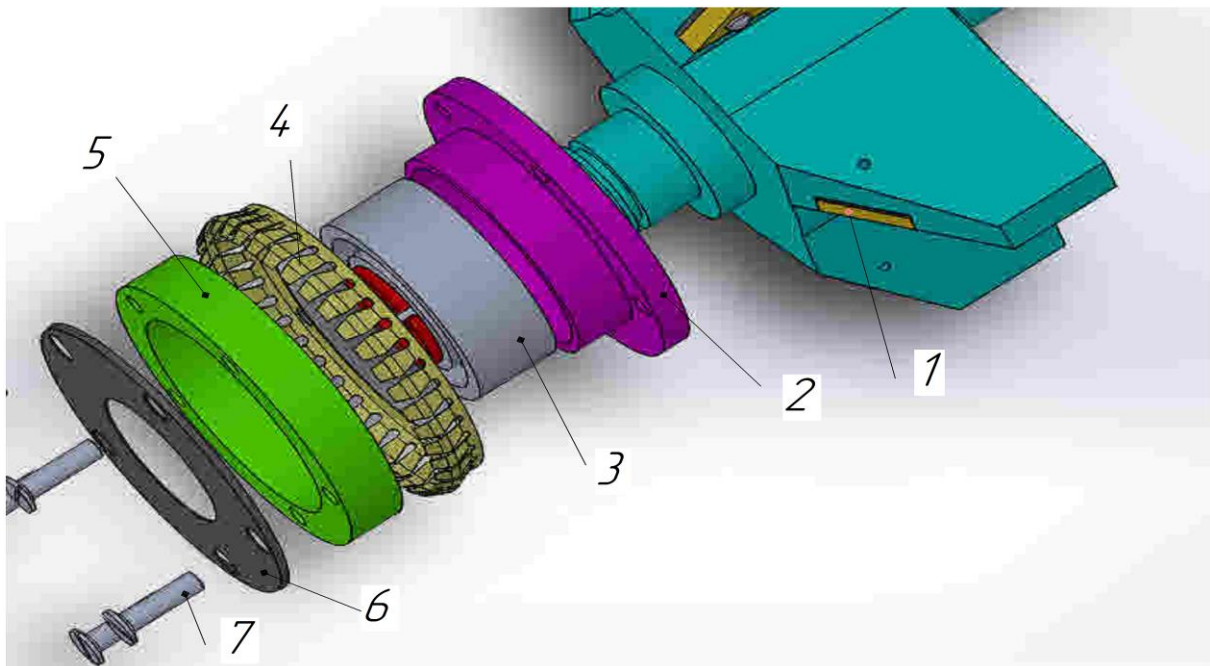
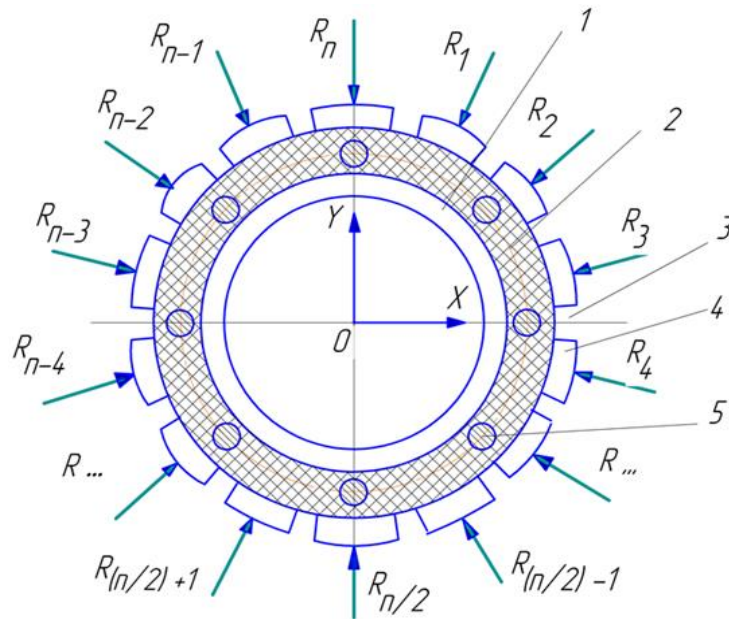


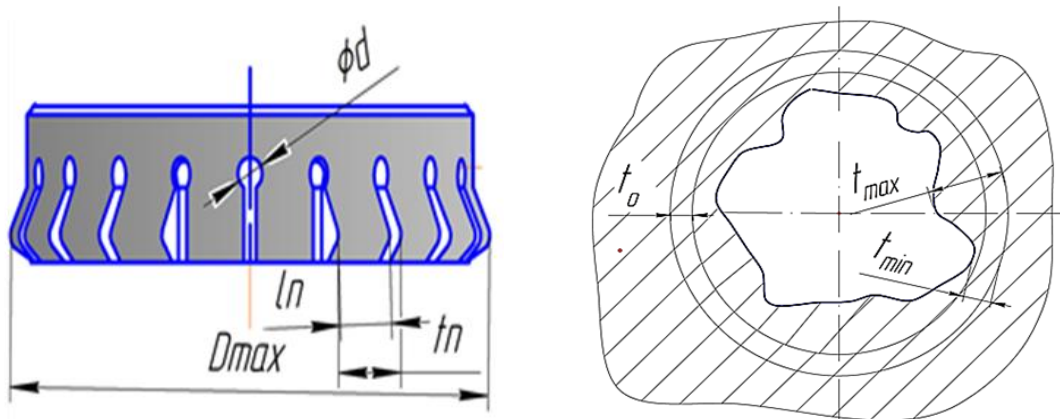
Рис. 2. Виброустойчивый зенкер в разобранном виде: 1 – режущая твердосплавная пластина, 2 – цилиндрическая ступень, 3 – шарикоподшипник, 4 – демпфирующий элемент, 5 – резиновое кольцо, 6 – крышка, 7 – винт.

Схема демпфирующего элемента представлена на рис. 3, а. Он выполнен в виде втулки 1, в которой со стороны одного из торцов выполнена кольцевая расточка, в которую вставлено с натягом резиновое кольцо 2 (возможна вулканизация резинового кольца во втулке).

На наружной поверхности втулки, в продольном направлении, выполнены пазы 3, в результате чего образуются консольные упругие пластины 4, предназначенные для контактного взаимодействия с отверстием заготовки и демпфирования колебаний режущего инструмента. Каждый из пазов 3 заканчивается отверстием диаметром  $\phi_d = 2$  мм, что исключает скалывание вершин треугольных режущих пластин при работе зенкера. Демпфер собирают и закрывают крышкой, для чего используют винты



а)



б)

в)

Рис. 3. – Демпфер колебаний: а – под действием радиальной нагрузки, б – общий вид.  
в - распределение припуска на обработку после наплавки.

Окружной шаг упругих пластин 4 (рис. 3, б)

$$t_{\text{п}} = \frac{\pi D_{\text{max}}}{k}, \quad (1)$$

где  $D_{\text{max}}$  – максимальный диаметр упругих пластин, по которому в процессе рабочей подачи инструмента происходит трение между отверстием заготовки и демпфирующим элементом;  $k$  – число упругих пластин, образованных в результате фрезерования продольных пазов 3.

Окружная ширина упругих пластин

$$l_{\text{п}} = \frac{\pi D_{\text{max}}}{k} - \Delta_{\text{п}}, \quad (2)$$

где  $\Delta_{\text{п}}$  – ширина паза 3.

Диаметр  $D_{\text{max}}$  наиболее удаленных от оси вращения точек криволинейного профиля (экстремальных точек) упругих пластин выполнен больше диаметра  $D_3$  отверстия заготовки. Это создает при работе инструмента натяг в соединении «упругие пластины – отверстие заготовки». При входе демпфирующего элемента 10 в отверстие заготовки 12 упругие пластины 11 сближаются в радиальном направлении. Возникают сжимающие радиальные силы  $R_1 \dots R_n$ .

Сжатие пластины 4 в радиальном направлении вызывает появление силы упругости

$$F_{yi} = c_1 \Delta_y, \quad (3)$$

где  $c_1$  – жесткость упругой пластины в радиальном направлении;  $\Delta_y$  – величина упругой деформации, обусловленной действием радиальной сжимающей силы  $R_i$  со стороны отверстия заготовки.

В статическом состоянии, демпфирующий элемент 10 введен в отверстие заготовки, но процесса обработки конического отверстия 13 не происходит (см. рис. 1). Радиальный шарикоподшипник 3 жестко установлен на корпусе инструмента, а демпфирующий элемент 4 – на подшипнике 3, поэтому реактивные силы  $R_1 \dots R_n$ , действуют также на корпус зенкера, создавая ему вторую дополнительную опору.

Сумма проекций сил  $R_1 \dots R_n$  на оси  $X$  и  $Y$  при отсутствии процесса резания равна нулю, то есть система сил находится в равновесии, однако демпфирующий элемент и заготовка подвержены действию взаимно уравновешивающихся сил  $R_i$  и  $F_{yi}$ .

Коническое отверстие 13 после наплавки износостойкого материала представляет собой неровную воронку, характеризующуюся значительным изменением припуска, что

приводит к прерывистым условиям резания. В этих условиях резания возникают перепады численных значений сил  $\Delta P_z$  и  $\Delta P_y$ .

Длина образующей конуса 13 составляет примерно 20 мм, что наряду с колебаниями припуска негативно также сказывается на повышении уровня вибрации в процессе зенкерования. Вибрация увеличивается по мере возрастания ширины контакта режущих пластин с заготовкой.

В конце рабочего цикла амплитуда колебаний режущего инструмента, применяемого в условиях действующего производства, достигает максимального значения и именно на этой стадии обработки чаще всего наблюдается поломка режущих пластин.

Причина такого положения объясняется малой жесткостью применяемого режущего инструмента, значительной длиной консоли, на которой расположены режущие пластины. Механическая обработка конического отверстия 13 возможна на сравнительно новом оборудовании при минимальных режимах резания, что резко снижает производительность процесса обработки и значительное повышение себестоимости ремонтной восстановительной операции.

Колебания генерируются дискретными силами  $\Delta P_z$  и  $\Delta P_y$  в зоне контакта режущих пластин с обрабатываемым коническим отверстием заготовки. Происходит прерывистое резание при снятии неровного наплавленного слоя.

После наплавки обрабатываемая поверхность отверстия имеет неровности, приводящие при обработке к стохастическому изменению фактической глубины резания от  $t_{max}$  до  $t_{min}$  (рис. 1, б).

Для полного снятия черноты с обрабатываемого отверстия глубину резания в процессе зенкерования следует назначать

$$t_{max} = t_o + t_i, \quad (4)$$

где  $t_o$  – постоянная составляющая общего припуска на зенкерование, обеспечивающая отсутствие черноты на обработанной поверхности;  $t_i$  – переменная составляющая общего припуска на обработку, определяемая качеством наплавки изношенной поверхности отверстия.

Компьютерной рандомизацией (с помощью генератора случайных чисел) определяем неравномерность наплавки отверстия, тем самым получаем распределение значений припуска по обрабатываемой поверхности. Максимальная глубина резания  $t_{max} = 11$  мм, минимальная  $t_{min} = 1,5$  мм. Под влиянием составляющей  $t_i$  глубины резания возникает главная  $\Delta P_z$  и радиальная  $\Delta P_y$  составляющие силы резания,

изменяющиеся во времени в соответствии с изменением переменной глубины резания  $t_i$  и являющиеся источником поддержания колебаний режущего инструмента.

Передача энергии колебаний от режущих пластин инструмента к массивной заготовке – наддресорной балке (масса заготовки 600 кг и более) происходит через контактное взаимодействие демпфирующего элемента с отверстием заготовки. В процессе резания составляющие  $\Delta P_z$  и  $\Delta P_y$  вызывают колебательные движения оси режущего инструмента, при этом равновесие между реактивными силами  $R_i$  со стороны отверстия заготовки и силами упругости  $F_{yi}$  пластин 4 нарушается.

Внутренняя полость и упругие пластины вулканизированы, например, резиной 6, в результате чего направляющий демпфер способен гасить как виброперемещения, так и виброскорость, возникающие в процессе механической обработки прерывистых поверхностей. Конструкция демпфера закрывается крышкой 7 и стягивается болтами 8.

Колебания зенкера генерируются в процессе прерывистого резания под действием переменного припуска, обусловленного неравномерностью наплавки изношенной поверхности заготовки (рис. 3).

Описанная конструкция виброустойчивого зенкера характеризуется значительной жесткостью режущего инструмента и технологической системы в целом, а также сравнительно низким уровнем вибрации несмотря на ударный характер работы режущих твердосплавных пластин о неровный наплавленный припуск.

Максимальная величина упругих деформаций зенкера при консольной схеме крепления в шпинделе металлорежущего станка определяется выражением:

$$y_{\max} = \frac{P_y l^3}{3EI}, \quad (5)$$

где  $P_y$  – радиальная составляющая силы резания;  $l$  – длина консольной части зенкера;  $E$  – модуль упругости материала корпуса зенкера;  $I = \pi d^4/64$  – момент инерции поперечного сечения зенкера;  $d$  – приведенный диаметр инструмента.

Жесткость консольного режущего инструмента

$$J_k = \frac{3EI}{l^3} \quad (6)$$

Максимальная величина упругих деформаций зенкера при портальной схеме крепления определяется:



$$y_{maxп} = \frac{P_y l^3}{48EI}. \quad (7)$$

Жесткость портално закрепленного режущего инструмента

$$J_k = \frac{48EI}{l^3} \quad (8)$$

Сравнение (3) и (4) свидетельствует о значительном увеличении жесткости режущего инструмента при порталном закреплении его в процессе механической обработки.

Обработка наплавленного отверстия виброустойчивым режущим инструментом характеризуется значительно более высоким уровнем демпфирования колебаний технологической системы, более высокой подачей инструмента, отсутствием следов дробления и снижением среднего арифметического отклонения профиля с 30-40 мкм до 5-8 мкм.

Уменьшается износ твердосплавных режущих пластин и повышается производительность технологической операции. Отмеченные результаты объясняются не только активным демпфированием колебаний направляющим демпфером, но и существенным повышением жесткости режущего инструмента.

Разработанный виброустойчивый зенкер прошел испытания в условиях научно-производственного объединения «Экспериментальный завод» г. Реж, Свердловской области на операции механической обработки конического отверстия надрессорной балки железнодорожных вагонов.

Механическая обработка известным инструментом характеризуется высоким уровнем вибрации технологической системы, который обусловлен не только обработкой прерывистой поверхности, но и большой шириной (18 – 20 мм) контакта твердосплавных пластин с обрабатываемой заготовкой.

Интенсивная вибрация в процессе зенкерования вынуждала проводить обработку на минимальных режимах резания, допускаемых технической характеристикой применяемого станка ФБ-01.

Применение предложенного режущего инструмента позволило уменьшить уровень вибрации элементов технологической системы и, в первую очередь, шпиндельного узла с установленным зенкером, увеличить режимы резания в 2,2 раза, что привело к повышению производительности зенкерования конического отверстия надрессорных

балок грузовых железнодорожных вагонов и повысить ресурс работы виброустойчивого зенкера.

*Вопросы для обсуждения.*

1. В чем заключается преимущество многолезвийного режущего инструмента перед однолезвийным?
2. Какова область эффективного использования многолезвийного режущего инструмента перед однолезвийным?
3. Каковы недостатки многолезвийного режущего инструмента?
4. Каковы современные тенденции развития многолезвийного режущего инструмента?
5. Возможно ли восстановление многогранных неперетачиваемых твердосплавных пластин после их износа?

*Контрольные вопросы.*

1. В чем суть работы виброустойчивого зенкера для механической обработки отверстия под шкворневой палец надрессорной балки железнодорожных вагонов?
2. Как устроен демпфер колебаний виброустойчивого зенкера для механической обработки отверстия надрессорной балки?
3. Как происходит контактное взаимодействие упругих элементов зенкера с обработанной поверхностью надрессорной балки?
5. Как разместить многогранные неперетачиваемые твердосплавные пластины в корпусе зенкера?
6. Какова схема комбинированного виброустойчивого зенкера для одновременной обработки конического, цилиндрического отверстий и бурта надрессорной балки?
7. Как следует выполнить посадочные гнезда в корпусе под многогранные неперетачиваемые твердосплавные пластины?

#### **4. Рекомендованная литература**

1. Гусев В. Г., Селиванов А. М. Современные материалы, техника и технология «Режущий инструмент для восстановительной обработки отверстий с неравномерным



припуском»: материалы международной научно-практической конференции. – Курск: Юго-зап. гос. ун-т, 2011. – 368 с.

2. Васин С. А. Прогнозирование виброустойчивости инструмента при точении и фрезеровании. М.: Машиностроение, 2006. – 383 с.

3. Пат. №2457926 С1 Российская Федерация, МПК В23В, 29/034. Режущий инструмент / Гусев В. Г., Селиванов А. М., Швагирев П. С.; заявл. 08.04.2011; опубл. 10.08.2012 Бюл. № 22.

*Вопросы для обсуждения.*

1. Каковы достоинства сборных абразивных шлифовальных кругов по сравнению со стандартными шлифовальными кругами?

2. Какова механическая прочность абразивных сегментов сборного шлифовального круга по сравнению с другими известными шлифовальными кругами (высокопористые круги, цельные круги с выступами и впадинами и др.)?

3. Какое основное отличие сборных шлифовальных кругов в отношении подачи смазочно-охлаждающей жидкости в зону резания и повышения эффективности ее действия на снижение температуры обрабатываемой поверхности заготовки?

4. В чем состоит основной недостаток сборных шлифовальных кругов?

*Контрольные вопросы.*

1. Для каких изделий выгодно применять шлифование сборными абразивными кругами?

2. Как размещают абразивные сегменты в корпусе сборного шлифовального круга? Приведите расчетные формулы и объясните методику расчета.

3. Как рассчитывают механическую прочность абразивных сегментов на растяжение?

4. Как рассчитывают механическую прочность абразивных сегментов на изгиб?

5. Как рассчитывают механическую прочность абразивных сегментов на смятие?

6. Как рассчитывают механическую прочность абразивных сегментов на срез?

7. Как сборный шлифовальный круг на отсутствие раскрытия контакта сегментов корпусом инструмента?

8. Как рассчитывают сборные абразивные шлифовальные круги на виброустойчивость?

## 5. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ

- многофункциональный токарный станок с ЧПУ фирмы ЭМСО модели TURN-155;
- многофункциональный фрезерный станок с ЧПУ фирмы HAAS;
- обрабатывающий центр QWAZER фирмы HEIDENHAIN;
- мультимедийные средства;
- стенд для корректировки шлифовальных кругов;
- конструкции дискретных шлифовальных кругов с лазерной дискретизацией режущей поверхности;
- методика расчета дискретных шлифовальных кругов.

### Список рекомендованной литературы

#### *а) основная литература;*

- 1.Гусев, В.Г. Плоское периферийное шлифование дискретными кругами: Монография / В. Г. Гусев, А. В. Морозов.– Йошкар-Ола: Коллоквиума, 2012. –222 с. – ISBN 978-5-905371-38-7.
- 2.Гусев, В.Г Технология плоского дискретного шлифования. – Уч. пос. с грифом УМО АМ / под ред. проф. В. Г. Гусева. – Владимир: изд-во Владим. гос. ун-та, – 2007. – 344 с. – ISBN 978-5-89368-825-2.

#### *б) дополнительная литература;*

- 1.Гусев, В.Г. Прогрессивные инструменты и технология шлифования: Коллективная монография./ Д.В. Ардашов, Ю.В. Василенко, В.Г. Гусев и др. – М.: Издательский «Спектр», 2013. – 320 с Раздел 2 «Прогрессивные шлифовальные инструменты с дискретной режущей поверхностью – ISBN 978-5-4442-0024-7. – 71 с.
- 2.Гусев, В. Г. Дискретное внутреннее шлифование / Степанов Ю. С., Гусев В. Г., Афанасьев Б.И.-М.: Машиностроение, 2004. – 190 с. – ISBN 5-94275-117-X.

#### *в) литература в периодических изданиях*

1. Гусев В. Г., Андрианов С. Б. Моделирование давления смазочно-охлаждающей жидкости при шлифовании инструментом с радиально-подвижными абразивными сегментами. – СТИН, 2013. - №2. – С.29 – 33.

2. Гусев В. Г., Симаков А. Г. Анализ схем торцового фрезерования прерывистых поверхностей. – СТИН, 2013. - №6. – С.27 – 30.

3. Гусев В. Г., Швагирев П. С. Снижение температуры заготовки при дискретном плоском торцовом шлифовании – СТИН, 2013. - №4. – С.23 – 27.

*в) программное обеспечение:*

- стандартные офисные программы,

*г) Интернет-ресурсы:*

1. <http://stroy-technics.ru/article/kompleksnyi-pokazatel-kachestva-mashin>
2. WWW. Arinstein.com. Свободный доступ
3. <http://masters.donntu.edu.ua/2002/foreign/tareq/book1.htm>
4. <http://delta-grup.ru/bibliot/3/156.htm>
5. <http://works.tarefer.ru/82/100144/index.html>