

Учреждение образования
«Брестский государственный технический университет»

Машиностроительный факультет
Кафедра «Машиностроение и эксплуатация автомобилей»

СОГЛАСОВАНО

Заведующий кафедрой

С. В. Монтик

«13» 05 2025 г.

СОГЛАСОВАНО

Декан факультета

С. Р. Онысько

«24» 05 2025 г.

**ЭЛЕКТРОННЫЙ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС
ПО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ**

**«Пути совершенствования инструмента для обработки деталей
машин»**

(название дисциплины)

для специальности:

7-06-0714-02 «Инновационные технологии в машиностроении»

Составитель: Левданский Алексей Маратович, старший преподаватель, м.т.н.

Рассмотрено и утверждено на заседании Научно-методического совета
университета 26.06.2025 г., протокол № 4.

руч. № 24/25-136

Пояснительная записка

Актуальность изучения дисциплины

Современное производство зависит от металлообрабатывающих инструментов и сроков их надежной эксплуатации. Широкое применение оборудования с числовым программным управлением предъявляет повышенные требования к надежности технологического процесса механической обработки, к физико-механическим свойствам обрабатываемой поверхности, ее шероховатости и точности обработки, требует значительного повышения размерной и технологической стойкости инструмента, его эксплуатационной надежности и долговечности. Требуется оперативно принимать оптимальные решения, учитывающие сложный комплекс вопросов связанных с назначением режимов резания, производительностью, точностью обработки резанием, свойствами обрабатываемой поверхности, влияющих в конечном итоге на себестоимость изготовления и надежность изделий в процессе эксплуатации.

Одним из основных направлений при решении задачи улучшения технического уровня и качества режущего инструмента в создании и внедрении материалосберегающих технологий, которые обуславливают необходимость разработки новых инструментальных материалов, использования методов упрочнения или нанесения износостойких покрытий на рабочие поверхности инструментов с целью увеличения их износостойкости.

Современное производство невозможно без эффективного и производительного режущего инструмента.

Цель и задачи дисциплины

Цель преподавания дисциплины «Пути совершенствования инструмента для обработки деталей машин» - научить магистра знаниям по решению задач технологического обеспечения выбора современных инструментов и их оснастки, методов их хранения и эксплуатации и рекомендаций по применению. Основные задачи дисциплины: 1) дать знания в области конструкции современных режущих инструментов, особенностями эксплуатации инструментов в условиях современного машиностроительного производства, навыки по их рациональному выбору и эффективные методы эксплуатации; в инженерном деле; 2) способствовать более быстрой адаптации магистров к предстоящей работе; 3) показать важность фундаментальной подготовки в металлообработке.

Электронный учебно-методический комплекс (ЭУМК) объединяет структурные элементы научно-методического обеспечения образования и представляет собой сборник материалов теоретического и практического характера для организации работы магистров технических наук по

специальности 7-06-0714-02 «Инновационные технологии в машиностроении».

ЭУМК разработан на основании Положения об учебно-методическом комплексе на уровне высшего образования, утвержденного Постановлением Министерства образования Республики Беларусь от 8 ноября 2022 г. № 427, и предназначен для реализации требований учебной программы по учебной дисциплине «Пути совершенствования инструмента для обработки деталей машин» по специальности 7-06-0714-02 «Инновационные технологии в машиностроении».

Цели ЭУМК:

- обеспечение качественного методического сопровождения процесса обучения;
- организация эффективной самостоятельной работы студентов.

Содержание и объем ЭУМК соответствуют образовательному стандарту Республики Беларусь ОСВО 7-06-0714-02-2023 и учебных планов специальности.

Материал представлен на требуемом методическом уровне и адаптирован к современным образовательным технологиям.

Структура учебно-методического комплекса по дисциплине «Пути совершенствования инструмента для обработки деталей машин»:

Теоретический раздел ЭУМК содержит материалы для теоретического изучения учебной дисциплины и представлен конспектом лекций.

Раздел контроля знаний ЭУМК содержит материалы для итоговой аттестации – экзамена, позволяющие определить соответствие результатов учебной деятельности обучающихся требованиям образовательных стандартов высшего образования.

Вспомогательный раздел ЭУМК включает учебную программу учреждения высшего образования по учебной дисциплине «Пути совершенствования инструмента для обработки деталей машин».

Рекомендации по организации работы с ЭУМК:

- лекции проводятся с использованием персонального компьютера;
- экзамен проводится в письменном виде.

Теоретический раздел

КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

«Пути совершенствования инструмента для обработки деталей машин»

Тема 1. Введение. Цели и задачи дисциплины.....	6
Тема 2. Инструментальная оснастка.....	6
2.1 Инструментальная оснастка станков с ЧПУ и автоматов	6
2.2 Специальные оправки и адаптеры	8
Тема 3. Современные инструментальные материалы и их роль в совершенствовании инструмента	14
3.1 Влияние инструментального материала на обработку и конструкцию инструмента	15
3.2 Инструментальные стали.....	17
3.3 Вольфрамсодержащие и безвольфрамовые твердые сплавы.....	18
3.4 Минералокерамика	19
3.5 Сверхтвердые материалы	21
3.6 Совершенствование сверхтвердых материалов	23
Тема 4. Влияние СОТС на современный режущий инструмент	24
4.1 Совершенствование подхода к использованию СОТС.....	24
4.2 Способы воздействия на резание.....	25
4.3 СОТС в виде аэрозоли.....	26
4.4 СОТС с использованием микрокапсул.....	26
4.5 Применение твердых и пластичных СОТС	26
4.6 Применение электростатического охлаждения режущего инструмента.....	27
4.7 Влияние активированных полимерсодержащих СОТС при обработке металлов резанием	27
4.8 Составы СОТС, рекомендуемые для магнитно-абразивного полирования разных металлов	31
Тема 5. Режущие инструменты для высокопроизводительной лезвийной и абразивной обработки	33
5.1 Конструкции режущего инструмента для высокопроизводительной обработки с сменными многогранными режущими пластинами	33
5.2 Инструмент для обработки тел вращения.....	36
5.3 Инструмент для обработки плоскостей	38
5.4 Инструмент для обработки отверстий.....	40
5.5 Конструкции специального осевого инструмента	50
Тема 6. Нанесение покрытий и модификация рабочих поверхностей режущих инструментов.	50
6.1 Общие сведения о методах нанесения покрытий и модификации рабочих поверхностей режущих инструментов	50
6.2 Виды износостойких покрытий и методы их получения: химического и физического осаждения покрытий	51
6.3 Газотермическое напыление	54
6.4 Особенности эксплуатации режущего инструмента с покрытием.....	55
Тема 7 Современные технологии обработки поверхности инструмента	56
7.1 Технологические методы повышения износостойкости режущего инструмента. Выбор оптимального метода поверхностной обработки режущего инструмента ...	56
7.2 Термическая обработка и легирование рабочих поверхностей режущих инструментов	58
7.3 Комбинированная обработка рабочих поверхностей режущих инструментов ..	59
ЛИТЕРАТУРА	60

Тема 1. Введение. Цели и задачи дисциплины.

Цель изучения дисциплины – научить знаниям по решению задач технологического обеспечения выбора современных инструментов и их оснастки, методов их хранения и эксплуатации и рекомендаций по применению.

Основные задачи дисциплины:

- 1) дать знания в области конструкции современных режущих инструментов, особенностями эксплуатации инструментов в условиях современного машиностроительного производства, навыки по их рациональному выбору и эффективные методы эксплуатации; в инженерном деле;
- 2) способствовать более быстрой адаптации магистров к предстоящей работе;
- 3) показать важность фундаментальной подготовки в металлообработке.

Тема 2. Инструментальная оснастка.

2.1 Инструментальная оснастка станков с ЧПУ и автоматов

Требуемая точность обработки и надежность станка в значительной степени определяются правильным выбором режущего инструмента. Основными элементами системы инструментальной оснастки станков с ЧПУ и автоматов (рис. 1) являются оправки, патроны и втулки, хвостовики которых имеют конусность 7:24. На базе этих элементов можно собирать инструментальные блоки, закрепляемые в шпинделе станка. Возможные сборочные компоновки показаны стрелками. Предусмотрены варианты оснастки также для станков с конусами Морзе.

Оправки для насадных фрез предназначены для крепления торцовых и цилиндрических фрез. Допустимое биение цилиндрической части относительно оси конуса не более 0,01 мм, торцовое биение поводка в сборе не более 0,02 мм. Цанговые патроны являются главным средством крепления инструмента с цилиндрическими хвостовиками.

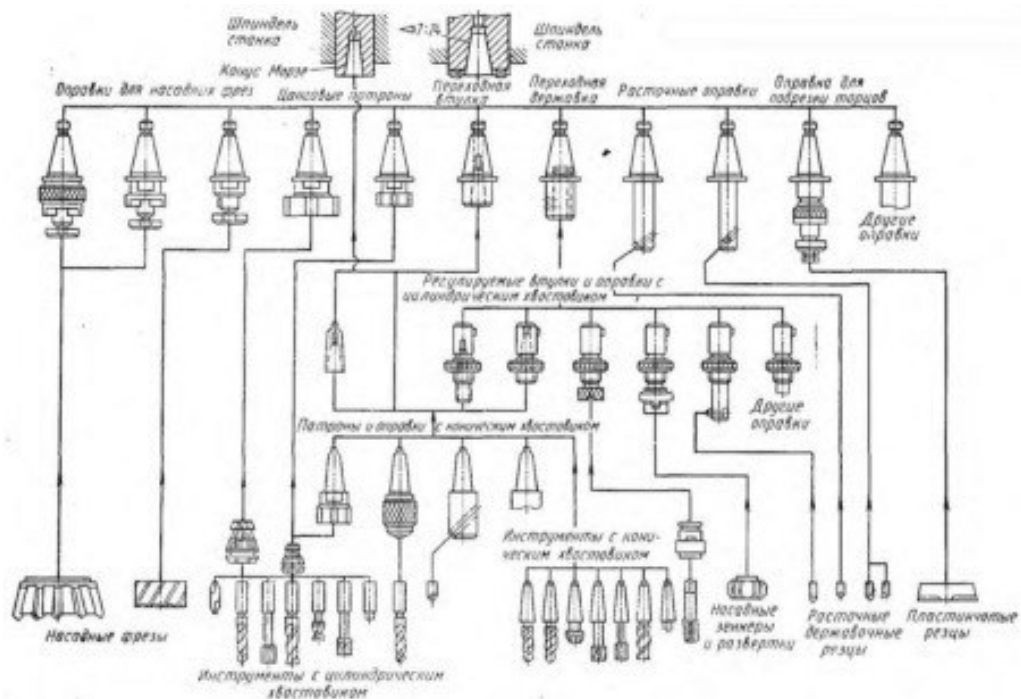


Рисунок 1 – Система инструментальной оснастки станков

Рекомендуются патроны (рис. 2, а), имеющие цанги повышенной эластичности, с большим числом прорезей с каждого торца. Для получения больших усилий затяжки инструмента конусность цанги выбирается 1:5. В патроне можно закреплять инструмент с хвостовиком диаметром 340 мм, обеспечивая необходимый вылет и регулирование положения вершины инструмента. Нерегулируемые переходные втулки служат для крепления инструмента с коническим хвостовиком. Они имеют внутренний конус Морзе и наружный конус 7:24. В таких втулках можно крепить хвостовики с конусом Морзе № 1-5 как сладкой, так и с резбовым концом. Переходные державки служат для крепления в них цилиндрических регулируемых втулок. Соединение осуществляется по скользящей посадке. Вылет инструмента с точностью до 0,1 мм регулируют с помощью специальных гаек. Такой способ крепления и регулирования рекомендуется для сверл, зенкеров и разверток.

Среди инструментальной оснастки станков предусматривается значительное число расточных оправок для чистовой и черновой обработки. Эти оправки рекомендуются для чистовой обработки отверстий до 2-го класса точности диаметром 20-250 мм. Они могут быть изготовлены с прямыми и наклонными гнездами под резцовые вставки с микрометрическим регулированием. В оправках для чернового растачивания отверстий диаметром 20-320 мм предусмотрено использование стандартных расточных резцов.

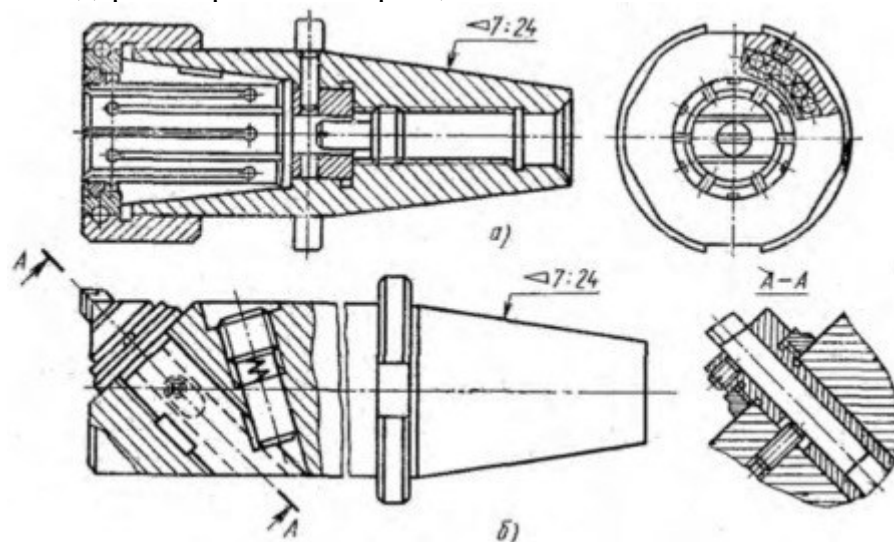


Рисунок 2 – Инструментальная оснастка: а - цанговый патрон; б – оправка

Стандартный режущий инструмент должен иметь высокое качество и точность изготовления. Нецентричность сердцевины спиральных сверл не должна превышать 0,1 мм, их радиальное биение в зависимости от диаметра допускается не более 0,03-0,1 мм, осевое биение режущих кромок не более 0,04-0,08 мм и смещение поперечной режущей кромки не более 0,04-0,08 мм. Хвостовики сверл для более точного и жесткого их крепления в цанговых патронах целесообразно выполнять без обратной конусности. При обработке отверстий с точными координатами эффективно использование коротких сверл (длиной, равной 45 диаметрам).

Перед сверлением точных по форме и расположению отверстий рекомендуется производить центровку укороченными сверлами с углом при вершине 90°. Диаметры этих сверл должны быть больше или равны диаметру обрабатываемых отверстий. Биение режущей части зенкеров и разверток не должно превышать соответственно 0,03-0,05 и 0,02-0,03 мм в зависимости от диаметра.

Радиальное биение калибрующей части разверток относительно оси хвостовика или посадочного отверстия не должно превышать 0,01-0,015 мм. Фрезы торцовые насадные необходимо выполнять с отверстием по 1-му классу точности; биение зубьев фрез не должно превышать 0,03-0,05 мм. Наружный диаметр концевых фрез должен быть выполнен по 2-му классу точности. Для нарезания резьб в автоматическом цикле следует применять метчики повышенной точности со шлифованным профилем.

Помимо инструментальной оснастки существенно повышает эффективность обработки применение специальных режущих инструментов:

- спиральные комбинированные ступенчатые сверла, предназначенные для совмещения операций сверления отверстий и снятия фасок или зенкерования под головки стандартных винтов;
- сборные перовые сверла со сменными режущими пластинами при обработке неглубоких отверстий диаметром 30-100 мм;
- головки для кольцевого сверления;
- многозубчатые расточные головки.

2.2 Специальные оправки и адаптеры

1. Для торцевых фрез



Рисунок 3

Торцевые фрезы, а также некоторые дисковые, устанавливают на оправках которые имеют короткую цилиндрическую часть. На торце оправки имеются два направляющих сухаря, который защищает фрезу от проворачивания на оправке. Затяжка фрезы производится винтом, вкручиваемым в торец оправки.

2. Для цилиндрических фрез

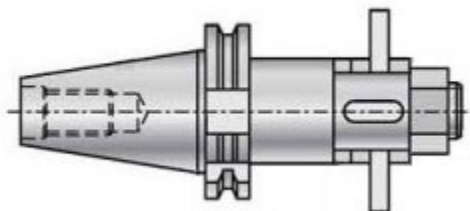


Рисунок 4

К фрезам этого типа также относятся дисковые, прорезные, отрезные, фасонные и угловые фрезы, поэтому их крепление выполняется таким же образом. По способу крепления эти фрезы называют насадными, поскольку они надеваются на оправки.

Оправки этого типа могут иметь различную длину части, на которой закрепляются фрезы. В большинстве случаев для защиты инструмента от проворота,

посадка на валу оправки осуществляется с помощью шпонки в пазу, который фрезеруют на всю возможную длину установки фрезы. На конце оправки нарезана резьба, на которую накручивается поджимная гайка. Для установки фрезы в нужной части оправки используются втулки, набор которых входит в комплект фрезерного станка. Втулки имеют разную ширину, и путем их подбора фреза размещается в требуемом месте. Для установки удобны регулируемые втулки, которые изменяют свою длину при вращении корпуса.

Длинная оправка для горизонтально фрезерного станка закрепляется вторым концом в серье хобота. Это обеспечивает достаточную жесткость и позволяет установить на оправку более одного инструмента.

3. Для концевых фрез и сверл

При выборе патрона необходимо определить для каких целей он будет использоваться:

- для зажима концевой фрезы, сверла, метчика или
- для обработки стали, чугуна, нержавейки или цветных металлов
- для черновых, получистовых или чистовых работ
- большой объем производства или небольшими партиями
- без применения СОЖ, наружная подача СОЖ через трубки или подача СОЖ через инструмент под давлением

Концевые фрезы имеют меньший диаметр, чем оправка, поэтому они крепятся не поверх нее, а в отверстии. Закрепление фрез и сверл с цилиндрическим хвостовиком диаметром до 20 мм удобнее всего производить в цанговых патронах ER. При больших нагрузках, у цанговых патронов есть вероятность вытягивания фрезы из патрона, однако достаточно неплохая точность по биению и гибкость делает их универсальным патроном для сверления и чистового и получистового фрезерования.

Для чернового фрезерования используют специальные усиленные цанговые патроны с цилиндрической цангой.



Рисунок 5

Для сверл с цилиндрическим хвостовиком небольшого диаметра так же применяются универсальные сверлильные патроны, в которые можно зажимать инструмент в очень широком диапазоне диаметров, но только сверла, т.к. данные патроны не воспринимают радиальную нагрузку. Усилие зажима у этих патронов меньше чем у цанговых, вследствие меньшей площади контакта с хвостовиком фрезы, а следовательно и вероятность проворота больше. Для выполнения точных работ применяются прецизионные сверлильные патроны.



Рисунок 6

Так же существует гидравлический цанговый патрон, в котором зажим цанги осуществляется за счет давления специальной жидкости – гидропласта, необходимое давление достигается путем поджима винтом мембрану внутри оправки. Гидравлическая мембрана обеспечивает высокое усилие зажима и точность по биению. Патрон очень прост в обращении и не требует отдельного оборудования, но имеет довольно высокую стоимость.



Рисунок 7

Другим вариантом зажима инструмента с цилиндрических хвостовиком является патрон с термообжимом. Отверстие в патроне немного меньше, чем диаметр хвостовика, для смены инструмента патрон нагревают индукционной катушкой, чтобы он расширился. Точность по биению очень хорошая при усилии зажима от среднего до высокого.

Необходимо различное тепловое расширение держателя и хвостовика инструмента, поэтому патроны с термообжимом используются в основном для цельных твердосплавных инструментов. Для смены инструмента необходимо специальное нагревательное оборудование, каждый патрон предназначен только для одного диаметра хвостовика и подвода СОЖ. Поэтому термообжим лучше всего подходит для специального производства с инструментальным участком для смены инструмента.



Рисунок 8

Для более высоких крутящих моментов используются инструменты имеющие хвостовик с лыской, для их зажима используются два типа патрона: патрон для сверл с хвостовиком ISO9766 и патрон Weldon для инструмента с хвостовиком DIN 6535-HB. Лыски обеспечивают сопротивление крутящему моменту и повышают надежность от вытягивания, но радиальное биение инструмента в данных патронах значительно выше чем в цанговых, что предопределяет их использование в основном для черновых работ.

Патрон для сверл с хвостовиком ISO9766 отличается от патрона Weldon лыской во всю длину хвостовика а не короткой, и шлифованной внутренней поверхностью.

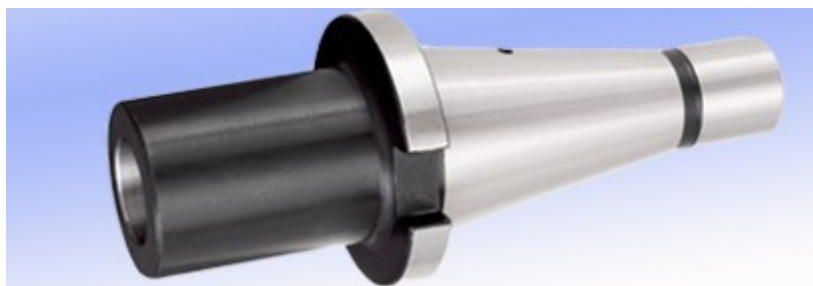


Рисунок 9

Для зажима концевых фрез и сверл с коническим хвостовиком используются специальные патроны с внутренним Конусом Морзе. Для фиксации сверл в таких патронах используется паз под лапку на торце сверла, а для фиксации фрез используется болт заворачивающийся в торец фрезы.



для сверл



для фрез

Рисунок 10

4. Для нарезания резьбы метчиком

Для нарезания резьбы применяются патроны с посадкой под квадратный хвостовик метчика. Существует довольно много конструкция патронов для нарезания резьбы но можно выделить основные.

На современных фрезерных станках существует два варианта нарезания резьбы метчиком:

А) Обычное резьбонарезание без синхронизации частоты вращения шпинделя с подачей по оси Z

Жесткое нарезание резьбы с синхронизацией частоты вращения шпинделя с подачей по оси Z. При первом варианте нарезания резьбы необходимо использовать специальные компенсирующие погрешность шага по оси Z патроны.

При втором варианте в теории использовать патроны с компенсацией не обязательно, для этого можно применять цанговые патроны с зажимом квадрата метчика четырьмя винтами



Рисунок 11

но на практике рекомендуют использовать метчиковые патроны типа SynchroFlex, со встроенным гибким элементом

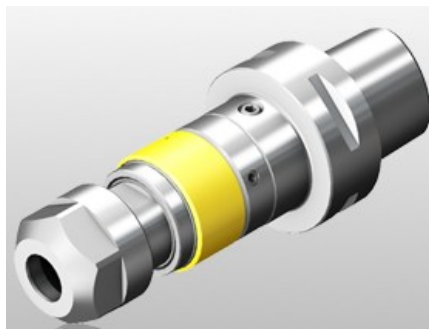


Рисунок 12

или использованием резиновых цанг



Рисунок 13

Для нарезания резьбы в глухих отверстиях необходимо использовать патроны с предохранительной муфтой, которая защищает оправку от превышения крутящего момента.

Так же используются оправки с быстросменным держателем, которые идут с набором патронов под каждый размер метчика. В таких оправках обычно предусмотрена осевая компенсация, но так же применяются и предохранительные муфты. Иногда предохранительная муфта предусмотрена в конструкции самого патрона цанги.



Рисунок 14

Для универсальных фрезерных станков предусмотрены патроны с реверсом, для вывода метчика из отверстия.



Рисунок 15

5. Для растачивания

Для растачивания на станках применяются два основных вида оправок:

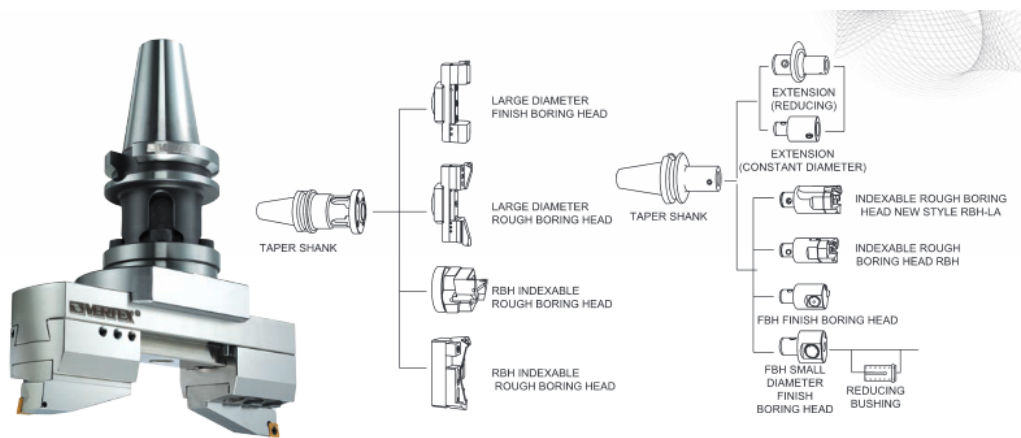


Рисунок 16 А) Модульная или сборная система – представляет собой оправку с фланцем на который крепятся различные расточные головки (с одним резцом, с двумя, для чернового растачивания и т.д.)



Рисунок 16 Б) Оправки с интегрированными револьверными головками

Револьверная головка в большинстве случаев представляет из себя оправку с закрепленной на торце, на направляющих, блок (или несколько блоков), с поперечным и продольным креплением резца, который можно смещать в перпендикулярном направлении относительно оси вращения оправки для регулирования вылета резца.

Тема 3. Современные инструментальные материалы и их роль в совершенствовании инструмента

Современные инструментальные материалы играют важную роль в совершенствовании инструментов для обработки материалов. Они могут повысить эффективность и качество обработки, увеличить срок службы инструмента и расширить его область применения.

Влияние инструментального материала на обработку заключается в его механических свойствах, таких как твердость, износостойкость, прочность и стойкость к высоким температурам. Выбор материала зависит от условий обработки, типа материала, который будет обрабатываться, и требований к качеству обработки.

Также инструментальный материал влияет на конструкцию инструмента. Например, использование современных твердосплавных материалов позволяет создавать более тонкие и точные режущие кромки, что особенно важно при обработке сложных деталей. Такие материалы также позволяют создавать более легкие и прочные инструменты, что улучшает управляемость и снижает нагрузку на оборудование и операторов.

Таким образом, выбор современных инструментальных материалов имеет огромное значение для совершенствования инструментов и повышения эффективности производственных процессов.

3.1 Влияние инструментального материала на обработку и конструкцию инструмента

Применение инструментальных материалов зависит от станка и режущего инструмента, необходимого качества и точности обработанных поверхностей, материалов и видов заготовки.

Требования к инструментальным материалам:

1) Эксплуатационные требования:

- высокая красностойкость, температуростойкость, износостойкость. Достаточная прочность, хорошая теплопроводность. Износостойкость определяет период стойкости инструмента, а значит его долговечность и производительность. Прочность материала определяет его пригодность для оснащения конкретного инструмента в заданных условиях работы.

2) Технологические требования:

- хорошая обрабатываемость;
- способность к пластическому деформированию;
- необходимые свойства термической обрабатываемости, т.е. хорошая закаливаемость и прокаливаемость.

3) Экономичность: материал должен быть экономичным

Инструментальные стали делят на углеродистые, легированные и быстрорежущие. Углеродистые стали производят качественными (марок У7, У8, ..., У13, У8Г) и высококачественными (марок У7А, У8А, ..., У13А, У8ГА). Для этих сталей характерно низкое содержание примесей Mn, Si, S, P. Недостатками являются их чувствительность к перегреву и отсутствие теплостойкости. В настоящее время данные стали используются для изготовления слесарного, измерительного и мелкоразмерного режущего инструмента.

Низколегированные инструментальные стали содержат до 5 % легирующих элементов и повышенное количество углерода. Их применяют для инструмента, работающего при небольших скоростях резания, не вызывающих нагрева свыше 200...260 °С.

Быстрорежущие стали – это высоколегированные стали, предназначенные для изготовления инструментов высокой производительности. Быстрорежущие стали сохраняют свои свойства до 550...600 °С. Инструменты из этих сталей допускают работу на скоростях в 3...5 раз, превышающих скорость работы инструмента из углеродистых сталей (скорости резания 20...60 м/мин). Основой высоких режущих свойств этих сплавов является наличие в них больших количеств карбидообразующих элементов, таких как W, Cr, V, Mo. В настоящее время из быстрорежущих сталей изготавливают режущий инструмент всех видов, рабочие

части штампов (например, пуансоны высадочных штампов горячего деформирования), измерительный инструмент.

Твердые сплавы изготавливают из порошков высокотвердых тугоплавких карбидов вольфрама, титана, тантала и металлической связки – кобальта. В зависимости от состава карбидной основы различают три группы твердых сплавов: вольфрамовые (группа ВК), вольфрамтитановые (группа ТК) и вольфрамтитанотанталовые (группа ТТК). Данные сплавы имеют твердость 87...92 HRA и обладают высокими износостойкостью и теплостойкостью (800...1000 °С). Это позволяет вести обработку изделий со скоростями резания до 15 м/с. В настоящее время около 80...90 % всех токарных резцов снабжено неперетачиваемыми твердосплавными пластинами. Сплавы группы ВК в основном идут для обработки заготовок из хрупких металлов, пластмасс, неметаллических материалов. Например, для обработки чугунов используют сплав ВК8, сплавы ВК4, ВК6, ВК8 широко применяются для обработки цветных металлов и их сплавов. Сплавы других групп в основном применяют для обработки пластичных и вязких материалов, сплавов, заготовок по литейной корке.

Безвольфрамовые твердые сплавы (ТН-20, КТН-16, КТН-20, КТН-30 и др.), в отличие от вольфрамосодержащих, обладают рядом преимуществ: высокая окалинотойкость, стойкость к окислению на воздухе, хорошие показатели скольжения и др. Такие твердые сплавы характеризуются повышенной жаростойкостью из-за образования на поверхности изделий тонкой оксидной пленки. Причем такая пленка обладает хорошей адгезией и выступает в качестве твердой смазки в процессе эксплуатации инструмента при повышенных температурах. Недостатки: низкие значения прочности и модуля упругости, а также склонность к трещинообразованию, чувствительны к тепловым и ударным нагрузкам. Используются для полустогового и чистового точения, а также фрезерования углеродистых, легированных и жаропрочных сталей.

Основу минералокерамики составляет окись алюминия Al_2O_3 (технический глинозем) с небольшими добавками окиси магния MgO (от 0,5 до 1 %). Твердость минералокерамических сплавов составляет 91...93 HRA, а теплостойкость достигает 1200 °С. Минералокерамика не содержит дорогостоящих и дефицитных материалов, таких как вольфрам, не окисляется в процессе резания. Это допускает обработку инструментом, оснащенным такими пластинами, на скорости резания свыше 200 м/мин. Недостаток – ее хрупкость. Поэтому инструмент, оснащенный минералокерамическими пластинами, применяют для чистовой обработки различных сталей и сплавов в условиях отсутствия ударных нагрузок.

Улучшенные минералокерамические сплавы, состоящие из соединений окиси алюминия и сложных карбидов вольфрама и молибдена, носят название керметы. Они обладают более высокими эксплуатационными свойствами, чем минералокерамика и могут использоваться при работе в условиях ударного нагружения режущей части инструмента.

Сверхтвердые инструментальные материалы выпускают на основе плотных модификаций кубического нитрида бора (cBN). Данный материал превосходит по теплостойкости (до 1400 °С): алмаз в 1,9 раза; твердый сплав в 1,7 раза; минералокерамику в 1,2 раза. Кубический нитрид бора обладает твердостью близкой к твердости алмаза, имеет высокую теплопроводность и химическую инертность к углероду и железу. В машиностроительном производстве инструментальные материалы на основе плотных модификаций кубического нитрида бора используют

для предварительного и окончательного точения сплавов в условиях безударной или ударной нагрузки (при наличии на обрабатываемой поверхности отверстий, пазов, ребер) и для торцевого фрезерования закаленных деталей из чугунов любой твердости с наличием поверхностной литейной корки.

3.2 Инструментальные стали

В зависимости от химического состава инструментальные стали подразделяются на углеродистые, легированные и быстрорежущие.

Основным химическим элементом, определяющим твердость и физико-механические свойства, является углерод.

В холодном состоянии эти стали различаются по твердости незначительно.

Основное их различие – это разная теплостойкость.

В зависимости от химического состава инструментальные стали подразделяются на углеродистые, легированные и быстрорежущие.

У них основным химическим элементом, определяющим твердость и физико-механические свойства, является углерод.

В холодном состоянии эти стали различаются по твердости незначительно. Основное их различие – это разная теплостойкость.

Углеродистые стали производят качественными (марок У7, У8, ..., У13, У8Г) и высококачественными (марок У7А, У8А, ..., У13А, У8ГА). Для этих сталей характерно низкое содержание примесей Mn, Si, S, P. Недостатками являются их чувствительность к перегреву и отсутствие теплостойкости. В настоящее время данные стали используются для изготовления слесарного, измерительного и мелкоразмерного режущего инструмента. Инструментальные углеродистые стали обозначаются буквой У, за которой следует цифра, характеризующая массовое содержание углерода в стали в десятых долях процента. Так, в стали марки У10 массовое содержание углерода составляет один процент. Буква А в обозначении соответствует высококачественным сталям с пониженным массовым содержанием примесей.

Низколегированные инструментальные стали содержат до 5 % легирующих элементов и повышенное количество углерода. Их применяют для инструмента, работающего при небольших скоростях резания, не вызывающих нагрева свыше 200...260 °С. В инструментальных низколегированных сталях первая цифра, характеризует массовое содержание углерода в десятых долях процента (если цифра отсутствует, то содержание углерода в ней до одного процента). Буквы в обозначении указывают на содержание соответствующих легирующих элементов: Г - марганец, Х - хром, С - кремний, В - вольфрам, Ф - ванадий, а цифры обозначают содержание элемента в процентах. Инструментальные легированные стали глубокой прокаливаемости марок 9ХС, ХВСГ, Х, 11Х, ХВГ отличаются малыми деформациями при термической обработке.

Быстрорежущие стали – это высоколегированные стали, предназначенные для изготовления инструментов высокой производительности. Быстрорежущие стали сохраняют свои свойства до 550...600 °С. Инструменты из этих сталей допускают работу на скоростях в 3...5 раз, превышающих скорость работы инструмента из углеродистых сталей (скорости резания 20...60 м/мин). Основой высоких режущих свойств этих сплавов является наличие в них больших количеств карбидообразующих элементов, таких как W, Cr, V, Mo. В настоящее время из

быстрорежущих сталей изготавливают режущий инструмент всех видов, рабочие части штампов (например, пуансоны высадочных штампов горячего деформирования), измерительный инструмент. По составу быстрорежущая сталь делится на фольфрамовую (P9, P12, P18, P18Ф2), высокованадиевую (P9Ф5, P14Ф4), кобальтовую (P9K5, P9K10), кобальтованадиевую (P10K5Ф5, P18K5Ф2). В маркировке быстрорежущих сталей присутствует буква P, число после буквы P – процентное содержание вольфрама, Ф – ванадий, K – кобальт.

3.3 Вольфрамосодержащие и безвольфрамовые твердые сплавы

Твердые сплавы – это инструментальный материал, состоящий из твердых зерен карбидов, соединенных связкой. Основное свойство карбидов – их твердость.

Основными карбидами для изготовления твердых сплавов являются: карбид вольфрама (WC), карбид титана (TiC), карбид тантала (TaC). В качестве связки служит металлический кобальт (Co).

Твердые сплавы изготавливают методом порошковой металлургии. Порошки карбидов смешивают в определенных пропорциях, прессуют в формах и спекают при температуре 1500...2000°C. При спекании твердые сплавы приобретают высокую твердость и в дополнительной термической обработке не нуждаются.

Твердые сплавы изготавливают из порошков высокотвердых тугоплавких карбидов вольфрама, титана, тантала и металлической связки – кобальта. В зависимости от состава карбидной основы различают три группы вольфрамовых твердых сплавов: вольфрамовые (группа ВК), вольфрамотитановые (группа ТК) и вольфрамотитанотанталовые (группа ТТК). Данные сплавы имеют твердость 87...92 HRA и обладают высокими износостойкостью и теплостойкостью (800...1000 °C). Это позволяет вести обработку изделий со скоростями резания до 15 м/с. В настоящее время около 80...90 % всех токарных резцов снабжено неперетачиваемыми твердосплавными пластинами. Сплавы группы ВК в основном идут для обработки заготовок из хрупких металлов, пластмасс, неметаллических материалов. Например, для обработки чугунов используют сплав ВК8, сплавы ВК4, ВК6, ВК8 широко применяются для обработки цветных металлов и их сплавов. Сплавы других групп в основном применяют для обработки пластичных и вязких материалов, сплавов, заготовок по литейной корке. В зависимости от состава карбидной фазы и связки обозначение твердых сплавов включает буквы, характеризующие карбидообразующие элементы (В - вольфрам, Т - титан, вторая буква Т - тантал) и связку (буква К - кобальт). Массовая доля карбидообразующих элементов в однокарбидных сплавах, содержащих только карбид вольфрама, определяется разностью между 100% и массовой долей связки (цифра после буквы К), например, сплав ВК4 содержит 4% кобальта и 96% WC. В двухкарбидных WC+TiC сплавах цифра после буквы карбидообразующего элемента определяется массовой долей карбидов этого элемента, следующая цифра - массовая доля связки, остальное - массовая доля карбида вольфрама (например, сплав Т5К10 содержит 5% TiC, 10% Co и 85% WC). В трехкарбидных сплавах цифра после букв ТТ означает массовую долю карбидов титана и тантала. Цифра за буквой К - массовая доля связки, остальное - массовая доля карбида вольфрама (например, сплав ТТ8К6 содержит 6% кобальта, 8% карбидов титана и тантала и 86% карбида вольфрама).

Безвольфрамовые твердые сплавы

Общим недостатком вольфрамосодержащих твердых сплавов помимо высокой хрупкости является повышенная дефицитность вольфрамовой руды – основного компонента, определяющего их повышенные физико-механические характеристики. Поэтому в последние годы стали применять так называемые безвольфрамовые твердые сплавы.

Карбиды вольфрама были заменены карбидами титана с добавками молибдена, никеля и других тугоплавких металлов. В качестве связки – никель и молибден. Они маркируются буквами КТС и ТН.

Безвольфрамовые твердые сплавы (ТН-20, КТН-16, КТН-20, КТН-30 и др.), в отличие от вольфрамосодержащих, обладают рядом преимуществ: высокая окалиностойкость, стойкость к окислению на воздухе, хорошие показатели скольжения и др. Такие твердые сплавы характеризуются повышенной жаростойкостью из-за образования на поверхности изделий тонкой оксидной пленки. Причем такая пленка обладает хорошей адгезией и выступает в качестве твердой смазки в процессе эксплуатации инструмента при повышенных температурах. Недостатки: низкие значения прочности и модуля упругости, а также склонность к трещинообразованию, чувствительны к тепловым и ударным нагрузкам. Используются для получистового и чистового точения, а также фрезерования углеродистых, легированных и жаропрочных сталей.

3.4 Минералокерамика

Основу минералокерамики составляет окись алюминия Al_2O_3 (технический глинозем) с небольшими добавками окиси магния MgO (от 0,5 до 1 %). Твердость минералокерамических сплавов составляет 91...93 HRA, а теплостойкость достигает 1200 °С. Минералокерамика не содержит дорогостоящих и дефицитных материалов, таких как вольфрам, не окисляется в процессе резания. Это допускает обработку инструментом, оснащенным такими пластинами, на скорости резания свыше 200 м/мин. Недостаток – ее хрупкость. Поэтому инструмент, оснащенный минералокерамическими пластинами, применяют для чистовой обработки различных сталей и сплавов в условиях отсутствия ударных нагрузок.

Улучшенные минералокерамические сплавы, состоящие из соединений окиси алюминия и сложных карбидов вольфрама и молибдена, носят название керметы. Они обладают более высокими эксплуатационными свойствами, чем минералокерамика и могут использоваться при работе в условиях ударного нагружения режущей части инструмента.

Кроме традиционных марок оксидной керамики и керметов, широко применяются оксидно-нитридная керамика (например, керамика марки "кортинит" (смесь корунда или оксида алюминия с нитридом титана) и нитридно-кремниевая керамика- "силинит-Р").

Минералокерамические пластинки присоединяются к державкам инструмента различными способами: механическим путем, приклеиванием специальными клеями, припаиванием. Обычные припои, применяемые для напайки твердосплавных пластинок, в данном случае непригодны, так как не смачивают поверхность минералокерамики и не обеспечивают ее прочного соединения с металлом. Поэтому приходится использовать специальные припои, или производить

предварительную металлизацию минералокерамических пластинок в среде вакуума.

Наиболее целесообразным и распространенным является механическое крепление минералокерамических пластинок. К припаиванию или приклеиванию следует прибегать лишь тогда, когда это обуславливается особенностями конструкции инструмента, например, для расточных резцов, некоторых многолезвийных инструментов и т. д.

Наибольшее распространение получила минералокерамика марки ЦМ332 (микролит), выпускаемая Московским комбинатом твердых сплавов.

ЦМ332 обладает очень высокой твердостью (примерно такой же, как наиболее износостойкие твердые сплавы) и исключительной теплостойкостью — до 1 200°.

Благодаря указанным особенностям, режущие свойства минералокерамики очень высоки и в этом отношении она превосходит твердые сплавы. Известны примеры, когда при точении стали 45 стойкость пластинок ЦМ332 оказывалась почти в 8 раз выше, чем стойкость пластинок из твердого сплава Т15К6. В отдельных случаях резцами с пластинками ЦМ332 успешно осуществляли кратковременное резание конструкционных сталей со скоростью резания около 4 000 м/мин; резцы, оснащенные наиболее износостойким твердым сплавом Т60К6, в таких же условиях мгновенно притуплялись при скорости 2 000 м/мин. При обработке закаленной стали, когда в зоне резания возникает очень высокая температура, минералокерамика допускает применение скоростей резания в 2,5—3 раза больших, чем твердые сплавы.

При обработке чугунов преимущества минералокерамики перед твердыми сплавами в отношении режущих свойств еще более значительны.

Наряду с высокими режущими свойствами минералокерамика отличается очень низкой прочностью на изгиб — она примерно в 4 раза ниже, чем у твердых сплавов, и в 10 раз ниже, чем у быстрорежущей стали. Поэтому использование минералокерамических пластинок сопровождается частыми случаями их выкрашивания и поломок. Кроме того, минералокерамические пластинки пока еще имеют значительную неоднородность физикомеханических и режущих свойств.

В настоящее время минералокерамика во многих случаях успешно применяется при чистовой и получистовой обработке чугуна, цветных металлов, пластмасс, а также сталей. Имеются примеры удачного применения минералокерамики также и на обдирочных операциях.

Эффективность использования инструментов с минералокерамическими пластинками тем больше, чем относительно меньше сечение срезаемого слоя и больше скорость резания; исключительное значение при этом приобретают высокая жесткость системы станок—инструмент—обрабатываемая деталь, отсутствие резких изменений в величине сил резания, отсутствие вибраций и других причин, которые могут способствовать выкрашиванию и поломкам этого пока еще слишком хрупкого инструментального материала. Поэтому резцы с минералокерамическими пластинками следует применять на быстроходных и мощных станках, обладающих повышенной жесткостью.

Экономическая целесообразность внедрения минералокерамики вместо твердых сплавов очень убедительно подчеркивается таким сравнением: техническая окись алюминия стоит в 125 раз дешевле, чем порошок карбида вольфрама, который является сырьем для изготовления твердых сплавов. Однако для широкого

промышленного применения минералокерамики в качестве инструментального материала необходимо существенно (хотя бы в 1,5—2 раза) повысить ее прочность и обеспечить достаточную однородность физикомеханических и режущих свойств минералокерамических пластинок.

3.5 Сверхтвердые материалы

Синтетические сверхтвердые материалы изготавливаются либо на основе кубического нитрида бора – КНБ, либо на основе алмазов.

Кубический нитрид бора обладает твердостью близкой к твердости алмаза, имеет высокую теплопроводность и химическую инертность к углероду и железу. В машиностроительном производстве инструментальные материалы на основе плотных модификаций кубического нитрида бора используют для предварительного и окончательного точения сплавов в условиях безударной или ударной нагрузки (при наличии на обрабатываемой поверхности отверстий, пазов, ребер) и для торцевого фрезерования закаленных деталей из чугунов любой твердости с наличием поверхностной литейной корки.

Кубический нитрид бора (КНБ) – имеет химический состав: 44% бора и 56% азота. Исходным материалом для его получения служит гексагональный нитрид бора (ГНБ), имеющий близкие к графиту характеристики. В результате синтеза, протекающего при высоких давлениях и температурах (есть значительная аналогия с синтезом алмаза), гексагональная решетка ГНБ превращается в более плотную и твердую кубическую решетку КНБ. По твердости КНБ (90 ГПа) близок к твердости алмаза, а по теплостойкости (1500° С) значительно превосходит все инструментальные материалы. Следует отметить чрезвычайную химическую инертность КНБ, в частности к железу и углеродистым сплавам.

Для изготовления лезвийных инструментов используются поликристаллы КНБ и композиционные материалы, созданные на его основе. Все они носят название «композиты». Первым поликристаллическим КНБ, выпущенным отечественной промышленностью, был Эльбор-Р (композит 01). В настоящее время разработана целая гамма поликристаллических материалов на основе твердых модификаций нитрида бора. К ним относятся: гексанит -Р (композит 10), композит 05, белбор (композит 02), ПТНБ (композит 09), композит 10Д, композит 12. Они синтезируются в виде цилиндрических столбиков диаметром 4...8 мм, высотой 3...6 мм, которыми затем оснащаются режущие инструменты. Перечисленные материалы отличаются технологией изготовления и соответственно свойствами.

Эльбор и белбор содержат более 98% КНБ, из-за чего они обладают повышенной твердостью и хрупкостью, гексанит содержит 95% КНБ и 5% более мягких компонентов, поэтому он обладает меньшей твердостью, но большей вязкостью. Материал «композит 05» содержит 75% КНБ и 25% Al_2O_3 .

Основным направлением в применении лезвийных инструментов на базе кубического нитрида бора является обработка сталей и чугунов различной твердости. Причем чем выше твердость стали или чугуна, а также скорость резания, тем значительнее преимущество инструментов из композита по сравнению с инструментами из твердого сплава и минералокерамики. Так, при точении закаленных сталей твердостью 62...64 HRC стойкость резцов из композита при скоростях резания 80... 100 м/мин выше стойкости резцов из твердого сплава ТЗОК4 в 20 раз и выше стойкости резцов из минералокерамики в 3...4 раза. При этом

обеспечиваются 5...6-й квалитеты точности и шероховатость поверхности $Ra = 0,16 \dots 0,08$ мкм. Поэтому применение лезвийных инструментов из композита позволяет во многих случаях заменить операции внутреннего и наружного шлифования.

Природный алмаз является самым твердым из известных материалов (твердость порядка 100 ГПа). Он обладает высокой износостойкостью, хорошей теплопроводностью ($\lambda = 140$ Вт/(м·К)), малым коэффициентом трения и малой адгезионной способностью к металлам, за исключением железа и его сплавов с углеродом. К недостаткам алмаза как инструментального материала можно отнести сравнительно низкую теплостойкость и большую хрупкость ($\sigma = 0,3 \dots 0,6$ ГПа), что требует использования станков высокой жесткости и виброустойчивости.

В природе чаще всего встречаются следующие разновидности алмаза: борт, карбонадо и баллас.

Алмаз представляет собой одну из модификаций углерода кристаллического строения. Высокая твердость алмаза объясняется своеобразием его кристаллического строения, прочностью связей атомов углерода в кристаллической решетке, расположенных на равных и очень малых расстояниях друг от друга. Однако прочность алмаза не велика и он легко раскалывается по плоскостям спайкости.

Природные алмазы используются в виде кристаллов, закрепляемых в металлическом корпусе резца.

На основе синтетических алмазов известны такие марки, как АСБ - алмаз синтетический "баллас", АСПК - алмаз синтетический "карбонадо" и другие. Достоинства этих материалов - высокая химическая и коррозионная стойкость, минимальные радиусы закругления лезвий и коэффициент трения с обрабатываемым материалом. Однако, алмазы имеют существенные недостатки: низкая прочность на изгиб (210-480 МПа); химическая активность к некоторым жирам содержащимся в охлаждающей жидкости; растворение в железе при температурах 750-800 °С, что практически исключает возможность их использования для обработки сталей и чугуна. В основном, поликристаллические искусственные алмазы применяются для обработки алюминия, меди и сплавов на их основе.

По твердости синтетические поликристаллы лишь незначительно уступают природным монокристаллам алмаза. Обладая более высокими прочностными характеристиками, поликристаллические алмазные вставки позволяют успешно выдерживать значительные безударные нагрузки, имеющие место как при обработке резанием вязких и пластичных материалов, так и при выглаживании закаленных стальных поверхностей.

Синтетические алмазы по сравнению с природными имеют ряд преимуществ, обусловленных их более высокими прочностными и динамическими характеристиками. Их можно использовать не только для точения, но также и для фрезерования. Синтетические алмазы менее чувствительны к динамическим нагрузкам и позволяют вести обработку с большим сечением среза (глубиной и подачей).

Природные и синтетические алмазы нашли широкое применение в обработке медных, алюминиевых и магниевых сплавов баббитов, благородных металлов (золота, серебра, палладия, платины), титана и его сплавов, неметаллических материалов (пластмасс, текстолита, стеклотекстолита, органического стекла, прессованного и силицированного графита), а также твердых сплавов и керамики. В

настоящее время выпускается большое количество разнообразного инструмента с использованием алмазов: шлифовальные круги, инструменты для правки шлифовальных кругов из электрокорунда и карбида кремния, пасты и порошки для доводочных и притирочных операций. Значительные по размерам кристаллы алмазов применяют для изготовления алмазных резцов, фрез, сверл и других режущих инструментов. Область применения алмазного инструмента с каждым годом все более расширяется.

Кроме имеющихся сверхтвердых материалов разработаны новые СТМ, показавшие достаточно высокие эксплуатационные свойства. К ним относится силинит-Р — инструментальный материал на основе нитрида кремния (SiN)

Силинит-Р обладает такой же прочностью на изгиб, как и оксидно-карбидная минералокерамика ($\sigma_{\text{и}} = 49\text{--}68 \text{ кгс/мм}^2$), но большей твердостью (HRA 94—96) и стабильностью свойств при высокой температуре. Теплостойкость достигает 1600°C . Для силинита-Р характерно отсутствие адгезии с большинством сталей и сплавов на основе алюминия и меди. Из этого материала изготавливают как напайные, так и неперетачиваемые механически закрепляемые пластины.

Благодаря высокой твердости силинит-Р превосходит по стойкости твердые сплавы при обработке закаленных сталей. Он позволяет заменять вольфрамосодержащие твердые сплавы на операциях получистового и чистового точения различных материалов. При обработке закаленных сталей его применение может заменить шлифование.

3.6 Совершенствование сверхтвердых материалов

Современное применение алмазных инструментов началось примерно 150 лет назад, когда в 1862 году швейцарским инженером Ж. Лешо была предложена концепция создания алмазных буровых коронок, что дало название данному классу материалов. Первоначально для изготовления алмазного инструмента использовали природный сверхтвердый материал карбонадо (скрытокристаллические массы из микроскопических кристаллов алмаза, графита, аморфного углерода и пр.). Последующий прогресс в технологиях производства и широкое использование методов порошковой металлургии привели к созданию в 1940 году пропитанных алмазной крошкой режущих дисков.

Дальнейшее развитие технологии производства режущего инструмента в основном связано с появлением синтетических алмазов, когда в 1953 году, когда группой исследователей шведской фирмы ASEA были получены положительные и воспроизводимые результаты. В 1955 году, независимо от них, компания «Дженерал Электрик» объявила о возможности промышленного изготовления синтетических алмазов и подала заявку на патент. Постоянный прогресс в технологии производства синтетических алмазов способствовал повышению коммерческой значимости синтетических шлифпорошков, которые сейчас составляют почти 99 % всех используемых технических алмазов. В новом тысячелетии рынок алмазного инструмента продолжает быстро расти. Данные 2010 года свидетельствуют о том, что мировое производство синтетических алмазов превысило 4,38 млрд карат, где лидирующие позиции в сфере их производства и потребления занимает Китай. Действующая в настоящее время классификация материалов для алмазного инструмента показана на рис. 18.

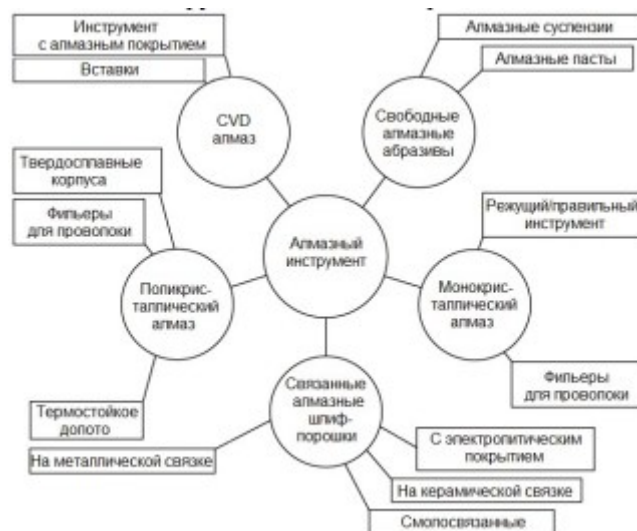


Рисунок 17 – Классификация сверхтвердых материалов

Композиционные сверхтвердые материалы на основе поликристаллических алмазов (PCD) нашли широкое применение при изготовлении режущего и бурового инструмента (долот, коронок, резцов). CVD алмаз, приближающийся по своим свойствам к наиболее совершенным монокристаллам алмаза, также находит все большее применение как инструментальный материал, в частности, как покрытие на вставках режущего инструмента. Разнообразный режущий и сверильный инструмент, в частности, буровые головки, развертки, зенковки с CVD алмазными покрытиями, широко применяется для механической обработки цветных металлов, пластмасс и композиционных материалов. Однако существует ряд технологических препятствий на пути получения эффективного инструмента на основе CVD алмаза. Прежде всего, это характерный для алмаза вообще и CVD алмаза, в частности, чрезвычайно низкий коэффициент теплового расширения, в которых, это анизотропия свойств поликристаллических CVD алмазов, обусловленная колончатым строением кристаллитов. Эти факторы при изготовлении традиционными способами и эксплуатации инструмента на основе CVD алмаза часто приводят к возникновению опасных термических напряжений в материале, которые ведут к его разрушению.

Тема 4. Влияние СОТС на современный режущий инструмент

4.1 Совершенствование подхода к использованию СОТС

Эффективность применения СОЖ сильно зависит от способа ее подачи в зону резания. К наиболее распространенным относятся следующие способы: свободно падающей струей (поливом); под давлением через сопловые насадки; под высоким давлением через каналы в инструменте с выходом в зону резания; в распыленном состоянии. Проникновение среды в зону резания зависит как от физических свойств СОЖ, так и от способа подвода ее в зону резания. Способ подачи поливом прост (рис. 2, а), но имеет следующие недостатки: малая скорость струи, большой расход и разбрызгивание жидкости. При подаче поливом СОЖ отбирает теплоту от обрабатываемой поверхности заготовки, приближающейся к зоне резания, от поверхностей нагретой стружки, поверхностей резца, которые не контактируют со стружкой и заготовкой, и от обработанной поверхности. Однако степень влияния этих тепловых потоков неодинакова.

Эффективность смазочного и охлаждающего действия усиливается при подаче СОЖ в контактную зону под давлением, так как это способствует лучшему проникновению среды на тяжело нагруженные контактные поверхности. Струю СОЖ при подаче под высоким давлением направляют в зону между нижней поверхностью стружки и передней поверхностью инструмента при давлении 1,5...15 МПа в зависимости от характеристик рабочей станции. Также используют подачу на заднюю поверхность и на обе поверхности одновременно с применением внутреннего подвода СОЖ через инструмент. Улучшается дробление стружки, уменьшаются коэффициент трения и температура в зоне резания, увеличивается период стойкости инструмента, обеспечиваются хорошая производительность и стабильность обработки. Несмотря на свои преимущества, способ подачи СОЖ под высоким давлением имеет следующие недостатки: необходимость использования специальных насосов; необходимость тщательной очистки СОЖ, а также точного регулирования давления и направления струи; повышенное разбрызгивание жидкости, требующее применения защитных кабинетов.

В последние годы все более широко используют способ подачи СОЖ в распыленном состоянии, также известный как технология минимального количества смазки, или «полусухая» обработка (наиболее распространенное название в зарубежной литературе — Minimum Quantity Lubrication, далее — MQL). Технология MQL заключается в подаче сверхмалых доз СОЖ в виде аэрозоля в зону контакта режущего инструмента и обрабатываемой детали. В основном для данного метода используют биоразлагаемые масла на растительной основе. Благодаря применению систем MQL значительно снижается расход СОЖ, уменьшается вред, наносимый окружающей среде от утилизации смазок. Для сравнения ниже приведен расход СОЖ в зависимости от способа подачи:

Полив СОЖ, подача СОЖ под высоким давлением	10–100 л/мин
MQL.....	50–100 мл/ч

4.2 Способы воздействия на резание

Современные смазывающе-охлаждающие технологические среды (СОТС) – это сложные многокомпонентные соединения продуктов нефтяного и химического производства. Цель использования СОТС – повышение стойкости инструмента, уменьшение силы резания, улучшение качества обработанной поверхности, удаление стружки из зоны резания. В основе действия СОТС лежат следующие эффекты, которые позволяют уменьшить износ режущего инструмента: смазочный, охлаждающий и моющий.

Смазочный эффект – уменьшение сил адгезии и трения на поверхностях инструмента. Необходимым условием проявления этого эффекта является способность СОТС проникать между контактирующими поверхностями по капиллярам и образовывать там пленки, уменьшающие коэффициент трения.

Охлаждающий эффект – снижение температуры в зоне контакта режущего инструмента с обрабатываемым материалом за счет уменьшения тепловыделения и увеличения теплоотвода. Уменьшение тепловыделения происходит благодаря влиянию СОТС на прочность отделяемого слоя материала, повышение его хрупкости, уменьшение работы, затрачиваемой на стружкообразование.

Интенсивность теплоотвода в основном зависит от вязкости, теплопроводности и скорости движения СОТС, разности температур охлаждаемой

поверхности и СОТС. При непрерывных процессах резания СОТС практически не достигает контактных поверхностей в зоне резания, поэтому снижение температуры происходит только в результате охлаждения режущего инструмента и обрабатываемой детали. Следовательно, интенсивность охлаждения можно повысить за счет высоконапорной подачи СОТС, подачи СОТС со стороны задней поверхности или по специальным каналам, изготовленным в теле инструмента, подачи СОТС в виде тумана. При этом СОТС в виде эмульсии или в виде водных растворов имеют лучшие охлаждающие свойства по сравнению с масляными СОТС.

Моющий эффект – это обеспечение выноса из зоны резания стружки, продуктов изнашивания режущего инструмента и продуктов распада СОТС.

4.3 СОТС в виде аэрозоли

В последние годы все более широко используют способ подачи СОЖ в распыленном состоянии, также известный как технология минимального количества смазки, или «полусухая» обработка (наиболее распространенное название в зарубежной литературе — Minimum Quantity Lubrication, далее — MQL). Технология MQL заключается в подаче сверхмалых доз СОЖ в виде аэрозоля в зону контакта режущего инструмента и обрабатываемой детали. В основном для данного метода используют биоразлагаемые масла на растительной основе. Благодаря применению систем MQL значительно снижается расход СОЖ, уменьшается вред, наносимый окружающей среде от утилизации смазок. Для сравнения ниже приведен расход СОЖ в зависимости от способа подачи:

Полив СОЖ, подача СОЖ под высоким давлением	10–100 л/мин
MQL.....	50–100 мл/ч

Метод MQL обладает в большей степени смазывающей, чем охлаждающей способностью. В силу недостаточного охлаждения применение метода лимитировано при обработке ТМ, таких как титановые сплавы и сплавы на никелевой основе.

4.4 СОТС с использованием микрокапсул

Данный способ применения СОТС заключается в использовании присадок в виде микрокапсул. Придание среде многофункциональности действия при помощи присадок позволяет: регулировать температурный порог поступления присадки в контактную зону резца – обрабатываемый материал за счет заданной термостойкости оболочки МК; обеспечить совместное действие двух или нескольких присадок, несовместимых в растворенном виде, в том числе через введение присадок не только в объем МК, но и в состав ее оболочки; снизить уровень вредных выделений в зону обслуживания; обеспечить введение биоцидов в ионном виде путем поступления присадки через полупроницаемую оболочку МК в объем жидкости; при регенерации и утилизации СОТС удалять остатки непрореагировавшей присадки можно за счет отфильтрования МК; предохранять оборудование и магистрали среды от коррозионного воздействия присадки.

4.5 Применение твердых и пластичных СОТС

Твердые СОТС. В их состав включены такие компоненты, как мягкие металлы (олово, свинец, медь), органические вещества (полимеры, воски, твердые жиры, мыла) или минеральные материалы со слоистой структурой (дисульфид молибдена, слюда, графит). Твердые СОТС эффективны при высоких температурах и нагрузках и используются в качестве покрытия поверхностей, когда другие СОТС оказываются неработоспособными. Обычно в нормальных условиях СОТС такого типа не применяется, так как обладает малоэффективным теплоотводом, а ее эксплуатация вызывает трудности.

Пластичные СОТС. Они, как правило, используются в ходе ручной обработки металлических поверхностей (например, при сверлении, полировании, нарезании резьбы). Пластичные СОТС иногда затруднительно подвести в зону резания. Кроме того, у них низкая эффективность теплоотвода и их невозможно собрать и очистить для повторного применения. К СОТС этого типа относятся пластичные смазки с неорганическими, мыльными или углеводородными загустителями.

4.6 Применение электростатического охлаждения режущего инструмента

Смазывающее действие СЭО проявляется в более интенсивном образовании граничной оксидной пленки, адсорбционно и химически связанной с трущейся поверхностью. Толщина пленки колеблется от нескольких десятков до нескольких сотен ангстрем. Сопротивление сдвигу пленки выше, чем у жидких пленок. Высокая интенсивность образования пленки и процесс пассивации объясняется наличием озона и ионов кислорода. Смазывающее и проникающее действия при СЭО проявляется весьма заметно за счет наличия заряженных частиц и их направленного движения в результате как гидродинамического движения воздуха, так и разности потенциалов. Режущие и пластифицирующие свойства СЭО приводят к образованию размягченного слоя, играющего роль смазочного материала. В основе двух последних свойств лежит так называемый эффект Ребиндера, заключающийся в изменении механических свойств твердых тел под влиянием поверхностных физико-химических процессов, приводящих к снижению поверхностной энергии твердого тела и к соответствующему снижению прочности. Одна из специфических особенностей СЭО – сильное электрическое поле и направленное движение униполярно заряженных частиц, вызывающих приток, или наоборот уход электронов с поверхности металла. При положительной короне приповерхностный слой металла оказывается обогащен электронами, при отрицательной – наоборот.

4.7 Влияние активированных полимерсодержащих СОТС при обработке металлов резанием

Одним из важных направлений повышения работоспособности режущих инструментов и совершенствования процессов обработки металлов резанием является широкое применение смазочно-охлаждающих технологических средств (СОТС). Интенсификация процессов механической обработки металлов и внедрение высокопроизводительного оборудования, автоматизированных процессов приводят к тому, что обработка металлов резанием зачастую становится затруднительной без применения эффективных СОТС. В связи с разнообразием требований, предъявляемых к указанным СОТС, в них вводят компоненты различного

функционального действия. Как показывает опыт, применение в качестве присадок высокомолекулярных соединений способствует улучшению смазочных свойств СОТС. Данный вид присадок эффективен благодаря глубокому и многостороннему воздействию на физико-химические и механические процессы и явления, происходящие в зоне резания.

Установлено, что процесс образования химически активных компонентов смазочной среды (атомов, ионов, реакционных элементов свободных радикалов, ион-радикалов) можно интенсифицировать различными внешними энергетическими воздействиями на технологическое средство. Компоненты СОТС, подвергнутые предварительной активации, получают дополнительную энергию и переходят в метастабильное состояние. Указанное состояние характеризуется ослаблением или частичным нарушением внутримолекулярных связей, то есть стимулируется деструкция СОТС с образованием активных атомов, радикалов и групп. Именно эти активные элементы образуют в зоне контакта пленки, которые, в свою очередь, экранируют адгезионное взаимодействие поверхностей инструмента и обрабатываемого материала.

Высокая эффективность и универсальность действия полимерных СОТС обусловлена наличием в их составе растворенных или диспергированных присадок высокомолекулярных соединений. Данные присадки проходят стадии преобразований

процесс термомеханодеструкции и возможное образование новых химических соединений в контактной зоне резца и стружки. Аналогичный результат имеет место и в процессе физической активации.

Известно, что в ходе химических превращений полимера образуются соединения высокой химической активности. Данные соединения, хотя и не дают сразу конечных продуктов, но участвуют в различных процессах переходного характера не только в полимерной системе, но и на ювенильных металлических поверхностях. Все это в конечном итоге приводит к образованию и накоплению в зоне обработки различных химически активных продуктов. Отметим, что на процесс образования радикалов влияет присутствие ионизирующего излучения или присутствие заряженных частиц в компонентах СОТС. При соответствующих условиях (температуре, каталитическом действии ювенильных поверхностей металлов) наличие ионизирующего излучения может быть мощным генератором свободных радикалов. Так, в качестве усиления смазочного химического действия полимерсодержащих СОТС можно применить физический метод активации, а именно активацию коронным разрядом. В данной работе для изучения влияния коронного разряда на действие СОТС с присадками полимеров на процесс обработки металлов резанием были взяты полиэтиленгликоль и поливиниловый спирт (см. таблицу).

В качестве смазочно-охлаждающей технологической среды (базового СОТС) использовался 5%-й раствор «Эфтол» (ТУ 0258-137-05744685-00). Эффективность воздействия активированных СОТС с присадками полимеров на процессы лезвийной обработки изучалась при точении стали 45 упорно-проходными резцами из быстрорежущей стали Р6М5. Были проведены исследования по определению стойкостных показателей режущих инструментов при введении в зону резания активированных и неактивированных СОТС, содержащих присадки высокомолекулярных соединений. При проведении экспериментов через равные промежутки времени измерялся износ по задней поверхности. За критерий износа

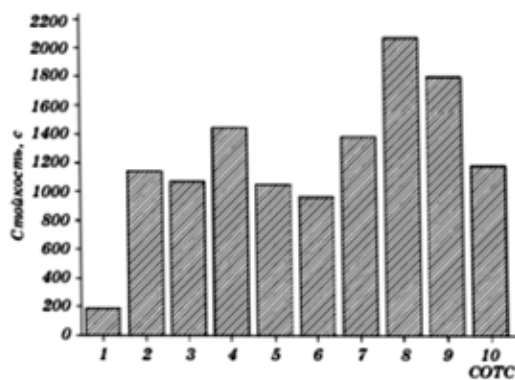
была принята величина фаски износа по задней поверхности, равная 0,6 мм. Как показывают результаты исследований (рис. 18а), активированные СОТС, имеющие в своём составе указанные присадки, более эффективны, чем неактивированные.

Таблица 1 - Присадки

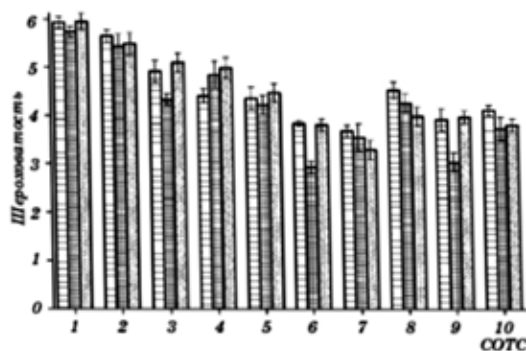
Характеристика	Полиэтиленгликоль	Поливиниловый спирт
Химическая формула	$\text{HO}-(\text{CH}_2\text{CH}_2\text{O})_n-\text{H}$	$[\text{CH}_2\text{CH}(\text{OH})]_n$
Молекулярная масса	1000	8000
Плотность, г/см ³	1,12–1,21	1,25
Температура деструкции, °С	245	230

Было установлено, что на эффективность данных СОТС влияет как знак на коронирующем электроде, так и используемый полимер. Максимальная износостойкость резцов наблюдалась при наличии отрицательного знака на коронирующем электроде и применении в качестве присадки поливинилового спирта. При положительном знаке на электроде износостойкость увеличивалась, но незначительно.

Немаловажным критерием для сравнительной оценки различных факторов, оказывающих непосредственное влияние на характер процесса резания, является шероховатость обработанной поверхности. При условии сохранения постоянных геометрических параметров режущего инструмента, режимов резания, обрабатываемого материала и всех других условий проведения эксперимента по изменению шероховатости поверхности можно судить об эффективности действия того или иного СОТС. С этой целью были проведены измерения шероховатости поверхности стали 45 после точения с различными скоростями резания, выбранными согласно. Наибольшее влияние СОТС проявляется в зоне сравнительно невысоких и средних скоростей резания (рис. 18б). С увеличением скорости резания влияние СОТС на уменьшение шероховатости обработанной поверхности снижается, хотя и не исчезает полностью.



Стойкость упорнопроходных резцов из быстрорежущей стали Р6М5 при точении стали 45 под действием коронного разряда различного знака на полимерсодержащие СОТС (скорость резания $V = 1,1$ м/с; подача $S = 0,1$ мм/об; глубина резания $t = 0,5$ мм):
 1 — всухую; 2 — «Эфтол»; 3 — «Эфтол» (+); 4 — «Эфтол» (-);
 5 — «Эфтол» + поливиниловый спирт (ПВС); 6 — «Эфтол» +
 + полиэтиленгликоль (ПЭГ); 7 — «Эфтол» + ПВС(+); 8 — «Эфтол» +
 + ПВС(-); 9 — «Эфтол» + ПЭГ(-); 10 — «Эфтол» + ПЭГ(+).
 В скобках указан знак заряда



Влияние активированного и неактивированного полимерсодержащего СОТС на шероховатость поверхности стали 45 при использовании упорнопроходных резцов из быстрорежущей стали Р6М5 в зависимости от скорости ($S = 0,1$ мм/об; $t = 0,5$ мм):

1 — всухую; 2 — «Эфтол»; 3 — «Эфтол» + ПЭГ; 4 — «Эфтол» +
 + ПВС; 5 — «Эфтол» (-); 6 — «Эфтол» + ПЭГ(-); 7 — «Эфтол» +
 + ПЭГ(+); 8 — «Эфтол» (+); 9 — «Эфтол» + ПЭГ(+); 10 — «Эфтол» +
 + ПВС(+); 11 — «Эфтол» + ПВС(-); 12 — «Эфтол» + ПЭГ(-); 13 — «Эфтол» +
 + ПЭГ(+). В скобках указан знак заряда

а) б)
Рисунок 18 – Характеристики СОТС

Экспериментальные данные, полученные в настоящей работе, свидетельствуют о том, что процессы окисления и химического взаимодействия происходят с образованием промежуточных элементов, свободных атомов и радикалов. Максимальной способностью к генерации свободных атомов и

радикалов обладают вещества, характеризующиеся непрочной связью между атомами в молекуле, в данном случае это полимеры, имеющие в своём строении боковые цепи. Не исключена вероятность разрушения и главной цепи полимера. Полученные положительные результаты влияния активированного СОТС с полимерными присадками на стойкость токарных резцов также можно объяснить особенностью механизма резания под действием адсорбционной полимерной плёнки, образующейся при резании металлов с полимерсодержащим СОТС, и характером деформации, проходящей в металле.

В СОТС под действием коронного разряда указанные выше присадки разрушаются с образованием функциональных групп, например ОН, СООН и др. В свою очередь, образовавшиеся функциональные группы теряют электрон и становятся активными радикалами. Разрушение нейтральных молекул внешней среды на атомы и радикалы осуществляется в результате взаимодействия нейтральных молекул с электронами или иными энергетическими частицами. Очевидно, что энергия связи между атомами в молекуле меньше, чем энергия, образующаяся при коронном разряде. Следовательно, происходит разрушение молекулы полимера с последующим образованием активных радикалов. Кроме того, активация может способствовать образованию значительного количества гидроксильных радикалов, что в результате их взаимодействия между собой может привести к образованию, например, перекиси водорода, положительный эффект которой в процессах резания обусловлен способностью выделять активный кислород.

Согласно теории радикально-цепного механизма, образование оксидных соединений, выполняющих роль смазочных разделительных слоёв, можно объяснить следующим образом. Известно, что химические реакции на поверхности твёрдого тела (в данном случае стружки и резца) осуществляются возбуждёнными частицами, ионами, свободными атомами и радикалами, а не нейтральными молекулами. Обычный двухатомный газ, например кислород, является инертным в химическом отношении, и лишь термическая диссоциация, электронный удар, световое облучение или электрический разряд переводят его в атомарное состояние. Таким образом, эффективность смазочного действия кислорода зависит от его состояния в зоне резания: молекулярного, атомарного или радикального.

Как показали исследования В. Н. Латышева, в составе продуктов пиролиза органических веществ (эмульсий, масел, поверхностно-активных веществ) также содержится большое количество свободных радикалов. Высокая эффективность СОТС, содержащих окислительные вещества (перекиси, органические гидроокиси), при резании металлов указывает на то, что химическая смазка осуществляется не нейтральными молекулами, а реакционно-активными частицами — свободными атомами и радикалами, в данном случае — радикалами гидроксила и карбоксила.

Образование химических радикалов может происходить как естественным, так и принудительным путём. Общие закономерности процессов принудительного и естественного образования радикалов практически не отличаются.

Полученные в ходе эксперимента данные являются ещё одним подтверждением теории радикально-цепного механизма смазочного действия внешних сред при резании металлов. Анализ результатов показал, что при лезвийной обработке активированные полимерсодержащие СОТС позволяют существенно повысить стойкость режущего инструмента, уменьшить шероховатость

обработанной поверхности и, соответственно, уменьшить энергетические затраты на процесс механической обработки.

4.8 Составы СОТС, рекомендуемые для магнитно-абразивного полирования разных металлов

Таблица 2 – Составы СОЖ, рекомендуемые для магнитно-абразивного полирования

Обрабатываемый металл	Состав СОЖ
Сталь углеродистая конструкционная, легированная	1) триэтаноламин (1%), олеиновая кислота (0,5%), керосин (1,5%), остальное – вода 2) Аквол-10 (1...1,5%), остальное – вода
Чугун серый, высокопрочный, ковкий	триэтаноламин (0,25%), олеиновая кислота (0,5%), мылонафт (0,6%), эмульгатор ОП-7 (0,6%), тринатрийфосфат (0,35%), нитрит натрия (0,35%), остальное – вода
Медь, бронза, латунь, алюминиевые сплавы	1) триэтаноламин (1%), олеиновая кислота (0,5%), глицерин (0,25%), остальное – вода 2) Аквол-10 (1,5...2,5%), остальное – вода

Сущность и особенности метода магнитно-абразивной обработки (МАО)

Сущность магнитно-абразивной обработки заключается в том, что порошковая ферромагнитная абразивная масса, уплотнённая энергией магнитного поля, осуществляет абразивное воздействие на обрабатываемую деталь. Магнитно-абразивным способом можно успешно обрабатывать поверхности: цилиндрические наружные и внутренние; плоские; тел вращения с криволинейной образующей; винтовые; с эвольвентным, трапецеидальным и другим профилем.

Смазочно-охлаждающие жидкости

Применение смазочно-охлаждающих жидкостей (СОЖ) в абразивных процессах обработки решает ряд задач, основными из которых являются: снижение температуры резания, снижение шероховатости обработанной поверхности, удаление продуктов диспергирования материала из зоны обработки и с поверхности режущего контура инструмента.

Магнитно-абразивная обработка существенно отличается от традиционных абразивных способов более низкой температурой в зоне обработки (обычно 60...150°C), преобладанием микро- и субмикропроцессов резания и выглаживания, формированием поверхности с низкой шероховатостью ($Ra \leq 0,16$ мкм), удалением тонких слоёв металла (как правило, 5...30 мкм). Естественно, что состав и свойства применяемых при МАО.

СОЖ должны соответствовать указанным выше отличиям.

Считается, как наиболее важные, адсорбирующий и моющий эффекты СОЖ в процессе МАО. Дефекты поверхности металла в микрообъеме имеют вид трещин и щелей клиноподобного сечения, в которых свободная поверхностная энергия возрастает от нуля в наиболее узкой части щели до максимального нормального значения на поверхности тела. Присутствующие в СОЖ молекулы поверхностно-активных веществ (ПАВ) абсорбируются на стенках микротрещин, снижают поверхностную энергию, разупрочняют тонкий поверхностный слой и облегчают его диспергирование при обработке. Отмечена преимущественная концентрация

молекул ПАВ на вершинах выступов микронеровностей, что благоприятно сказывается на результатах реализации тонких абразивных способов, в том числе и МАО.

Моющий эффект СОЖ проявляется многопланово и обусловлен её химическим составом. Применяемые при МАО СОЖ должны иметь пониженную вязкость, обладать

способностью проникать в микронеровности рельефа, смачивать их поверхность и обеспечивать абсорбцию молекул ПАВ. Кроме этого, важнейшей функцией СОЖ является

удаление из зоны обработки и с поверхности детали плёнки шлама, состоящей из продуктов диспергирования материала и частиц износа и разрушения ферроабразивных зёрен. Образование плёнки шлама происходит более интенсивно при использовании в качестве СОЖ эмульсий.

В массе порошка-инструмента имеет место фильтрация - расслоение СОЖ, масляная составляющая концентрируется в зоне обработки и на поверхности детали, увеличивает вязкость и прочность плёнки. В итоге снижается интенсивность процессов резания и выглаживания, а также затрудняется очистка-мойка обработанной детали. В табл. 3 приведены данные о плёнках шламов, образующихся при использовании различных СОЖ.

Таблица 3 – Состав и характеристики прочности пленок шлама

Вид СОЖ	Компоненты пленки, %			Способ удаления пленки
	твердые	масляные	водные	
5%-й водный раствор эмульсола Э2	65	12	23	Специальные растворители, ультразвуковая или механическая очистка
Водный раствор триэтанол-амина (1%), керосина (1,5%) и олеиновой кислоты (0,5%)	91	2	7	Растворители
3%-й водный раствор Аквол-10	98	–	2	Не требует специальных средств очистки

Можно повысить интенсивность процесса МАО в 1,5 раза, применив в качестве СОЖ электролит (например, 10%-й водный раствор NaCl) с пропусканием электрического тока через зону обработки и осуществлением процесса электрохимического подтравливания поверхности обрабатываемой детали.

Рекомендуется подавать СОЖ в зону обработки способом свободно падающей струи под давлением не более 5 кгс/см^2 (0,5 МПа).

На основании результатов многочисленных экспериментальных исследований предложен ряд составов СОЖ для МАО изделий из различных конструкционных материалов (табл. 4).

Таблица 4 – Составы СОЖ

Обрабатываемый металл	Состав СОЖ
Сталь углеродистая конструкционная, легированная	1) триэтаноламин (1%), олеиновая кислота (0,5%), керосин (1,5%), остальное – вода 2) Аквол-10 (1...1,5%), остальное – вода
Чугун серый, высокопрочный, ковкий	триэтаноламин (0,25%), олеиновая кислота (0,5%), мылонафт (0,6%), эмульгатор ОП-7 (0,6%), тринатрийфосфат (0,35%), нитрит натрия (0,35%), остальное – вода
Медь, бронза, латунь, алюминиевые сплавы	1) триэтаноламин (1%), олеиновая кислота (0,5%), глицерин (0,25%), остальное – вода 2) Аквол-10 (1,5...2,5%), остальное – вода

Тема 5. Режущие инструменты для высокопроизводительной лезвийной и абразивной обработки

5.1 Конструкции режущего инструмента для высокопроизводительной обработки с сменными многогранными режущими пластинами

В настоящее время при металлообработке широко применяются сборные резцы и инструменты (фрезы, сверла и др.) со сменными многогранными неперетачиваемыми (СМП) и перетачиваемыми (СМПП) пластинами.

Инструменты, оснащенные СМП, по сравнению с напайными, имеют следующие преимущества:

- более высокие прочность, надежность и стойкость;
- меньшие расходы на смену и утилизацию пластин;
- меньшие простои оборудования при замене и наладке инструмента, что особенно важно при эксплуатации современных дорогостоящих станков с ЧПУ и автоматических линий;
- более благоприятные условия для нанесения на пластины износостойких покрытий, что позволяет значительно (от 4 до 5 раз) повысить их стойкость, а, следовательно, и производительность процесса резания;
- меньшие потери остродефицитных материалов (вольфрама, кобальта, тантала и др.) за счет увеличения возврата пластин на переработку.

Недостатки инструментов, оснащенных СМП следующие:

- высокая стоимость из-за их высокой точности, а, следовательно, высокой трудоемкости изготовления пластин и инструмента в целом;
- повышенные габариты корпусов инструментов из-за необходимости размещения в них элементов крепления пластин;
- невозможность полного обеспечения оптимальной геометрии режущей части инструмента из-за заданной формы пластин и условий их крепления; меньшая жесткость.

По числу режущих кромок и форм пластины имеют различные исполнения, закрепленные в международных и национальных стандартах. Некоторые из них приведены на рисунке 19, а.

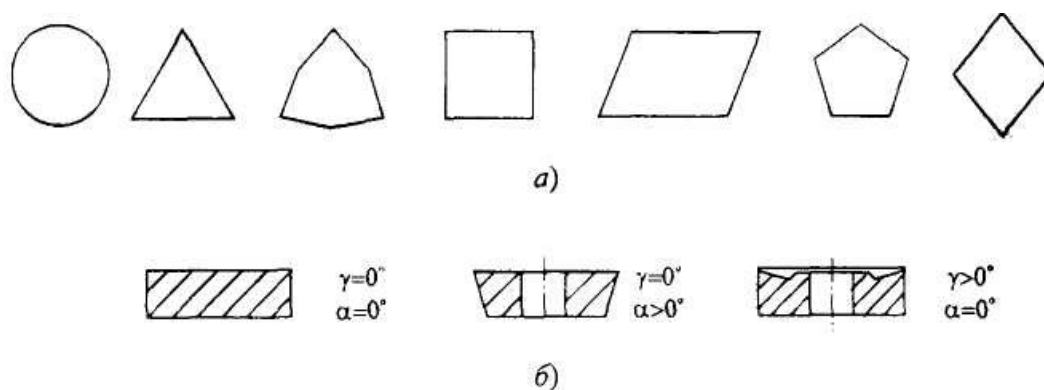


Рисунок 19 – Твердосплавные многогранные пластины (СМП):
а) - формы пластин; б) - геометрические параметры пластин (негативных, позитивных, негативно-позитивных)

Геометрические параметры инструментов, оснащенных СМП, определяют в статике при изготовлении пластин и корректируют при их закреплении в корпусе (державке) инструмента с учетом кинематики станка и условий резания.

По геометрическим параметрам СМП делятся на: а) негативные ($\gamma = 0^\circ$, $\alpha = 0^\circ$); б) позитивные ($\gamma = 0^\circ$, $\alpha > 0^\circ$); в) негативно-позитивные ($\gamma > 0^\circ$, $\alpha = 0^\circ$) (рисунок 20, б).

Задний угол при установке негативных и негативно-позитивных пластин создается за счет их поворота при креплении в державке резца. При этом у негативных пластин передние углы становятся отрицательными, т.е. $(-) = -$, у негативно-позитивных пластин угол уменьшается на величину угла α . У позитивных пластин угол равен углу поворота пластины по часовой стрелке, а угол уменьшается на эту же величину.

Существует множество конструкций резцов, различающихся по способу крепления СМП, часть которых с целью удобства крепления изготавливают с отверстиями. Анализ многочисленных конструктивных решений крепления пластин позволил свести их к следующим схемам крепления (по ИСО):

- прихватом сверху;
- рычагом через отверстие с прижатием к боковым стенкам гнезда;
- винтом с конической головкой;
- штифтом через отверстие и прихватом сверху.

Некоторые примеры конструктивного исполнения этих схем на резцах приведены на рисунке 20.

Пластины негативные и негативно-позитивные крепятся чаще всего прихватом сверху (схема а) или по схеме г. Последняя обеспечивает более надежное крепление. Крепление винтом (схема в) используется для малонагруженных пластин и является простым и компактным.

У резцов наибольшее распространение получили пластины с отверстием. Благодаря этому обеспечиваются свободный сход стружки по передней поверхности и значительно меньшие габариты элементов крепления, размещаемых в корпусе державки.

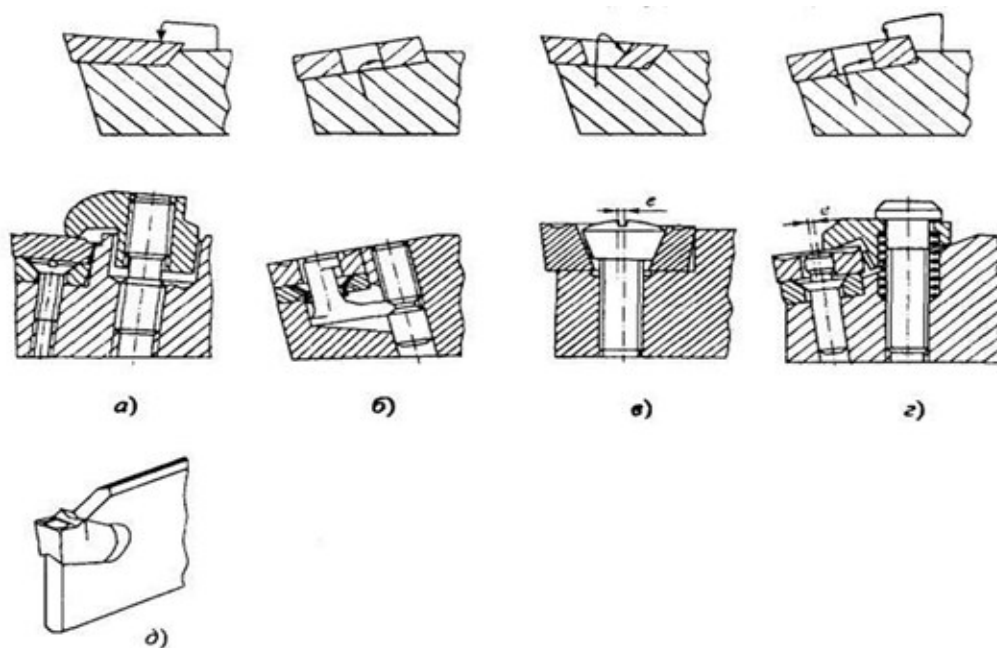


Рисунок 20 – Схемы механического крепления твердосплавных СМП:

- а) - прихватом сверху; б) - рычагом через отверстие;
- в) - винтом с конической головкой;
- г) - штифтом через отверстие и прихватом сверху;
- д) - за счет упругой деформации стенки паза

Возможны нестандартные схемы крепления твердосплавных пластин нестандартной формы. Примером этому являются отрезные резцы (рисунок 20, д), разработанные фирмой «Sandvik Coromant» (Швеция). Здесь крепление пластины осуществляется силами упругой деформации стенки паза державки.

Резцы, оснащенные керамикой и синтетическими сверхтвёрдыми материалами. Указанные материалы обладают высокими твердостью, износо- и теплостойкостью, благодаря чему обеспечивают значительное повышение производительности и стойкости, высокие точность и качество обработанной поверхности. Их недостатком является низкая прочность режущего клина, которая ограничивает область их применения. Наибольшую эффективность они показали при чистовом точении сталей, особенно закаленных, чугунов различной твердости и даже твердых сплавов с содержанием кобальта выше 25 %. При этом обработка должна проводиться на высокоточных, жестких, скоростных и мощных станках с ЧПУ последнего поколения.

Поставляется режущая керамика в виде неперетачиваемых многогранных пластин (ГОСТ 25003-81) круглой, квадратной, треугольной и ромбической форм различных размеров. Негативные керамические пластины крепятся в основном в тех же державках, что и твердосплавные, - прихватом сверху.

К группе сверхтвёрдых материалов, как уже отмечалось, относят алмазы (природные и синтетические) и композиты на основе поликристаллов кубического нитрида бора (эльбора).

Так как алмазы имеют очень малые размеры, то их крепление осуществляется пайкой, зачеканкой или механическим путем. Крепление алмаза пайкой осуществляется либо непосредственно в державку, либо с применением промежуточных вставок. В последнем варианте вставка прессуется и спекается вместе с алмазом методом порошковой металлургии.

5.2 Инструмент для обработки тел вращения

Составные токарные резцы широко применяются на мелких и средних предприятиях машиностроения. Они состоят из корпуса и режущей пластины из быстрорежущей стали или твердого сплава, соединяющихся пайкой. В качестве припоя используются латунные, медные и другие припои.

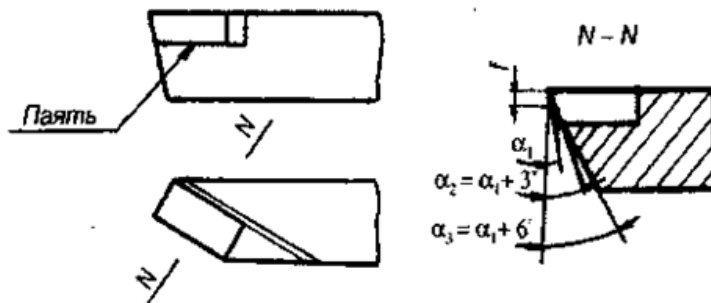


Рисунок 21 – Резец

Большое распространение составных резцов определяется простотой конструкции, относительно низкой стоимостью и возможностью получения любых заданных углов на режущей части, так как достигаются они заточкой. Вместе с тем эти инструменты имеют существенный недостаток - при пайке и заточке в пластине возникают внутренние термические напряжения и напряжения растяжения, вызываемые разностью коэффициентов линейного расширения материала державки (стали) и пластины твердого сплава. Эксплуатационные качества паяных резцов снижаются также из-за вероятности образования микротрещин в результате отклонений в температурном режиме пайки.

В сборных резцах используют сменные многогранные пластины (СМП), которые закрепляются в головке инструмента винтовыми механизмами и удерживаются в гнезде державки силами трения. При износе одной вершины крепление ослабляют и, поворачивая пластину, вводят в работу следующую вершину. После износа всех вершин пластину заменяют новой. Такой способ соединения рабочей части резца с державкой ликвидирует затраты на переточку, сокращает время на замену затупившегося резца, позволяет работать в прямом и перевернутом положении пластины. Отсутствие пайки для присоединения пластины к корпусу снижает в ней трещинообразование и другие дефекты, что увеличивает стойкость резца в 1,2-1,3 раза.

Основной недостаток сборных резцов - постоянство заложенных в их конструкцию геометрических параметров не подлежащих изменению. Стоимость сборных резцов, которая в 5-10 раз выше стоимости составного резца, должна окупаться снижением технологических затрат за счет исключения затрат на заточку, многократного использования державки резца, увеличения стойкости, сокращения расхода дорогостоящего твердого сплава. По этим причинам сборные резцы применяются, как правило, в условиях стабильного производства, на предприятиях, где налажен крупносерийный или массовый выпуск изделий.

Пластины правильной трехгранной формы наиболее универсальны. Недостатком пластин этой формы является малая прочность вершины. У пластин неправильной трехгранной формы вершина усилена, однако у них уменьшенная длина режущей кромки и увеличенный расход твердого сплава. Квадратная форма достаточно универсальна и хорошо работает в резцах проходных отогнутых,

упорных с углами $f = 45, 60, 75^\circ$. Пластины пяти- и шестигранной форм используются в черновых резцах, так как обладают высокой прочностью вершин. Ромбические формы используются в резцах для контурной обработки и при расточке отверстий.

Классификация резцов

По роду работы: токарные, строгальные, долбежные;
по виду обработки: проходные, подрезные, отрезные, прорезные, расточные, резьбонарезные, фасонные;
по направлению подачи: правые и левые;
по форме головки: прямые, отогнутые, изогнутые, оттянутые;
по форме режущего лезвия: с прямолинейным и криволинейным лезвием;
по способу крепления режущей части: цельные, с напаянной пластинкой (составные), сборные с механическим креплением пластинки;
по роду материала режущей части: с пластинками из быстрорежущей стали, твердого сплава, минералокерамики, алмазные;
по сечению державки: квадратные, прямоугольные, круглые;
по установке относительно детали радиальные, тангенциальные.

При работе на токарных станках наиболее часто используют проходные прямые, проходные отогнутые, проходные упорные и отрезные резцы.

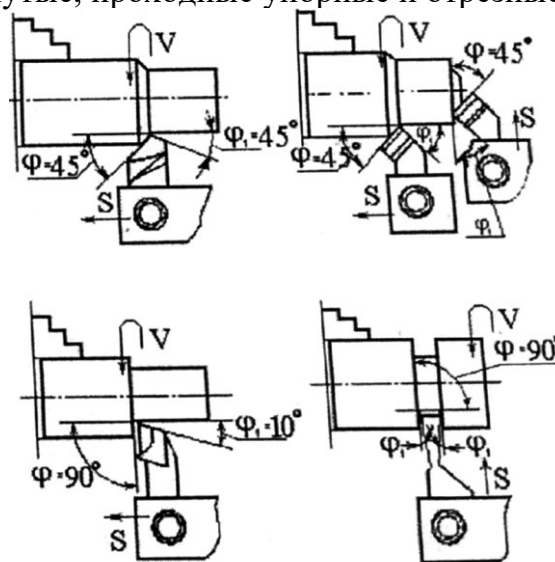


Рисунок 22 – Схемы обработки

Проходные прямые резцы предназначены для обработки наружных поверхностей с продольной подачей.

Проходной отогнутый резец наряду с обтачиванием с продольной подачей может применяться для подрезания торцов поперечной подачей.

Проходной упорный резец применяется для наружного обтачивания с подрезкой уступа под углом 90° к оси.

Отрезной резец предназначен для отрезания частей заготовок и протачивания кольцевых канавок.

5.3 Инструмент для обработки плоскостей

Фрезы – многолезвийный вращающийся режущий инструмент, зубья которого последовательно вступают в контакт с обрабатываемой поверхностью в процессе резания.

Фрезы один из самых распространенных видов инструмента. Форма исходного тела вращения (фрезы) зависит от формы обрабатываемой поверхности и расположения оси фрезы относительно детали.

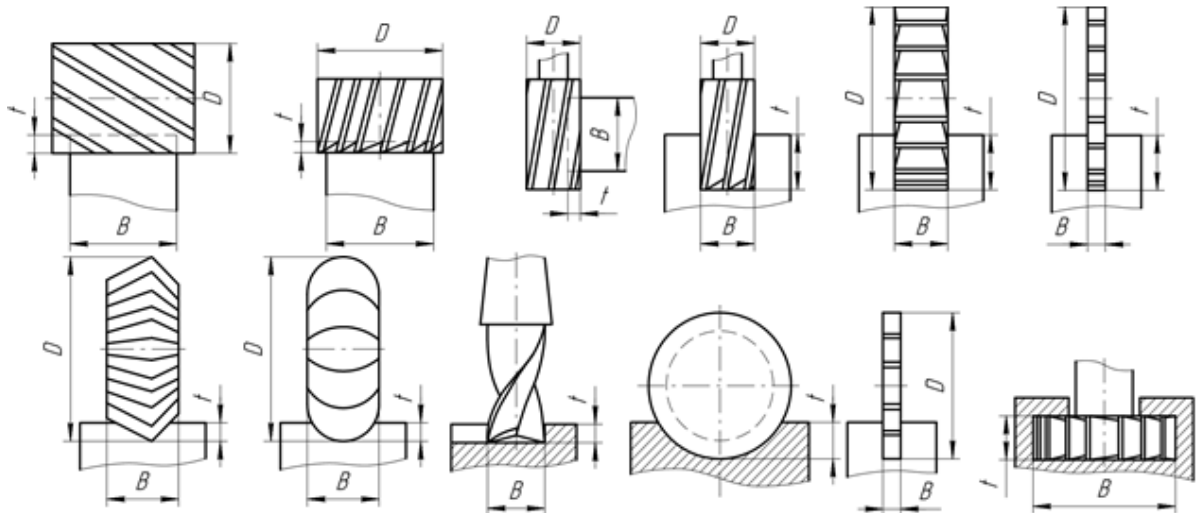


Рисунок 23 – Разновидности фрез

Фрезы классифицируют по следующим признакам:

- конструкция режущих зубьев и способ их заточки – фрезы с острозаточенными зубьями, перетачиваемые по задней поверхности, и с затылованными зубьями, перетачиваемые по передней поверхности;
- форма и расположение зубьев относительно оси вращения инструмента – фрезы цилиндрические, торцовые, дисковые, прорезные и отрезные, концевые, угловые, фасонные, шпоночные;
- направление зубьев к оси инструмента – фрезы прямозубые, винтовые, с наклонными зубьями;
- конструкция фрез – цельные, монолитные твердосплавные, сборные со вставными зубьями, в том числе или механически закрепленными режущими пластинами из твердого сплава или СМТ.

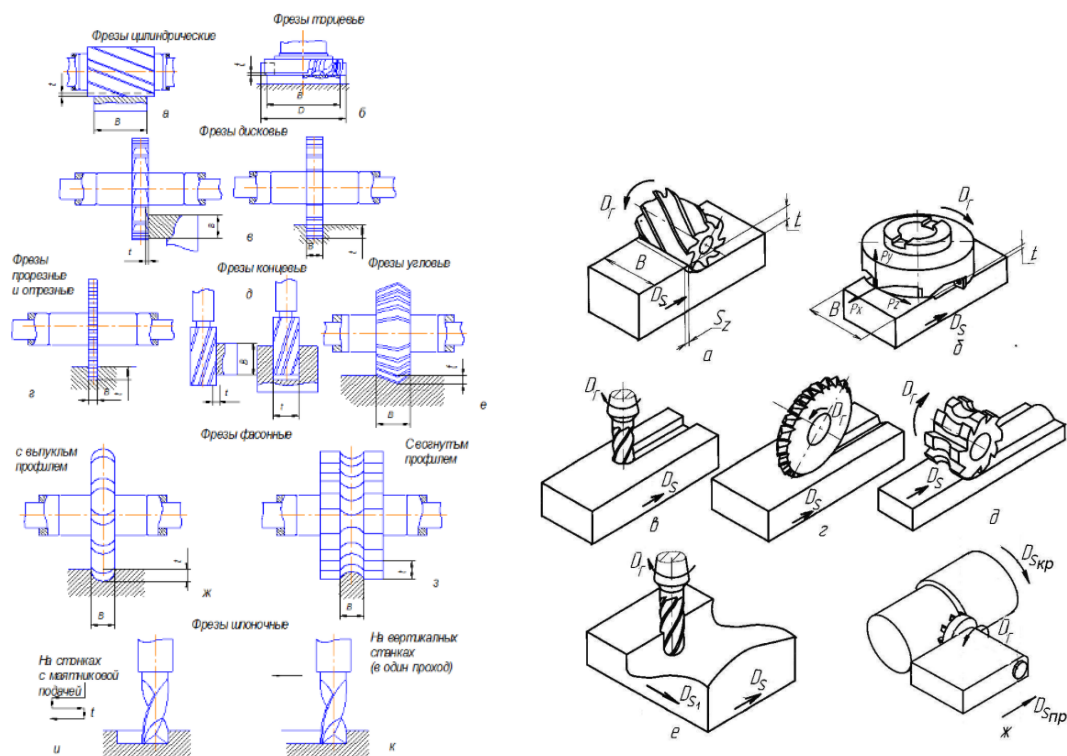


Рисунок 24 – Конструктивные и геометрические параметры цилиндрических фрез

Цилиндрические фрезы применяют для обработки плоскостей. Как правило, цилиндрические фрезы имеют винтовые остроконечные зубья.

Общими конструктивными элементами цилиндрической фрезы являются наружный диаметр, D ;

диаметр посадочного отверстия и ширина шпоночного паза (d , b);

число зубьев, z ;

углы тела зуба η и впадины ψ ;

форма зуба;

стружколоматели;

углы резания α и γ .

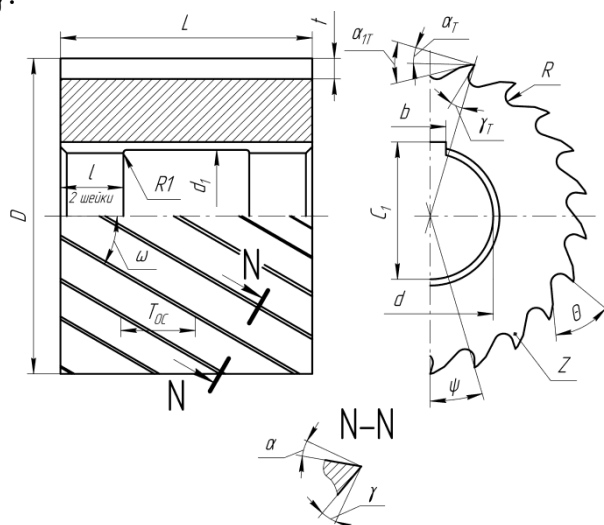


Рисунок 25 – Конструктивные и геометрические параметры торцевых фрез

Торцовые фрезы применяют для обработки широких плоскостей. Преимущества перед цилиндрическими фрезами:

При обработке участвует большее число зубьев вследствие большого угла контакта. Как следствие увеличивается минутная подача.

Ниже шероховатость обработки;

Их можно проектировать больших диаметров;

Торцовые фрезы легче изготовить сборной конструкции.

Торцовые фрезы более удобны для оснащения МНП, что дает меньше расход инструментального материала.

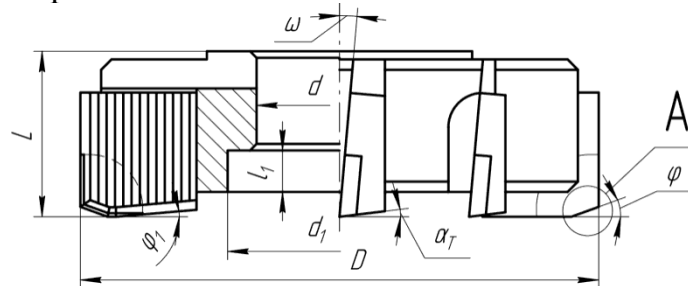


Рисунок 26 – Торцовая фреза

Диаметр торцовых фрез выбирается в зависимости от ширины фрезерования: $D \geq 1,2B$.

Число зубьев, как и у цилиндрических фрез, зависит от диаметра, условий эксплуатации, объема стружки.

Для стали число зубьев: $Z = 0,04D$ при $D < 200$ мм;

$Z = 0,04D + 2$, если $D > 200$ мм.

Для чугуна $Z = 0,1D$

Диаметр под оправку применяется конструктивно или по ГОСТу

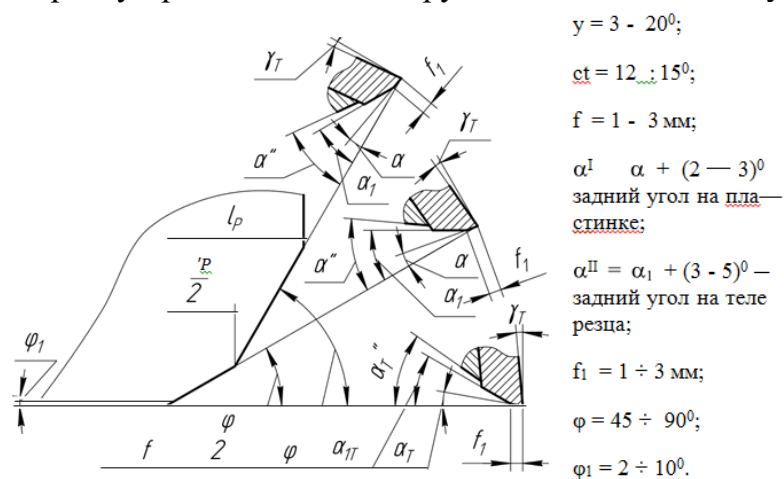


Рисунок 27 – Геометрия торцовой фрезы

5.4 Инструмент для обработки отверстий

Сверление – технологический способ для изготовления отверстий в сплошном материале или для увеличения диаметра имеющегося отверстия.

Спиральное сверло

Спиральное сверло является основным типом сверл, наиболее широко распространенным в промышленности (рис. 28). Оно используется при сверлении и рассверливании отверстий диаметром до 80 мм и обеспечивает обработку отверстий

по 4—5-му классам точности и с чистотой поверхности 2—3-го классов. Спиральные сверла состоят из следующих основных частей: режущей, направляющей или калибрующей, хвостовика и соединительной. Режущая и направляющая части в совокупности составляют рабочую часть сверла, снабженную двумя винтовыми канавками.

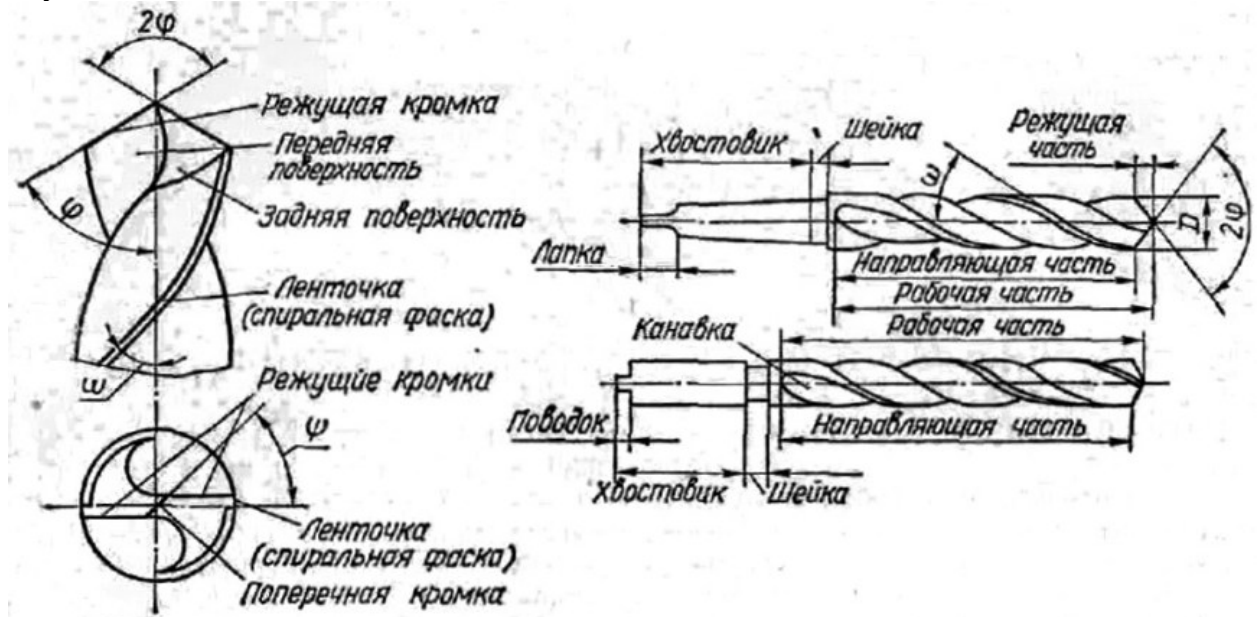


Рисунок 28 – Элементы спирального сверла

Режущая часть спирального сверла состоит из двух зубьев, которые в процессе сверления своими режущими кромками врезаются в материал заготовки и срезают его в виде стружки. Это основная часть сверла. Условия работы сверла определяются главным образом конструкцией режущей части сверла.

Направляющая часть сверла необходима для создания направления при работе инструмента. Поэтому она имеет две направляющие винтовые ленточки, которые при сверлении соприкасаются с рабочей поверхностью направляющей втулки и со стенками обработанного отверстия. Направляющая часть имеет вспомогательные режущие кромки — кромки ленточки, которые участвуют в оформлении (калибровании) поверхности обработанного отверстия. Кроме этого направляющая часть сверла служит запасом для переточек инструмента. Она обеспечивает также удаление стружки из зоны резания.

Хвостовик служит для закрепления сверла на станке. Он с помощью цилиндрической шейки соединяется с рабочей частью сверла. Наиболее часто рабочая часть сверла изготавливается из быстрорежущей стали, а хвостовик из стали 45. Рабочая часть и хвостовик соединяются сваркой. В промышленности используются также твердосплавные сверла. Режущая часть этих сверл оснащается пластинками твердого сплава либо твердосплавными коронками. У твердосплавных сверл малого диаметра полностью вся рабочая часть может изготавливаться из твердого сплава.

Перовое сверло

Перовые сверла (рис. 29, а) являются наиболее простыми по конструкции. Они применяются при обработке твердых поковок, а также ступенчатых (рис. 29, б) и фасонных отверстий.

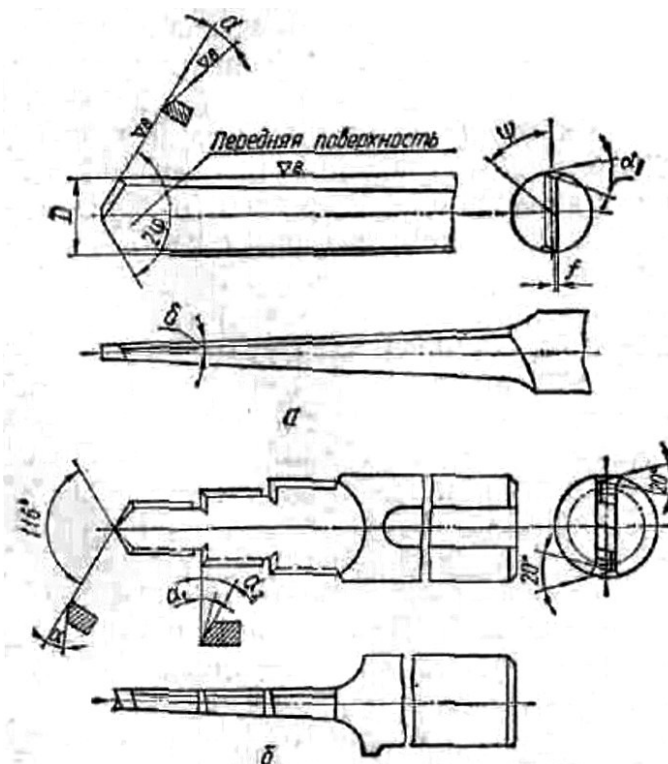


Рисунок 29 – Перовое сверло

Рабочая часть этих сверл выполняется в виде пластинки, снабженной у торца режущей частью. Режущая часть имеет две режущие кромки, угол между которыми 2ϕ принимается равным 90° при обработке мягких материалов и 140° для обработки твердых материалов. В результате пересечения задних плоскостей обеих режущих кромок создается поперечная режущая кромка. Угол ее наклона обычно равен $55^\circ - 60^\circ$. Для уменьшения трения калибрующая часть сверла имеет фаску f шириной $0,2 - 0,5$ мм, вспомогательный боковой задний угол $\text{АЛБФА1} = 5 - 8^\circ$ и утонение по диаметру в пределах $0,05 - 0,10$ мм на всю длину сверла.

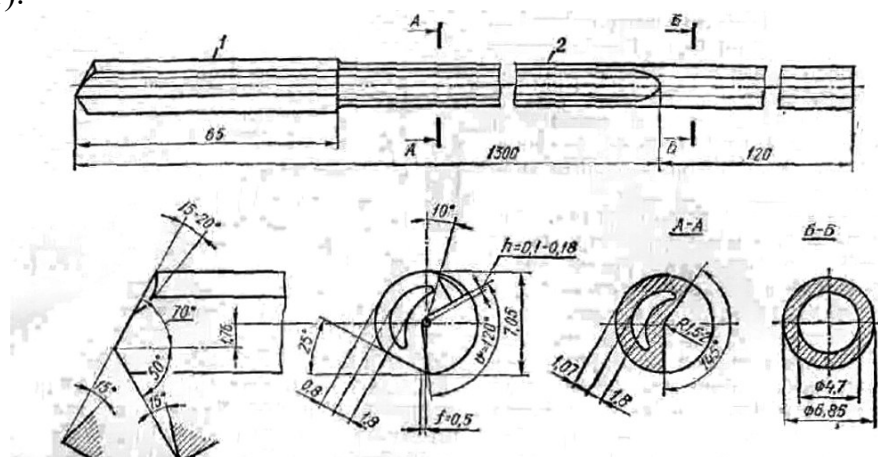
К недостаткам перовых сверл относятся большие отрицательные передние углы, плохое направление сверл в отверстиях, затруднительные условия отвода стружки, малое число переточек. Для улучшения процесса резания передняя поверхность снабжается лункой, но это приводит к соответствующему снижению прочности режущей части. Перовые сверла больших диаметров обычно изготавливаются со вставной рабочей частью. Для облегчения процесса резания у сверл больших диаметров на режущих кромках делают стружкоразделительные канавки.

Пушечное сверло

Многие детали имеют отверстия, длина которых превышает диаметр сверла в 5–10 раз. Сверление таких отверстий связано с большими трудностями, вызываемыми затруднительными условиями отвода стружки и подвода смазывающе-охлаждающей жидкости в зону резания, необходимостью обеспечения более точного направления сверла при работе и т. п. Выполнение этих требований к глубокому сверлению обеспечивается применением специальных сверл. К ним относятся так называемые пушечные, ружейные и другие сверла. Рабочая часть пушечного сверла представляет собой полукруглый стержень, плоская поверхность которого является передней поверхностью (рис. 30). На торце стержня создается

Для лучшего направления сверло имеет цилиндрическую опорную поверхность, на которой срезаются лыски под углом. 30–45° и делается обратный конус порядка 0,03–0,05 мм на 100 мм длины рабочей части. В результате этого уменьшается трение сверла о стенки обрабатываемого отверстия. Пушечное сверло работает в тяжелых условиях, имеет неблагоприятную геометрию передней поверхности, не обеспечивает непрерывного процесса резания, так как для удаления стружки приходится периодически выводить сверло из отверстия.

Более совершенными сверлами для глубокого сверления являются ружейные сверла (рис. 31).



Они имеют рабочую часть и стембель 2. Рабочая часть представляет собой трубку с продольным прямолинейным пазом. Через отверстие в трубку подводится к режущей части сверла смазывающе-охлаждающая жидкость, которая выходит по продольному пазу наружу, увлекая при этом и стружку. Для облегчения резания и лучшего направления вершина сверла смещена относительно его оси на 0,25 диаметра сверла. Сверло имеет одну режущую кромку, состоящую из наружной и внутренней частей. Угол в плане на обоих участках кромки обычно принимается равным 60° , а задний угол - $12\text{—}15^\circ$. Для уменьшения трения сверла о стенки отверстия на рабочей части делается обратная конусность размером $0,1\text{—}0,3$ мм на

100 мм длины, а также снимаются лыски. Такие сверла по сравнению с пушечными сверлами имеют лучшее направление, улучшенный отвод стружки и подвод к зоне резания смазывающе-охлаждающей жидкости, что приводит к повышению стойкости инструмента. Они обеспечивают непрерывный процесс резания и высокое качество обработанной поверхности. Эти сверла имеют лишь одну режущую кромку, что снижает их производительность.

Многокромочные сверла.

При глубоком сверлении отверстий, диаметр которых более 20 мм, применяется сверло, имеющее четыре направляющие ленточки (рис. 32, а). Это способствует лучшему центрированию его в отверстии. Для подвода смазывающе-охлаждающей жидкости в стебле сверла предусмотрено отверстие, которое соединяется с рядом мелких отверстий, распределяющих жидкость по режущим кромкам. На главных режущих кромках делаются стружкоразделительные канавки, которые способствуют раздроблению стружки и лучшему вымыванию ее охлаждающей жидкостью.

Глубокое сверление отверстий сравнительно малого диаметра производится удлиненными спиральными сверлами. Наиболее удачными являются спиральные сверла с отверстиями для подачи охлаждающей жидкости под давлением в зону резания, что способствует улучшению отвода стружки и повышению стойкости инструмента (рис. 32, б). Однако при сверлении на глубину, равную восьми диаметрам и более, стабильный отвод стружки этими сверлами не обеспечивается.

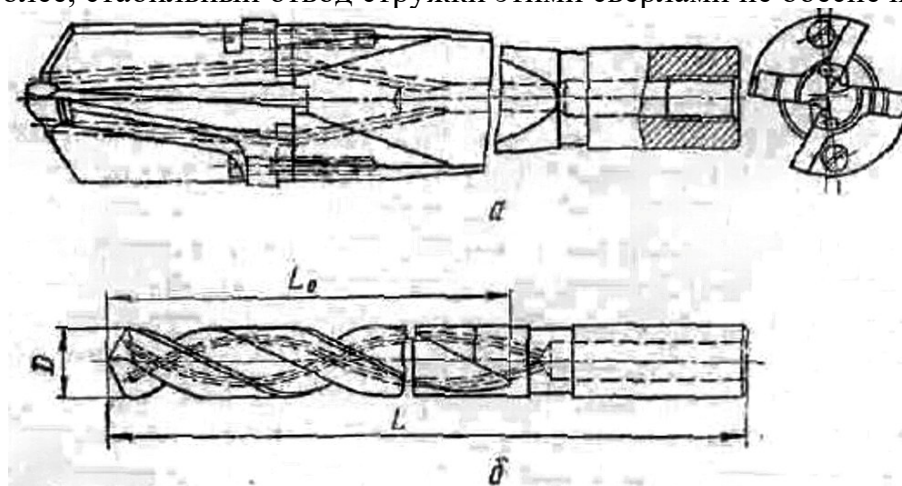


Рисунок 32 – Многокромочные сверла для глубокого сверления

Шнековые сверла

Чтобы обеспечить удаление большого количества стружки из обрабатываемого отверстия, обработку производят с периодическими выводами сверла. Этот процесс характеризуется малой производительностью в силу значительной затраты времени на периодические выводы сверла из отверстия. Стремление приспособить конструкцию стандартного сверла для глубокого сверления не приводит к желательным результатам.

При глубоком сверлении оказывается затруднительным одновременно обеспечить надежный отвод стружки из зоны резания и создать на режущей части сверла требуемые величины геометрических параметров. Поэтому более целесообразно разработать конструкцию сверла для глубокого сверления, у которой форма винтовой канавки определяется исходя из условия обеспечения нормального отвода стружки, а необходимые геометрические параметры режущей части

создаются заточкой передних и задних поверхностей. Примером подобной конструкции могут служить шнековые сверла для обработки отверстий глубиной до 30 – 40 диаметров в чугунах (рис. 33).

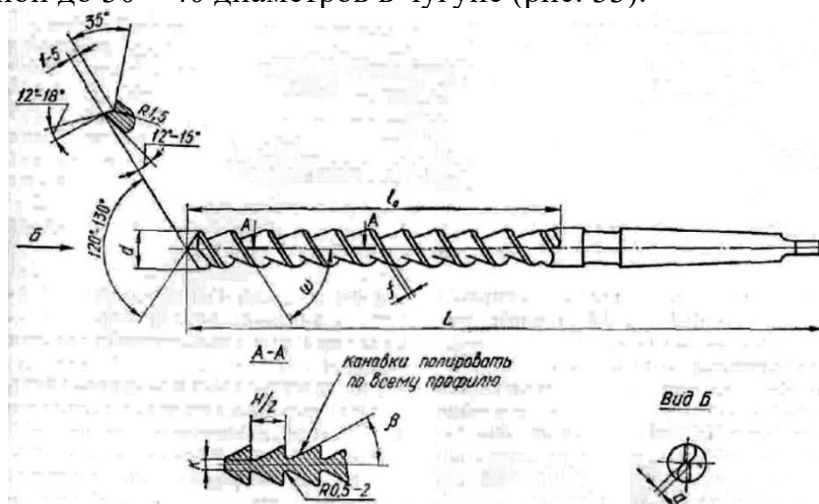


Рисунок 33 – Шнековые сверла

В отличие от стандартных сверла шнековые имеют больший угол наклона винтовых канавок $\text{ОМЕГА} = 60^\circ$ и увеличенную толщину сердцевины, равную 0,3–0,35 диаметра сверла. Диаметр сердцевины не изменяется по длине сверла, в то время как у стандартных сверл он увеличивается при перемещении от режущей части к хвостовику. Стружечные канавки шнекового сверла имеют в осевом сечении прямолинейный треугольный профиль, имеющий закругление во впадине. Причем образующая рабочей стороны канавки идет перпендикулярно оси сверла. Канавка сверла плавно переходит в спинку зуба, идущую под углом БЕТА к оси, образуя ленточку заданного размера.

У шнековых сверл ширина ленточки берется равной 0,5 – 0,8 ширины ленточки стандартного сверла.

Увеличенный угол наклона винтовых канавок и их соответствующий профиль обеспечивают при глубоком сверлении надежное удаление стружки из зоны резания без выводов сверла из отверстия.

Требуемые величины геометрических параметров на режущей части шнекового сверла создаются подточкой передней поверхности и заточкой задней поверхности по плоскостям. При обработке чугуна геометрические параметры принимаются равными: статический передний угол $12-18^\circ$, задний угол $12-15^\circ$ угол при вершине сверла $2\phi - 120^\circ - 130^\circ$.

При обработке стали передний и задний углы берутся в пределах $12-15^\circ$, а угол при вершине 90° . Глубокое сверление высокопрочной стали типа 1Х18Н9Т производится шнековыми сверлами, имеющими угол наклона винтовой канавки $\text{ОМЕГА} = 35^\circ$, угол при вершине сверла $2\phi = 120^\circ$, задний угол $8-10^\circ$, передний угол $12-15^\circ$.

Сверло для кольцевого сверления

При обработке глубоких отверстий сравнительно больших диаметров применяются сверла для кольцевого сверления (рис. 34). Кольцевое сверло представляет собой полый цилиндр, на торце которого закреплены режущие зубья, число которых колеблется от трех до двенадцати.

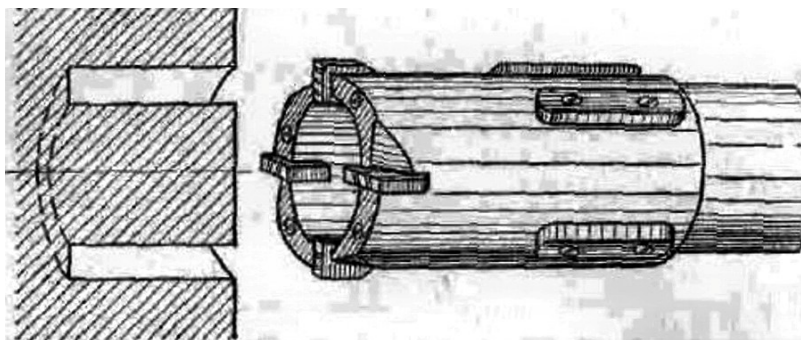


Рисунок 34 –Сверло для кольцевого сверления

На наружной поверхности кольцевого сверла прорезаны стружечные канавки, расширяющиеся к нерабочему торцу для облегчения удаления стружки.

При проектировании кольцевых сверл можно применять различные схемы резания: схему резания, обеспечивающую деление ширины резания; схему, обеспечивающую деление подачи и комбинированную схему. По схеме, обеспечивающей деление ширины резания, подача, приходящаяся на каждый зуб, равна подаче в целом на инструмент. Каждый зуб срезает стружку небольшой ширины, в совокупности же все зубья инструмента снимают полную ширину резания. Схема деления подачи обеспечивает срезание полной ширины резания каждым зубом инструмента. Благодаря этому значительно увеличивается подача на оборот инструмента в целом, которая равна произведению подачи на зуб на число зубьев. Однако условия работы инструмента, сконструированного по схеме деления подачи, затруднительны, так как при полной ширине резания стружка своими торцами соприкасается с боковыми поверхностями отверстия, что затрудняет ее отвод. Поэтому чаще всего используется комбинированная схема резания, когда происходит разделение и ширины реза и подачи между отдельными зубьями.

На работу инструмента влияют стружколомы или выкружки на передней поверхности зубьев, которые обеспечивают получение дробленой стружки с эффективным отводом ее из зоны резания. Отвод стружки при кольцевом сверлении происходит во взвешенном состоянии в потоке охлаждающей жидкости, подаваемой под давлением в зону резания.

Для глубокого кольцевого сверления рекомендуются следующие размеры выкружек: радиус выкружки берется в пределах $(20 \div 25)S_z$, высота $(12 \div 16)S_z$, и длина $(22 \div 28)S_z$, где S_z — величина подачи на зуб.

Надежным методом дробления стружки является кинематический, когда обработка ведется с принудительными вибрациями и обеспечивается прерывистое резание, что особенно оказывается эффективным при кольцевом сверлении легированных сталей и других материалов.

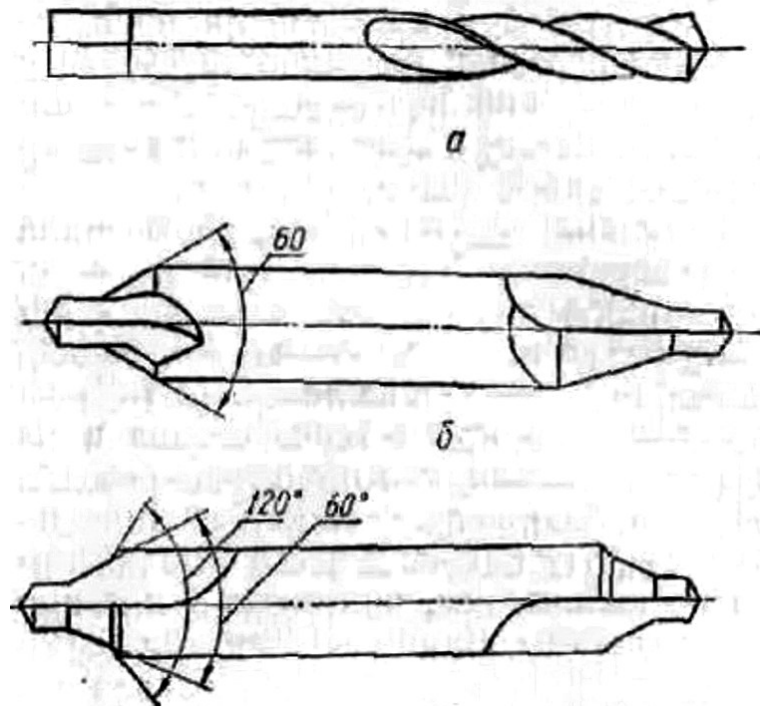
Величины задних углов на режущих кромках выбираются небольшие порядка $3 \div 5^\circ$, так как большие задние углы дают неплавное резание вначале работы инструмента. По мере затупления инструмента вибрации постепенно прекращаются.

Применение кольцевых сверл обеспечивает по сравнению со сплошным сверлением значительное повышение производительности труда.

Центровочное сверло

Особую группу сверл составляют центровочные сверла, предназначенные для обработки центровых отверстий (рис. 35). Они бывают простые (рис. 35. а), комбинированные (рис. 35. б), комбинированные с предохранительным конусом (рис. 35, в).

Простые спиральные сверла отличаются от обычных спиральных сверл только меньшей длиной их рабочей части, так как ими производится сверление отверстий небольшой длины. Они применяются при обработке высокопрочных материалов, в то время как комбинированные сверла часто ломаются.



В

Рисунок 35 – Сверла центровочные

Комбинированные сверла изготавливаются двухсторонними и предназначены для одновременной обработки как цилиндрической, а также и конической поверхностей центрального отверстия. Это приводит к повышению производительности обработки. Комбинированные сверла с предохранительным конусом позволяют обрабатывать не только цилиндрическую и коническую поверхность центрального отверстия, но и поверхность предохранительного конуса с углом при вершине, равным 120° .

Зенкерование – технологический способ обработки предварительно полученных отверстий с целью повышения качества точности. Достижимая точность обработки при зенкеровании - 9...11 квалитет, шероховатость обработанной поверхности $Ra = 0.8 - 6.3$ мкм. Для зенкерования используются те же станки и приспособления, что и при сверлении.

Количество зубьев на зенкерах 3 и более в зависимости от диаметра. Большее, чем у сверла число зубьев позволяет увеличить жесткость инструмента и точность обработанного отверстия.

По типу закрепления в патроне станка:

- хвостовые;
- насадные.

По особенностям конструкции:

- цельные;
- сборные;
- сварные;
- с твердосплавными пластинами и без них.

- цилиндрические;
- конические;
- обратные.

Technical drawing of a drill bit. The main view is a longitudinal section showing the cutting part (Режущая часть), the connecting part of the shank (Присоединительная часть хвостовик), and the guiding part (Направляющая часть). The cutting part features a cutting edge (Зуб) and a chip groove (Стружечная канавка). A cross-section at point A shows the cutting edge profile with dimensions A_7 and A , and a label 'Ленточка по циркулю'. A detailed view of the cutting edge at point B shows the cutting angle K , the cutting edge radius $R_{\alpha,1}$, the cutting edge width K_1 , and the cutting edge thickness A_{α} .

Конструктивные параметры: диаметр D , длина L , количество режущих перьев, ширина пера b .

Технологический режим

$$t = 1/2 (d - d_0), S_0, n$$

Режим резания

$$b = t / \sin \phi, a = (S_0 \sin \phi) / Z,$$

$$v = \frac{\pi d n}{1000} \text{ (М/МИН)}$$

При определении параметров режима резания необходимо учитывать следующее: скорость резания V , глубину резания t , ширину среза для каждого зуба b , толщину срезаемого каждым зубом слоя a , площадь сечения срезаемого слоя A .

Развертывание - технологический способ обработки предварительно полученных отверстий с целью повышения качества точности и шероховатости обработанной поверхности. Достижимая точность обработки при развертывании - 7...9 квалитет, шероховатость обработанной поверхности $Ra = 0.8 - 1.6$ мкм. При развертывании используются те же станки и приспособления, что и при сверлении. Конструкция разверток отличается от зенкеров меньшим размером зубьев и их большим количеством. За счет этого увеличивается жесткость инструмента и создается условия для получения более чистой поверхности правильной формы.

Виды разверток: машинные и ручные, хвостовые и насадные, цельные и сборные, постоянные и регулируемые.

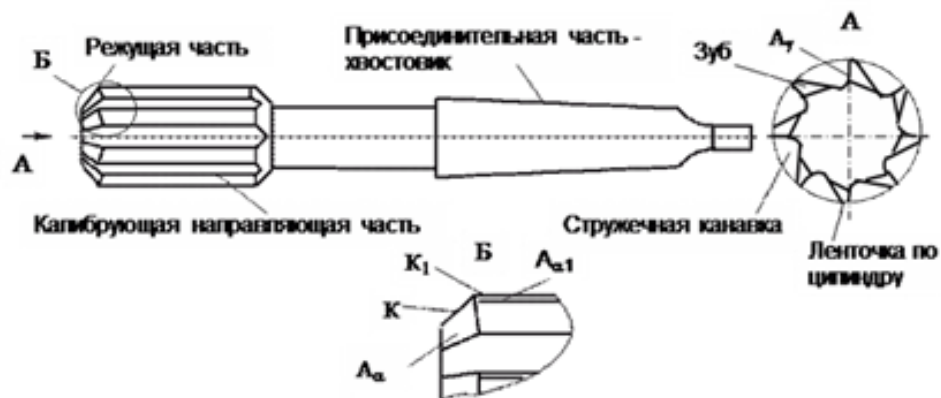


Рисунок 38 – Развертка

Конструктивные части развертки схожи с частями спирального сверла.

Конструктивные параметры: диаметр D , длина L , количество зубьев, ширина пера b .

Геометрические параметры: угол заборного конуса ϕ , передний угол γ , задний угол α .

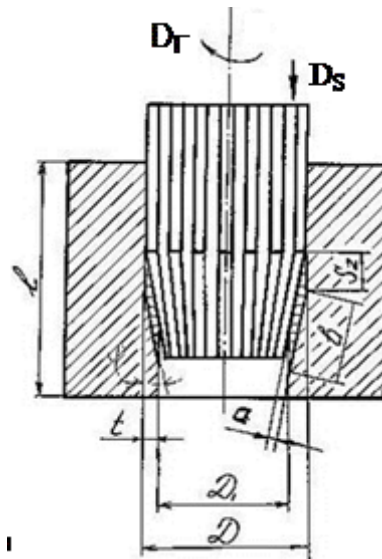


Рисунок 39 – Геометрические параметры разверток

При определении параметров режима резания необходимо учитывать следующее: скорость резания V , глубину резания t , ширину среза для каждого зуба b , толщину срезаемого каждым зубом слоя a , площадь сечения срезаемого слоя A .

Зенкование - процесс обработки осевым многолезвийным инструментом конических входных участков отверстия. Форма зуба зенковки такая же, как у развертки, однако, каждый зуб имеет единственную режущую кромку.

Цекование - процесс обработки осевым многолезвийным инструментом торцевого и (или) цилиндрического участков отверстия. Направляющая часть цековки в форме цилиндра вынесена вперед рабочей части для удержания инструмента от радиального смещения. Зуб цековки имеет две режущие кромки. Торцовая кромка обрабатывает торцевой участок отверстия, периферийная может формировать цилиндрическое углубление в отверстии (например, для утопления головки болта).

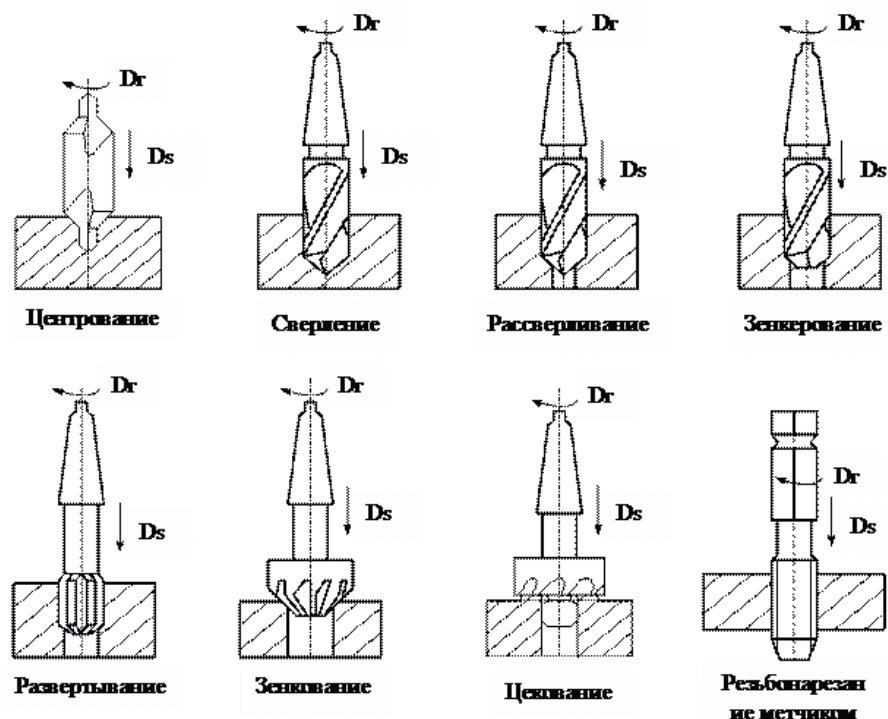


Рисунок 40 – Схемы обработки осевым инструментом

5.5 Конструкции специального осевого инструмента

Сюда относятся: зенковки, цековки, ступенчатые и фасонные осевые инструменты. Из новых видов инструментов следует отметить: сверло-резьбовая фреза.

Тема 6. Нанесение покрытий и модификация рабочих поверхностей режущих инструментов.

6.1 Общие сведения о методах нанесения покрытий и модификации рабочих поверхностей режущих инструментов

Существующие многочисленные способы нанесения покрытий можно классифицировать с различных позиций. По методам получения – механические, физические, химические, электрофизические; по виду технологического процесса – гальванические, вакуумные, наплавка. Покрытия различаются по используемым материалам – металлические, керамические, полимерные; по виду (состоянию) используемых материалов – нанесение покрытий в твердом (или твердом дисперсном) состоянии; нанесение покрытий из жидкой фазы (эмульсии, суспензии, лаки, шликер); нанесение покрытий из электролитических растворов; нанесение покрытий из расплавов; нанесение покрытий из газов или газовых смесей. Можно рассматривать покрытия и по их назначению – износостойкие, коррозионностойкие, жаростойкие, декоративные и т.д. Наиболее последовательно классификацию способов нанесения покрытий следует проводить с учетом механизмов и явлений, лежащих в основе процессов нанесения покрытий и формирования его структуры: механические методы; химические методы; электрохимические методы; наплавка; напыление; высокоэнергетические технологии; комбинированные методы. Научные основы различных методов нанесения покрытий известны, но изучены не одинаково глубоко. Это связано со сложностью каждого физико-химического процесса, со

специфическими особенностями методов и уровнем научных исследований для каждого из них.

6.2 Виды износостойких покрытий и методы их получения: химического и физического осаждения покрытий

Износостойкие покрытия наносятся как на инструменты из быстрорежущей стали, так и на твердосплавные инструменты. В качестве материалов для таких покрытий используются карбиды, нитриды, бориды, карбонитриды и силициды тугоплавких металлов, а также окись алюминия и синтетические сверхтвердые материалы на основе алмаза и эльбора.

Основные типы износостойких покрытий:

Однослойные покрытия – на материал наносится равномерный слой определенного химического состава. Это самые простые покрытия, которые наносятся, как правило, на быстрорежущие инструменты.

Градиентные покрытия – химический состав покрытия постепенно изменяется от покрываемого материала к внешней поверхности покрытия. Градиентные покрытия могут состоять из одного химического соединения или реализовывать постепенное замещение одного элемента другим.

Многослойные покрытия – чередование слоев с различными химическими составами, которые имеют четко очерченные границы. В многослойных покрытиях слои выполняют различные функции – одни повышают износостойкость, другие, обладая низкой теплопроводностью, создают температурный барьер между основой и наружной поверхностью покрытия. Важное свойство таких покрытий – способность останавливать возникающие трещины, которые распространяются не вглубь покрытия, а вдоль границ отдельных слоев.

Наиболее распространены многослойные покрытия, состоящие из основных слоев, разделенных тонкими промежуточными слоями. Технология нанесения позволяет придать им характеристики, необходимые для конкретных условий обработки и гарантировать, что покрытие эффективно повышает физико-механические свойства.

Варьируя составом и толщиной слоев, можно создать любое покрытие, предназначенное для обработки определенной группы материалов или выполняющих конкретную операцию.

Нанопокрытия – многослойные покрытия, толщина слоев которых составляет несколько нанометров (10^{-9} метра), относятся к PVD-покрытиям. Выделяют три основные группы нанопокровтий:

- наноструктурные;
- нанокомпозитные;
- нанослойные.

Наноструктурные покрытия совмещают в себе повышенную микротвердость и достаточную пластичность.

Поведение нанокристаллических материалов с размерами зерен 10 нм и менее определяется процессами в пограничных областях, поскольку количество атомов в зернах сравнимо или меньше, чем в их границах. Это обстоятельство существенно меняет характер взаимодействия между соседними зернами, например:

- тормозит генерацию дислокаций;
- препятствует распространению трещин из-за упрочнения границ зерен.

При этих условиях дислокации в нанозернах отсутствуют.

Нанокпозиционные покрытия состоят из основной нанокристаллической твердой фазы, на границах зерен которой располагается тонкий слой второй нанокристаллической или наноаморфной фазы. Следовательно, твердые зерна упрочняющей фазы разделены между собой тонкими прослойками атомов другой фазы. Такие покрытия обладают сверхвысокой твердостью, большими коэффициентами упругого возврата, высокой термостойкостью.

Нанослойные покрытия обладают повышенной трещиностойкостью. Они обладают различными внутренними напряжениями (модулями упругости) и близкими по величине коэффициентами термического расширения. Толщина отдельных слоев должна быть настолько мала, чтобы внутри них не появлялся источник дислокаций, а дислокации, которые под действием напряжений двигались бы к границе раздела из более мягкого слоя, отталкивались бы силами, создающимися упругими напряжениями в более твердом слое. Общее количество слоев покрытия выбирается в зависимости от решаемых технологических задач и в ряде случаев может достигать двухсот.

Химическое осаждение покрытий

Методы получения покрытий химическим осаждением основаны на том, что тонкие слои определенного материала в газообразном состоянии осаждаются на разогретую поверхность основного материала. Необходимые химические реакции протекают при высоких температурах (до 1200°C). Исходя из этого, данные методы в основном применяются для осаждения покрытий на поверхность твердых сплавов, так как свойства термообработанных быстрорежущих сталей теряются в результате отпуска.

Такие параметры процесса получения покрытий, как парциальное давление реакционного газа и скорость осаждения покрытия, оказывают влияние на их химический состав и свойства. Методами химического осаждения получают покрытия толщиной (1 – 20) мкм при скорости осаждения (0,01 – 0,1) мкм/мин.

Давление в процессе химического осаждения может составлять 100 – 1000 Па. Нет необходимости задавать вращательное движение изделию, так как покрытие наносится на всю его поверхность. При высоких температурах нанесения происходит частичная диффузия материала покрытия в основной материал, что приводит к улучшению адгезии.

CVD процессы проводятся с использованием специализированных реакторных установок, которые состоят из следующих основных компонентов:

- система подачи и смешивания реагентов;
- герметичная камера для осаждения покрытий с системой нагрева;
- система повторного использования и удаления реагентов.

Активной составляющей газовой смеси, используемой при получении покрытий, в большинстве случаев являются реакционные газы, а роль газа-носителя исполняет аргон.

Тонкопленочные износостойкие покрытия, полученные методами химического осаждения, эффективно повышают стойкость твердосплавных материалов (в 3 – 10 раз).

Таким образом, износостойкие покрытия, получаемые методами химического осаждения, являются эффективным средством повышения работоспособности инструмента, позволяющим увеличить стойкость твердосплавных материалов в

(3 – 10) раз в широкой области применения. Однако CVD методы имеют значительные недостатки:

- высокая температура процессов (исключает возможность использования инструментов из быстрорежущей стали вследствие их отпуска);
- появление переходной зоны между покрытием и подложкой (обезуглероженный слой, приводящий к снижению вязкости материала);
- токсичность газа-носителя (водорода) и взрывоопасность;
- сложное применяемое оборудование;
- наличие в покрытии значительных растягивающих напряжений;
- большое количество непрореагированных компонентов;
- невозможность наносить покрытия на инструмент с острыми рабочими кромками (штамповая оснастка).

Физическое осаждение покрытий

Методы физического осаждения покрытий основаны на том, что наносимое вещество генерируется посредством испарения твердого вещества вакуумной дугой или его ионного распыления, а ионизация осаждаемых частиц (наложением тлеющего, дугового или высокочастотного разряда или подмешиванием ионов, получаемых от автономных источников) приводит к дополнительному повышению их средней энергии.

Так как покрытия формируются в вакууме, PVD методы широко распространены из-за своей универсальности с точки зрения получения широкой гаммы однослойных и многослойных покрытий, в состав которых входят только химические элементы и их соединения. В промышленности широко используются термическое испарение, электродуговое испарение и осаждение распылением.

Ионно-термическое испарение основывается на испарении при помощи различных методов (электронно-лучевого, лазерного, дугового, резистивного, индукционного) наносимого материала, ионизации частиц и их ускорении в электрическом и/или магнитном поле по направлению к покрываемой поверхности, а также их конденсации на этой поверхности. Эти методы различаются способами испарения материала и ионизации потока осаждаемого материала, которая может осуществляться в тлеющем и дуговом самостоятельном или несамостоятельном разрядах, с использованием разряда Пеннинга и др.

Вакуумно-дуговые методы основаны на испарении наносимого материала катодными пятнами вакуумной дуги, плотность потока в которых достигает энергии (106 - 107) Вт/см², ионизации металлического пара и последующей конденсации чистого металла либо его соединения с реакционными газами (ацетилен, азот, метан) на рабочих поверхностях металлообрабатывающего инструмента. Для реализации таких процессов используются различные комбинации электрических и магнитных полей, анодная и катодная генерация плазмы с электростатическим или холловским ускорением.

Основным достоинством PVD методов является то, что процессы протекают при низких температурах наплавки (ниже 600оС), что исключает отпуск и практически не оказывает влияния на изгибающую прочность материала инструмента. Недостатками являются: высокие требования к качеству поверхности материала, длительное время процесса.

6.3 Газотермическое напыление

Суть процесса газотермического напыления заключается в расплавлении материала покрытия (проволока или порошок) с последующим нанесением (напылением) его на основу в газовом потоке. В микроне удар частиц расплава о покрываемую поверхность они деформируются и растекаются, последовательно слипаясь друг с другом и затвердевая, они формируют плоский слой. Связь напыляемых частиц с основой происходит за счет тепловой и кинетической энергии, которая определяется температурой и скоростью этих частиц. Связь покрытия с основой - адгезионная, она осуществляется за счет межмолекулярных сил и механического сцепления его с неровностями развитой шероховатой поверхности.

Технологические возможности газотермического напыления газотермическое напыление можно использовать на объектах любых размеров:

- мосты, суда, трубопроводы, строительные конструкции, котлы, коленчатые валы, лопасти турбин;

- толщина покрытия может составлять от 0,01 до 10 и более мм; они могут иметь заданную пористость (от 0 до 30 и более процентов);

- наносить можно любые материалы, имеющие точку плавления или интервал размягчения;

- в качестве подложки можно использовать дерево, стекло, пластмассы, керамику, композиционные материалы, металлы;

- нанесение покрытий может производиться в широком диапазоне состава покрытия, температуры и давления - в низком вакууме в специальной камере с контролируемой инертной атмосферой, в воздухе при нормальных условиях, под водой;

- технология нанесения не вызывает значительного нагрева напыляемой поверхности, следовательно, обеспечивается сохранение геометрических размеров деталей.

Порошковое газопламенное напыление.

Возможности применения металлизации из проволоки ограничиваются выпускаемыми в промышленности проволочными материалами. Многие материалы просто невозможно получить в виде проволоки. Самофлюсующиеся, термореагирующие сплавы, керамические материалы, а также различные смеси порошков подаются в высокотемпературную зону ацетиленокислородного пламени, затем на поверхность, где образуют покрытие. Этот способ напыления наиболее часто применяется в монтажных условиях, когда деталь либо невозможно, либо нерационально напылять в стационарных условиях.

Плазменное напыление.

Способ плазменного напыления был разработан для получения наиболее качественных покрытий практически из любых материалов - от баббитов с температурой около 300°C до самых тугоплавких соединений - оксидов, нитридов, карбидов, имеющих температуру свыше 3300°C.

Что из себя представляют покрытия нанесенные газотермическим напылением?

В момент столкновения разогретых частиц с чистой шероховатой поверхностью (которая получается в результате дробеструйной обработки) они почти одновременно заполняют все неровности поверхности и остывают.

Напыление продолжается, очередные частицы соединяются с предыдущими и таким образом образуется покрытие.

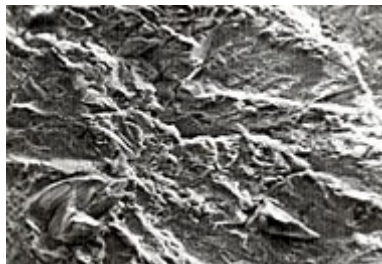


Рисунок 41 – Поверхность после дробеструйной обработки

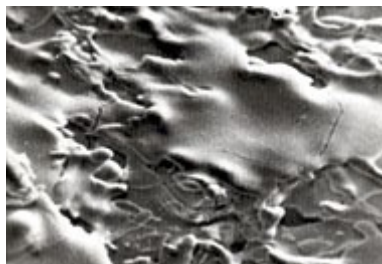


Рисунок 42 – Поверхность после напыления

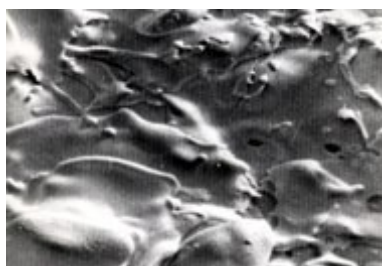


Рисунок 43 – Напыленное покрытие

В результате свойства покрытий до некоторой степени структурно сравнимы с литыми материалами и покрытия слегка пористые.

6.4 Особенности эксплуатации режущего инструмента с покрытием

Одними из наиболее значимых показателей использования режущего инструмента является его способность сохранять свои функциональные параметры в течение длительного срока. Обеспечивая увеличение работоспособности инструмента, можно значительно повысить производительность механизированного труда, тем самым снизить затраты на закупку нового инструмента и сэкономить на прочие сопроводительные технологические составляющие. В ходе эксплуатации режущего инструмента, основная нагрузка передаётся на его рабочую часть, это, как правило, приводит к частичному износу или полному разрушению плоскостей и режущих кромок. Существует ряд технологий обработки рабочих поверхностей, которое придает им дополнительное упрочнение, наиболее результативным из которых является способ нанесения на поверхность режущего инструмента специальных покрытий. Повышение работоспособности режущего инструмента можно обеспечить благодаря улучшению свойств поверхностного слоя инструментального материала, при котором рабочая поверхность инструмента наиболее эффективно сопротивляется характерным видам износа. Подобный материал должен обладать значительным запасом прочности при изгибе, сжатии и

выдерживать ударные нагрузки. Одной из наиболее важной проблемой долговечности инструмента является, что после деформации инструмента его отправляют на заточку, перед тем, как заточить, снимают слой покрытия. Это ведет к снижению срока службы инструмента. Решение данной проблемы: вторичное покрытие. Покрытия бывают двух методов: – метод химического осаждения (Chemical Vapour Deposition — CVD) – метод физического осаждения покрытий (Physical Vapour Deposition — PVD).

Тема 7 Современные технологии обработки поверхности инструмента

7.1 Технологические методы повышения износостойкости режущего инструмента. Выбор оптимального метода поверхностной обработки режущего инструмента

В настоящее время предъявляются повышенные требования к режущим свойствам инструментов, в особенности инструментов для станков с ЧПУ и гибких производственных комплексов. Традиционные методы повышения стойкости инструментов путем сложного легирования почти исчерпали свои возможности. В этой связи разработаны и внедрены методы повышения износостойкости, основанные на создании на рабочих гранях инструментов тонких поверхностных слоев с заданными свойствами. Наибольшее распространение среди них получили химико-термическая обработка и нанесение износостойких покрытий.

Химико-термические методы (цианирование, азотирование или нитроцементация, борирование и др.) представляют собой виды обработки, при которых происходит изменение химического состава и свойств поверхностных слоев инструментов, изготовленных из стали. Эти изменения достигаются в результате диффузии различных элементов из внешней среды в сталь. Среди перечисленных методов наибольшее применение получило цианирование, т. е. насыщение поверхностного слоя инструмента одновременно углеродом и азотом. Цианирование производится после термообработки и окончательной заточки. После цианирования получается слой толщиной 20... 30 мкм, обладающий высокой твердостью до 70 HRC, а также теплостойкостью и износостойкостью. Цианированный слой имеет меньший коэффициент трения с обрабатываемым материалом. Вследствие этого стойкость цианированных инструментов повышается в 1,5...2 раза.

Нанесение покрытий на инструментальный материал позволяет создать на его поверхности новый комплекс свойств с сохранением необходимых свойств основы. Это направление повышения стойкости инструмента в настоящее время является наиболее важным. Существует большое число методов получения покрытий на рабочих поверхностях режущего инструмента. Широкое применение среди них получили методы: химического осаждения покрытия из парогазовой фазы и вакуумно-плазменные.

Метод химического осаждения из газовой фазы (получивший название ГТ) основан на конденсации газообразных соединений с образованием твердых осадков. При этом температура подложки (инструмента) высокая (1000...1100°C), т. е. метод высокотемпературный и применим только для нанесения покрытий на инструмент из твердого сплава. По данному методу наносятся покрытия на многогранные пластинки твердого сплава. Более половины многогранных пластин в настоящее

время выпускаются с износостойкими покрытиями. Материалами для покрытий служат: TiC; TiN, TiCN; ZrN; HfC; MoC; MoN; CrN; TaN и др.

Вакуумно-плазменные методы (метод КИБ - конденсация покрытий из плазменной фазы в вакууме с ионной бомбардировкой поверхности инструмента; метод РЭП—реактивно-электронно-лучевого плазменного осаждения покрытий в вакууме) имеют более широкие технологические возможности. Температура подложки в данных методах достаточно низкая (~450° С), т. е. методы могут быть использованы для нанесения покрытий как на твердые сплавы, так и на быстрорежущие стали. В настоящее время на многих отечественных предприятиях созданы участки для нанесения покрытий методом КИБ, оснащенные установками типа «Булат». На них можно наносить покрытия на пластинки и осевой инструмент (сверла, метчики, зенкеры, развертки и т. д.). Оптимальная толщина покрытия составляет 8...12 мкм в зависимости от свойств материала основы, метода нанесения и материала покрытия. Покрытия могут быть одно- и многослойными. В случае многослойных покрытий нижние слои делаются более пластичными - из карбидов титана или молибдена, верхние более твердые—из нитридов титана или керамики.

Опыт применения инструментов с износостойкими покрытиями показал, что их стойкость увеличивается в 2...3 раза, силы резания и температура снижаются на 20...25%.

Проанализировав выше сказанное, можно сказать, что на сегодняшний день существует огромное количество методов поверхностного упрочнения твердых сплавов. При выборе оптимального метода следует ориентироваться на максимальное достижение требуемого результата, т.е. получение требуемого сочетания свойств.

Таким образом, наиболее эффективным и прогрессивным методом является упрочнение твердых сплавов нанесением износостойких покрытий. Наиболее эффективным из представленных методов является метод КИБ (метод конденсации вещества из пароплазменной фазы в условиях ионной бомбардировки). Технология КИБ реализуется в широком температурном диапазоне(200-8000С), поэтому в условиях многономенклатурного производства изделий, этот метод наиболее универсален, а с точки зрения возможности нанесения покрытий на различные формообразующие инструменты из твердого сплава, позволяет наносить покрытия на острую кромку и, вследствие равномерного характера осаждения, не вызывает ее притупление, следовательно, может с успехом использоваться для упрочнения мелкоразмерного инструмента.

Среди большой номенклатуры видов покрытия в последнее время все большее внимание уделяется углеродным, алмазоподобным покрытиям (АПП), обладающих рядом уникальных свойств: высокой твёрдостью, высоким удельным сопротивлением, хорошей теплопроводностью, оптической прозрачностью, стойкостью к агрессивным средам и т. д. Нанесение алмазоподобного покрытия на твердосплавный инструмент позволяет значительно улучшить технические характеристики инструмента и повысить его ресурс, что, в связи с дороговизной материала, приводит к положительному экономическому эффекту.

7.2 Термическая обработка и легирование рабочих поверхностей режущих инструментов

В отличие от поверхностного легирования, термическая обработка вызывает изменение структуры и свойств поверхностного слоя инструмента без изменения его химического состава.

В основе лазерной закалки лежит воздействие на поверхностный слой инструмента высококонцентрированного источника энергии - лазерного луча. Так же, как и при лазерном легировании, этот способ модификации поверхности реализуется без объёмного нагрева инструментального материала и является локальным.

При обработке поверхности инструмента лазерным лучом, она претерпевает сильные структурные изменения благодаря сверхбыстрым процессам нагрева и охлаждения тонкого поверхностного слоя. Изменяя мощность и время воздействия лазерного излучения на обрабатываемые участки инструмента, получают широкий спектр структурных состояний поверхностного слоя материала: ультрамикроструктурные структуры, пересыщенные твёрдые растворы, структуры с повышенной гомогенностью и аморфные. С модификацией структуры поверхностного слоя инструментального материала, изменяются и его физико-механические свойства - твёрдость, теплостойкость и т.д.

Лазерную обработку режущего инструмента производят без оплавления поверхности, так как в противном случае наблюдается ухудшение исходной шероховатости поверхности и, как следствие, увеличение фрикционного взаимодействия с обрабатываемым материалом.

Лазерная закалка имеет те же недостатки, что и лазерное легирование. В промышленности этот метод имеет достаточно ограниченное применение в инструментальном производстве.

Эффект от применения электронно-лучевой обработки поверхностей инструмента аналогичен тому, который достигается в результате лазерной обработки. В отличие от лазерной, электронно-лучевая обработка осуществляется в среде высокого вакуума, который необходим для защиты эмиттера электронов от окисления и предотвращения их рассеяния. Сущность электронно-лучевой обработки заключается в том, что электронный луч бомбардирует поверхность инструмента с энергией плотностью порядка $8 \dots 10^8$ Вт/см² и перемещается от одного локализованного участка к другому через определённые интервалы времени. Скорость охлаждения после отвода электронного луча очень высока, в результате чего аустенитная структура превращается в мартенсит. Этот метод модификации поверхности инструментов обладает теми же недостатками, что и лазерная обработка, но оборудование для электроннолучевой обработки имеет более высокий КПД (используется 74 % приложенной энергии).

Недостатком процесса традиционной термической закалки инструмента является большое количество устойчивого остаточного аустенита, который трудно поддаётся превращению в мартенсит при повторных высокотемпературных отпусках. С целью превращения остаточного аустенита в мартенсит, применяют криогенную обработку, также называемую обработкой холодом. Охлаждение до отрицательных температур вызывает дополнительное мартенситное превращение, в результате которого в тонких поверхностных слоях формируется структура мелкодисперсного мартенсита повышенной твёрдости. Обработку холодом

проводят сразу после закалки, чтобы не допустить стабилизации аустенита. После обработки холодом инструмент подвергают низкому отпуску, так как обработка холодом не снижает внутренних напряжений.

Метод закалки токами высокой частоты основан на том, что в переменное магнитное поле, создаваемое проводником-индуктором, помещают инструмент, в котором индуцируются вихревые токи, вызывающие нагрев металла. Чем больше частота тока, тем тоньше формируемый закалённый слой (обычно его толщина составляет 1...3 мм). После нагрева в течение 3...5 секунд, инструмент с индуктора быстро перемещается в специальное охлаждающее устройство, через отверстия которого на нагретую поверхность разбрызгивается закалочная жидкость. Высокая скорость нагрева смещает фазовые превращения в область более высоких температур. Температура закалки при нагреве токами высокой частоты должна быть выше, чем при обычном нагреве. При правильных режимах нагрева после охлаждения получается структура мелкоиглочатого мартенсита. Твёрдость повышается на 4...8 HRC по сравнению с обычной закалкой. Недостатком этого вида закалки является неравномерность глубины и твёрдости закалённого слоя, наличие резкого перехода от упрочнённой поверхности к неупрочнённой сердцевине.

7.3 Комбинированная обработка рабочих поверхностей режущих инструментов

Методы комбинированной обработки рабочих поверхностей режущих инструментов заключаются в сочетании методов модификации поверхности, относящихся к различным группам, — нанесения покрытий, поверхностного легирования, термического и деформационного воздействия.

После лазерной закалки и ионной имплантации на практике применяют различные методы нанесения покрытий. Это делается для того, чтобы дополнительно повысить твёрдость рабочих поверхностей режущего инструмента и/или снизить их адгезионное взаимодействие с обрабатываемым материалом в процессе резания.

Перед нанесением покрытий на рабочие поверхности инструмента из быстрорежущих сталей, целесообразно проводить дополнительную обработку - лазерную закалку, ионную имплантацию и ионное азотирование. Связано это с тем, что на границе раздела "покрытие — инструментальный материал" наблюдается резкое изменение физико-механических и теплофизических свойств (в первую очередь модуля упругости и коэффициента термического расширения), приводящее к образованию в покрытии высоких остаточных напряжений и, как следствие, к снижению прочности адгезионной связи покрытия с основой. Снижение уровня остаточных напряжений в покрытии и увеличение прочности его адгезионной связи с инструментальной основой обеспечивают за счет формирования переходного слоя. Этот слой может быть сформирован практически любым способом поверхностного легирования и ХТО.

ЛИТЕРАТУРА

1. Резание металлов и режущий инструмент: учебное пособие для учреждений высшего образования по специальностям «Технология машиностроения», «Технологическое оборудование машиностроительного производства» / Э.М.Дечко, М.М.Дечко. - Минск: Вышэйшая школа, 2020. - 287 с.
2. Режущий инструмент. Эксплуатация: учебное пособие: для студентов учреждений высшего образования по машиностроительным специальностям / Е.Э.Фельдштейн, М.А.Корниевич. - Минск: Новое знание: Москва, Инфра-М, 2019.- 255 с. - (Высшее образование — бакалавриат) (Бакалавриат)
3. Справочник инструментальщика под ред. Боровского Г.В. - М.: - Машиностроение, 2007 - 464 с.
4. Проектирование и расчет металлорежущего инструмента на ЭВМ: учебное пособие для втузов / О.В.Таратынов [и др.]; под ред. О.В.Таратынова, Ю.П.Тарамыкина. - М.: МГИУ, 2006.
5. Подзолков А.И., Дубовик Ю.А., Бабенко Д.А. Влияние полимерсодержащих смазывающе-охлаждающих технологических средств на эффективность резания металлов // Вестник Харьковск. национальн. техни. ун-та. 2007. № 3(29). С. 184-189.
6. Латышев В. Н., Наумов А. Г., Раднюк В. С. и др. Экспериментальные исследования трибологических явлений при резании материалов // Трение и износ. 2010. Т. 31, № 5. С. 500-510.
7. Латышев В. Н., Наумов А. Г. Активация СОТС // Смазочно-охлаждающие технологические средства: Справочник / Под общ. ред. Л. В. Худобина. М.: Машиностроение, 2006. 543 с.

Раздел контроля знаний

Вопросы

к экзамену по дисциплине «Пути совершенствования инструмента для обработки деталей машин»

Тема 1. Введение. Цели и задачи дисциплины.

Тема 2. Инструментальная оснастка

Инструментальная оснастка станков с ЧПУ и автоматов. Специальные оправки и адаптеры.

Тема 3. Современные инструментальные материалы и их роль в совершенствовании инструмента

Влияние инструментального материала на обработку и конструкцию инструмента. Инструментальные стали. Вольфрамосодержащие и безвольфрамовые твердые сплавы. Минералокерамика. Сверхтвёрдые материалы. Совершенствование сверхтвердых материалов.

Тема 4. Влияние СОТС на современный режущий инструмент. Совершенствование подхода к использованию СОТС. Способы воздействия на резание. СОТС в виде аэрозоли. СОТС с использованием микрокапсул. Применение твердых и пластичных СОТС. Применение электростатического охлаждения режущего инструмента. Влияние активированных полимерсодержащих СОТС при обработке металлов резанием. Составы СОТС, рекомендуемые для магнитно-абразивного полирования разных металлов.

Тема 5. Режущие инструменты для высокопроизводительной лезвийной и абразивной обработки.

Конструкции режущего инструмента для высокопроизводительной обработки с сменными многогранными режущими пластинами. Инструмент для обработки тел вращения. Инструмент для обработки плоскостей. Инструмент для обработки отверстий. Конструкции специального осевого инструмента.

Тема 6. Нанесение покрытий и модификация рабочих поверхностей режущих поверхностях инструментов, как путь их совершенствования.

Общие сведения о методах нанесения покрытий и модификации рабочих поверхностей режущих инструментов. Виды износостойких покрытий и методы их получения: химического и физического осаждения покрытий.

Газотермическое напыление. Осаждение нанопокровий. Особенности эксплуатации режущего инструмента с покрытием. Инновационные функциональные покрытия.

Тема 7. Современные технологии обработки поверхности инструмента.

Технологические методы повышения износостойкости инструмента. Выбор оптимального метода поверхностной обработки режущего инструмента. Термическая обработка и легирование рабочих поверхностей режущих инструментов. Деформационное воздействие на рабочие поверхности режущих инструментов. Комбинированная обработка рабочих поверхностей режущих инструментов.

Вспомогательный раздел

Учреждение образования
«Брестский государственный технический университет»

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе

М.В. Нерода

21. 12. 2023

Регистрационный № УД-

13-2-089 /уч.

**Пути совершенствования инструмента для обработки деталей
машин**

Учебная программа учреждения высшего образования
по учебной дисциплине для специальности:

7-06-0714-02 «Инновационные технологии в машиностроении»

Учебная программа составлена на основе образовательного стандарта Республики Беларусь ОСВО 7-06-0714-02 -2023 и учебных планов специальности.

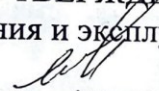
СОСТАВИТЕЛЬ:

А.М. Левданский, старший преподаватель кафедры «Машиностроение и эксплуатация автомобилей», м.т.н.

РЕЦЕНЗЕНТЫ:

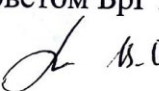
Гамзюк М.Ф., директор по производству СООО «СТиМ Брест»;
Голуб В.М., заведующий кафедрой машиноведения учреждения образования «Брестский государственный технический университет», кандидат технических наук, доцент.

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

Кафедрой машиностроения и эксплуатации автомобилей
Заведующий кафедрой  С.В. Монтик
(протокол № 2 от 05.10. 2023);

Методической комиссией машиностроительного факультета
Председатель методической комиссии  В.П. Горбунов
(протокол № 3 от 9.11. 2023);

Научно-методическим советом БрГТУ (протокол № 2 от 21.12 2023)

Методическим советом  В.И. Седухин

1 ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Дисциплина «Пути совершенствования инструмента для обработки деталей машин» относится к компоненту учреждения высшего образования цикла дисциплин специальной подготовки магистров технических наук по специальности 7-06-0714-02 «Инновационные технологии в машиностроении», знания по которой определяет уровень профессиональной подготовки специалиста для производственной, конструкторско-технологической и других видов деятельности в области машиностроения.

1.1. Цели и задачи

Целью изучения дисциплины – научить магистра знаниям по решению задач технологического обеспечения выбора современных инструментов и их оснастки, методов их хранения и эксплуатации и рекомендаций по применению. Основные задачи дисциплины: 1) дать знания в области конструкции современных режущих инструментов, особенностями эксплуатации инструментов в условиях современного машиностроительного производства, навыки по их рациональному выбору и эффективные методы эксплуатации; в инженерном деле; 2) способствовать более быстрой адаптации магистров к предстоящей работе; 3) показать важность фундаментальной подготовки в металлообработке.

В процессе изучения данной дисциплины магистр расширяет и углубляет следующие компетенции (СК-2,3):

Применять высокоэффективные инновационные технологии, эффективные методы получения заготовок деталей машин, методы объемного и поверхностного упрочнения деталей машин для увеличения их ресурса с учетом условий их эксплуатации. Внедрять тенденции совершенствования станков с ЧПУ, методы и средства автоматизации производства, уметь использовать их для автоматизации инновационного многономенклатурного механосборочного производства.

Магистр, завершивший изучение данной дисциплины должен:

- иметь представления об оснастке и инструменте в современном машиностроении;
- знать обозначения и маркировку оснасти, применяемой в техпроцессах;
- знать основные положения применения оснастки и инструмента в производствах.

Знания и навыки магистров, начинающих изучение дисциплины базируются на знаниях дисциплин: «Режущий инструмент», «Материаловедение» и других полученных ранее.

В процессе освоения дисциплины для изучения и осмысления материала используются технические средства обучения, наглядные пособия, оборудование, оснастка и инструмент производственно-механических мастерских.

План учебной дисциплины для дневной формы получения углубленного высшего образования

Код специальности (направления специальности)	Наименование специальности (направления специальности)	Курс	Семестр	Всего учебных часов	Количество зачетных единиц	Аудиторных часов (в соответствии с учебным планом УВО)					Академических часов на курсовой проект	Форма текущей аттестации
						Всего	Лекции	Лабораторные занятия	Практические занятия	Семинары		
7-06-0714-02	Инновационные технологии в машиностроении	1	2	110	3	36	36	-	-	-	-	Экзамен 2 семестр

План учебной дисциплины для заочной формы получения углубленного высшего образования

Код специальности (направления специальности)	Наименование специальности (направления специальности)	Курс	Семестр	Всего учебных часов	Количество зачетных единиц	Аудиторных часов (в соответствии с учебным планом УВО)					Академических часов на курсовой проект	Форма текущей аттестации
						Всего	Лекции	Лабораторные занятия	Практические занятия	Семинары		
7-06-0714-02	Инновационные технологии в машиностроении	1	2	110	3	8	8	-	-	-	-	Экзамен 2 семестр

1 СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

1.1 ЛЕКЦИОННЫЕ ЗАНЯТИЯ, ИХ СОДЕРЖАНИЕ

Наименование тем, разделов и их содержание

Тема 1. Введение. Цели и задачи дисциплины. Формы отчетности. Библиографические источники.

Тема 2. Инструментальная оснастка

Инструментальная оснастка станков с ЧПУ и автоматов. Специальные оправки и адаптеры.

Тема 3. Современные инструментальные материалы и их роль в совершенствовании инструмента

Влияние инструментального материала на обработку и конструкцию инструмента. Инструментальные стали. Вольфрамосодержащие и безвольфрамовые твердые сплавы. Минералокерамика. Сверхтвёрдые материалы. Совершенствование сверхтвердых материалов.

Тема 4. Влияние СОТС на современный режущий инструмент. Совершенствование подхода к использованию СОТС. Способы воздействия на резание. СОТС в виде аэрозоли. СОТС с использованием микрокапсул. Применение твердых и пластичных СОТС. Применение электростатического охлаждения режущего инструмента. Влияние активированных полимерсодержащих СОТС при обработке металлов резанием. Составы СОТС, рекомендуемые для магнитно-абразивного полирования разных металлов.

Тема 5. Режущие инструменты для высокопроизводительной лезвийной и абразивной обработки.

Конструкции режущего инструмента для высокопроизводительной обработки с сменными многогранными режущими пластинами. Инструмент для обработки тел вращения. Инструмент для обработки плоскостей. Инструмент для обработки отверстий. Конструкции специального осевого инструмента.

Тема 6. Нанесение покрытий и модификация рабочих поверхностей режущих поверхностях инструментов, как путь их совершенствования.

Общие сведения о методах нанесения покрытий и модификации рабочих поверхностей режущих инструментов. Виды износостойких покрытий и методы их получения: химического и физического осаждения покрытий.

Газотермическое напыление. Осаждение нанопокровов. Особенности эксплуатации режущего инструмента с покрытием. Инновационные функциональные покрытия.

Тема 7. Современные технологии обработки поверхности инструмента.

Технологические методы повышения износостойкости инструмента. Выбор оптимального метода поверхностной обработки режущего инструмента. Термическая обработка и легирование рабочих поверхностей режущих инструментов. Деформационное воздействие на рабочие поверхности режущих инструментов. Комбинированная обработка рабочих поверхностей режущих инструментов.

3.1 УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ для дневной формы получения углубленного высшего образования

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов				Количество часов самостоятельной работы	Форма контроля знаний
		Лекции	Лабораторные занятия	Практические занятия	Семинарские занятия		
	2-й семестр						
1	Введение. Цели и задачи дисциплины. Формы отчетности. Библиографические источники	2				4	экзамен
2	Инструментальная оснастка	8				10	экзамен
3	Современные инструментальные материалы и их роль в совершенствовании инструмента	8				10	экзамен
4	Влияние СОТС на современный режущий инструмент.	4				15	экзамен
5	Режущие инструменты для высокопроизводительной лезвийной и абразивной обработки.	4				15	экзамен
6	Нанесение покрытий и модификация рабочих поверхностей режущих поверхностей инструментов, как путь их совершенствования.	5				10	
7	Современные технологии обработки поверхности инструмента.	5				10	
	Всего часов по дисциплине	36				74	

3.2. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ для заочной формы получения углубленного высшего образования

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов				Количество часов самост. работы	Форма контроля знаний
		Лекции	Лабораторные занятия	Практические занятия	Семинарские занятия		
	2-й семестр						
1	Введение. Цели и задачи дисциплины. Формы отчетности. Библиографические источники	1				2	экзамен
2	Инструментальная оснастка	2				20	экзамен
3	Современные инструментальные материалы и их роль в совершенствовании инструмента	1				20	экзамен
4	Влияние СОТС на современный режущий инструмент.	1				20	экзамен
5	Режущие инструменты для высокопроизводительной лезвийной и абразивной обработки.	1				20	экзамен
6	Нанесение покрытий и модификация рабочих поверхностей режущих поверхностей инструментов, как путь их совершенствования.	1				10	
7	Современные технологии обработки поверхности инструмента.	1				10	
	Всего часов по дисциплине	8				102	

4. ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

4.1 Перечень литературы (учебной, учебно-методической, научной, нормативной, др.)

Основная

4.1.1 Теория резания: учеб. пос. для вузов /Н.Н. Попок. –Минск: ИВЦ Минфина, 2019. –372 с.

4.1.2 Режущий инструмент. Эксплуатация [Текст] : учеб. пос. для вузов / Е. Э. Фельдштейн ; Е. Э. Фельдштейн, М. А. Корниевич. - Мн. : Новое знание, 2012. - 256 с.

4.1.3 Д. В. Кожевников и др. «Режущие инструменты». – М. - Машиностроение, 2007.-528с.

4.1.4 Е. Э. Фельдштейн, М. А. Корниевич, В. И. Шагун Режущий инструмент. Курсовое и дипломное проектирование. Издание 2-е исправленное.- Минск «Дизайн ПРО». 2002 – 320с.

4.1.5 Проектирование и расчет металлорежущего инструмента на ЭВМ: учебное пособие для втузов / О. В. Таратынов [и др.]; под ред. О. В. Таратынова, Ю. П. Тарамыкина. - М.: МГИУ, 2006 .

4.1.6 Режущий инструмент: учебник / под ред. С. В. Кирсанова. - 3-е изд. - М.: Машиностроение, 2007. - 528 с.

4.1.7 Режущий инструмент : лаборат. практикум : учеб. пособие / под общ. ред. В. И. Шагуна. - Мн. : Адукацыя і выхаванне, 2004. - 192 с.

Дополнительная

- 4.1.8 Справочник инструментальщика под ред. Боровского Г. В. - М.: - Машиностроение, 2007.-464 с.
- 4.1.9 Металлорежущие инструменты: справочник конструктора / Е. Э. Фельдштейн ; Е. Э. Фельдштейн, М. А. Корниевич. - Мн. : Новое знание, 2009. - 1039 с.
- 4.1.10 Металлорежущие инструменты : учеб. пос. / В. И. Шагун. - М. : Высш. шк., 2007. - 423 с
- 4.1.11 Режущий инструмент: учебное пособие / Е. Э. Фельдштейн ; Е. Э. Фельдштейн, М. А. Корниевич, М. И. Михайлов. - Мн. : Новое знание, 2007. - 400 с.

Учебно-методические разработки

- 4.1.12 Сборник методических указаний к лабораторно-практическим занятиям по дисциплине «Режущий инструмент» для студентов специальности 1-36 01 01 «Технология машиностроения»: учебное пособие /А. М. Левданский – Брест,: Учреждение образования «Брестский государственный технический университет» 2007 - 64 с.

4.2. Перечень средств диагностики результатов учебной деятельности

1. Форма аттестации: экзамен

4.3. Методические рекомендации по организации и выполнению самостоятельной работы обучающихся учебной дисциплине

При изучении дисциплины используются следующие формы самостоятельной работы в соответствии с п. 3 Положения о самостоятельной работе студентов учреждения образования «Брестский государственный технический университет», утвержденного ректором БрГТУ №56 от 01.06.2020:

- самостоятельное изучение тем лекционного курса по литературным источникам и методическим указаниям, имеющимся в библиотеке БрГТУ и указанным в разделе 4 настоящей программы;
- самостоятельная подготовка к экзамену.

Самостоятельное изучение тем лекционного курса выполняется по следующим литературным источникам:

Номер темы	Название раздела, темы	Номер литературного источника
1	Введение. Цели и задачи дисциплины. Формы отчетности. Библиографические источники	[4.1.11]
2	Инструментальная оснастка	[4.1.2; 4.1.3]
3	Современные инструментальные материалы и их роль в совершенствовании инструмента	[4.1.1; 4.1.6; 4.1.8; 4.1.9]

Номер темы	Название раздела, темы	Номер литературного источника
4	Влияние СОТС на современный режущий инструмент.	[4.1.11]
5	Режущие инструменты для высокопроизводительной лезвийной и абразивной обработки.	[4.1.1; 4.1.2]
6	Нанесение покрытий и модификация рабочих поверхностей режущих поверхностей инструментов, как путь их совершенствования.	[4.1.1; 4.1.2; 4.1.3]
7	Современные технологии обработки поверхности инструмента.	[4.1.1; 4.1.9]

ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ

Название учебной дисциплины, с которой требуется согласование	Название кафедры	Предложения об изменениях в содержании учебной программы учреждения высшего образования по учебной дисциплине	Решение, принятое кафедрой, разработавшей учебную программу (с указанием даты и номера протокола)
1. Научные основы технологии машиностроения	МЭА	нет	Рекомендовать к утверждению (протокол № ____ от 2023.) Зав. кафедрой МЭА С.В. Монтик

Содержание учебной программы
согласовано с выпускающей кафедрой
Заведующий выпускающей кафедрой,
кандидат технических наук, доцент

С.В. Монтик