



ИнфоМайн 

исследовательская группа

Объединение независимых экспертов в области минеральных ресурсов,
металлургии и химической промышленности

**Обзор рынка
твердосплавного
металлорежущего
металлокерамического
инструмента
в России**

Демонстрационная версия

*Москва
январь, 2009*

Содержание

| | |
|--|-----------|
| Аннотация | 8 |
| Введение..... | 9 |
| 1. Общие понятия о металлорежущем инструменте..... | 10 |
| 1.1. Основные понятия процесса резания | 10 |
| 1.2. Классификация металлорежущего инструмента | 10 |
| 1.3. Инструментальные материалы | 12 |
| 1.4. Твердосплавный инструмент и режимы резания..... | 20 |
| 2. Производство металлорежущего инструмента из твердых сплавов | 25 |
| 2.1. Общая характеристика..... | 25 |
| 2.2. Характеристика основных производителей твердосплавного металлорежущего инструмента | 30 |
| 2.2.1. ОАО «КАМАЗинструментспецмаш»..... | 30 |
| 2.2.2. Белгородская область | 31 |
| 2.2.3. ОАО «Канаишский завод резцов»..... | 37 |
| 2.2.4. ОАО «Киржачский инструментальный завод»..... | 39 |
| 2.2.5. ОАО «Серпуховский инструментальный завод «Твинтос»..... | 41 |
| 2.2.6. ДООО «Ижевский инструментальный завод»..... | 44 |
| 2.3. Характеристика основных производителей твердосплавных пластин для металлорежущего инструмента | 46 |
| 2.3.1. ОАО «Кировградский завод твёрдых сплавов»..... | 46 |
| 2.3.2. Прочие производители | 58 |
| 3. Внешнеторговые операции с металлорежущим инструментом..... | 59 |
| 3.1. Экспорт..... | 60 |
| 3.1.1. Металлорежущий инструмент | 60 |
| 3.1.2. Металлорежущие металлокерамические пластины..... | 64 |
| 3.2. Импорт..... | 68 |
| 3.2.1. Металлорежущий инструмент | 68 |
| 3.2.2. Металлорежущие металлокерамические пластины..... | 75 |
| 4. Потребление твердосплавного металлорежущего инструмента | 79 |
| 5. Прогноз производства металлорежущего инструмента из твердых сплавов | 81 |
| 5.1. Машиностроительная отрасль в условиях финансового кризиса..... | 81 |
| 5.2. Задачи инструментального производства..... | 88 |
| 5.3. Прогноз производства металлорежущего инструмента в России до 2014 г. | 92 |
| Приложение №1. Контактная информация предприятий..... | 94 |

Список таблиц

| | |
|--|----|
| Таблица 1. Характеристика спеченных твердых сплавов..... | 14 |
| Таблица 2. Область применения инструментальных твердых сплавов (для обработки материалов резанием) | 15 |
| Таблица 3. Структура производства инструмента из твердых сплавов в динамике в 2002-2008 гг..... | 26 |
| Таблица 4. Динамика выпуска металлорежущего инструмента основными производителями и региональная структура распределения производства, млн руб. | 27 |
| Таблица 5. Фрезы дисковые трехсторонние, выпускаемые ЗАО "Холдинговая компания "Инструментальные заводы" | 35 |
| Таблица 6. Фрезы торцевые, выпускаемые ЗАО "Холдинговая компания "Инструментальные заводы" | 36 |
| Таблица 7. Фрезы концевые, выпускаемые ЗАО "Холдинговая компания "Инструментальные заводы" | 36 |
| Таблица 8. Сбытовые организации ЗАО «Холдинговая компания "Инструментальные заводы» | 37 |
| Таблица 9. Номенклатура продукции, выпускаемой ОАО «Канашский завод резцов» | 38 |
| Таблица 10. Прайс-лист на резцы токарные напайные с пластиной из твердых сплавов Т15К6, Т5К10, ВК8 ОАО «Киржачский инструментальный завод»..... | 40 |
| Таблица 11. Ассортимент твердосплавных монолитных борфрез повышенной точности, выпускаемых ОАО «Серпуховский инструментальный завод «Твинтос» | 42 |
| Таблица 12. Ассортимент твердосплавных зенкеров, выпускаемых ОАО «Серпуховский инструментальный завод «Твинтос» | 43 |
| Таблица 13. Твердосплавный металлорежущий инструмент, выпускаемый ДООАО «Ижевский инструментальный завод» (по состоянию на 08.09.08г.)..... | 45 |
| Таблица 14. Марки и области применения твердых сплавов, выпускаемых ОАО "КЗТС" для резания, точения, фрезерования, сверления и т. п. | 47 |
| Таблица 15. Основные марки сплавов для точения с покрытием ОАО «КЗТС», принятые к производству | 50 |
| Таблица 16. Основные виды твердосплавных пластин и СМП, выпускаемых ОАО «КЗТС» | 54 |
| Таблица 17. Пластины и чашечные резцы для обработки колесных пар и рельсов | 55 |
| Таблица 18. Дилеры ОАО «КЗТС»..... | 57 |
| Таблица 19. Основные зарубежные потребители инструмента с рабочей частью из металлокерамики в 2007-2008 гг., т (% от объема экспорта) | 61 |
| Таблица 20. Динамика экспорта металлорежущего инструмента по отдельным видам в 2003-2008 гг. | 62 |

| | |
|---|----|
| Таблица 21. Основные экспортеры металлорежущего инструмента с рабочей частью из металлокерамики в первом полугодии 2008 г., т (% от объема экспорта)..... | 63 |
| Таблица 22. Структура экспорта металлорежущего инструмента с рабочей частью из металлокерамики в 2003-2008 гг..... | 63 |
| Таблица 23. Структура экспорта металлокерамических поворачиваемых вставок по странам в 2003-2008 гг., \$ тыс..... | 65 |
| Таблица 24. Динамика импорта металлорежущего инструмента по отдельным видам в 2003-2008 гг..... | 69 |
| Таблица 25. Основные торговые марки (фирмы-производители) металлорежущего инструмента с рабочей частью из твердых сплавов, представленные в России | 71 |
| Таблица 26. Структура импорта металлорежущего инструмента с рабочей частью из металлокерамики в 2003-2008 гг..... | 72 |
| Таблица 27. Основные покупатели импортируемого металлорежущего инструмента с рабочей частью из металлокерамики в 1-ом полугодии 2008 г..... | 73 |
| Таблица 28. Региональная структура распределения импорта металлорежущего инструмента с рабочей частью из твердых сплавов в 2007-2008 гг..... | 74 |
| Таблица 29. Структура импорта металлокерамических пластин и вставок по торговым маркам в 1-ом полугодии 2008 г..... | 76 |
| Таблица 30. Основные покупатели импортируемых металлокерамических пластин и вставок в 1-ом полугодии 2008 г..... | 78 |
| Таблица 31. Основные дилеры импортируемых металлокерамических пластин и вставок в 1-ом полугодии 2008 г..... | 78 |

Список рисунков

| | | |
|-------------|---|----|
| Рисунок 1. | Динамика производства металлорежущего инструмента из твердых сплавов в 2003-2008 гг. | 25 |
| Рисунок 2. | Региональная структура размещения мощностей по выпуску металлорежущего инструмента из твердых сплавов в 2007 г... .. | 26 |
| Рисунок 3. | Динамика производства металлорежущего инструмента из твердых сплавов в ОАО «КИСМ» в 2003-2008 гг..... | 30 |
| Рисунок 4. | Динамика производства металлорежущего инструмента из твердых сплавов в Белгородской области в 2003-2008 гг. | 32 |
| Рисунок 5. | Динамика производства металлорежущего инструмента из твердых сплавов в ОАО «Канашский завод резцов» в 2003-2008 гг. | 38 |
| Рисунок 6. | Динамика производства металлорежущего инструмента из твердых сплавов в ОАО «Киржачский инструментальный завод» в 2003-2008 гг..... | 39 |
| Рисунок 7. | Динамика производства металлорежущего инструмента из твердых сплавов в ОАО «Серпуховский инструментальный завод «Твинтос» в 2003-2008 гг..... | 42 |
| Рисунок 8. | Динамика производства металлорежущего инструмента из твердых сплавов в ДОО «Ижевский инструментальный завод» в 2003-2008 гг. | 44 |
| Рисунок 9. | Динамика внешнеторговых операций с металлорежущим инструментом с рабочей частью из металлокерамики в 2003-2008 гг. | 59 |
| Рисунок 10. | Динамика экспорта металлорежущего инструмента в 2003-2008 гг. | 60 |
| Рисунок 11. | Структура экспорта металлорежущего инструмента с рабочей частью из металлокерамики по видам в 1-ом полугодии 2008 г. | 61 |
| Рисунок 12. | Динамика и структура экспорта металлокерамических пластин в натуральном выражении в 2003-2008 гг..... | 64 |
| Рисунок 13. | Динамика и структура экспорта металлокерамических пластин в стоимостном выражении в 2003-2008 гг. | 65 |
| Рисунок 14. | Основные покупатели российских металлокерамических пластин в первом полугодии 2008 г..... | 66 |
| Рисунок 15. | Основные покупатели российских поворачиваемых металлокерамических вставок в первом полугодии 2008 г..... | 67 |
| Рисунок 16. | Основные экспортеры металлокерамических пластин в первом полугодии 2008 г..... | 67 |
| Рисунок 17. | Динамика импорта металлорежущего инструмента в 2003-2008 гг. | 68 |
| Рисунок 18. | Структура импорта металлорежущего инструмента с рабочей частью из металлокерамики в 1-ом полугодии 2008 г. | 69 |
| Рисунок 19. | Динамика импорта металлокерамических пластин и вставок в весовом выражении в 2003-2008 гг..... | 75 |

| | |
|--|----|
| Рисунок 20. Динамика импорта металлокерамических пластин и вставок в стоимостном выражении в 2003-2008 гг. | 76 |
| Рисунок 21. Динамика потребления твердосплавного металлорежущего инструмента в 2003-2008 гг., млн руб. | 79 |
| Рисунок 22. Доля импорта в потреблении и экспорта в производстве твердосплавного инструмента, %..... | 80 |
| Рисунок 23. Механизм реализации предпосылок..... | 86 |
| Рисунок 24. Прогноз производства и потребления твердосплавного металлорежущего инструмента в России в 2009-2014 гг. | 92 |

Аннотация

Данное исследование посвящено анализу российского рынка твердосплавного металлокерамического металлообрабатывающего инструмента. Работа включает 5 глав, объем работы – 96 страниц. Текст иллюстрирован 31 таблицей и 24 рисунками.

В главе 1 приводятся основные понятия о металлорежущем инструменте, его классификации, характеристики твердосплавных инструментальных сплавов и особенности их применения.

В главе 2 дана оценка производства цельнометаллического твердосплавного инструмента, а также металлокерамических твердосплавных пластин и сменных многогранных вставок. Отдельный раздел посвящен описанию наиболее крупных предприятий, выпускаемой ими продукции (номенклатура, цены).

О влиянии внешнеторговых сделок на российский рынок твердосплавного инструмента рассказано в главе 3. Особое внимание уделено импортным поставкам.

Глава 4 показывает обеспеченность России твердосплавным инструментом и состояние спроса на него.

В главе 5 собраны и обобщены мнения и предложения специалистов машиностроительной отрасли, продемонстрированы возможные сценарии развития машиностроения в условиях финансового кризиса, представлены основные направления совершенствования инструментального производства. Итогом явился прогноз возможного развития производства и состояния потребления твердосплавного инструмента на период до 2014 г.

Основным источником информации явились данные Федеральной таможенной службы (ФТС) и Федеральной службы государственной статистики (ФСГС) России, они позволили оценить состояние дел в целом по стране. Значительную помощь оказали специалисты ведущих производственных предприятий, согласившиеся дать интервью.

ООО «Исследовательская группа «Инфолайн» надеется, что данное исследование поможет специалистам в их собственной оценке состояния рынка твердосплавного инструмента в России.

Введение

История развития обработки металлов показывает, что одним из эффективных путей повышения производительности труда в машиностроении является применение новых инструментальных материалов. Например, применение быстрорежущей стали, вместо инструментальной углеродистой, позволило увеличить скорость резания в 2-3 раза. Аналогичное явление наблюдается при использовании в качестве инструментального материала твердых сплавов.

Инструментальный материал должен иметь:

- высокую твердость, для того чтобы в течение длительного времени срезать стружку;
- способность материала инструмента сохранять свою твердость при высокой температуре нагрева (краснотойкость/теплостойкость);
- режущая часть инструмента - большую износостойкость в условиях высоких давлений и нагрева;
- хорошие технологические свойства, т. е. легко обрабатываться в процессе изготовления инструмента и его переточки, а также быть сравнительно дешевым.

В настоящее время для изготовления режущих элементов инструментов применяются следующие материалы: инструментальные стали (углеродистые, легированные и быстрорежущие), твердые сплавы, минералокерамические материалы, алмазы, абразивные материалы.

Во всем мире примерно 75% стружки снимается твердосплавным инструментом. На долю быстрорежущих сталей приходится не более 20%, а остальная стружка снимается алмазным инструментом, режущей оксидной керамикой, кубическим нитридом бора (КНБ) и т. п.

Настоящее исследование посвящено обзору рынка твердосплавного металлокерамического инструмента как наиболее распространенному виду инструмента для обработки металла резанием.

1. Общие понятия о металлорежущем инструменте

1.1. Основные понятия процесса резания

Снятие стружки с поверхности вращающейся заготовки осуществляется режущим инструментом, основным элементом которого является клин, заостренный под углом.

Для обработки заготовки необходимо установить наиболее рациональные *режимы резания*, т.е. скорость резания, подачу и глубину резания.

Скоростью резания (м/с или м/мин) называют путь режущей кромки инструмента относительно обрабатываемой заготовки в направлении главного движения за единицу времени. Подачей S (мм/об) называют путь, пройденный режущей кромкой инструмента относительно вращающейся заготовки в направлении движения подачи за один оборот заготовки. Подача может быть продольной, если инструмент перемещается параллельно оси вращения заготовки, и поперечной, если инструмент перемещается перпендикулярно этой оси.

1.2. Классификация металлорежущего инструмента

При обработке металлов резанием используют различные режущие инструменты: резцы, сверла, развертки, метчики, плашки, фрезы, фасонный инструмент и др.

Токарные резцы - один из наиболее простых и распространенных металлорежущих инструментов. Резцы применяются на токарных, револьверных, строгальных и других станках.

В зависимости от вида станка и рода выполняемой работы применяются резцы различных типов. Для обточки наружных поверхностей вращения, т. е. цилиндрических валиков, конических поверхностей большой длины и им подобных деталей, применяют *проходные резцы*. Проходные резцы бывают прямые и отогнутые. Отогнутые резцы получили широкое применение из-за их универсальности, большей жесткости, возможности вести обработку в менее доступных местах. Отогнутыми резцами можно работать при продольной и поперечной подачах и вести обточку поверху, подрезку торцов, снятие фасок. Проходные резцы могут быть черновые и чистовые. Чистовые резцы имеют большой радиус закругления, что обеспечивает получение более чистой обработанной поверхности. Если необходимо получить особенно чистую и гладкую поверхность, применяют широкие лопаточные резцы. Эти резцы работают с большой подачей. Однако при значительной длине контакта режущей кромки с заготовкой они склонны к вибрациям и дрожанию.

Подрезные резцы предназначены для обточки плоскостей, перпендикулярных оси вращения, подрезки торцов на проход. Эти резцы работают с поперечной подачей.

Расточные резцы служат для обработки отверстий. Они должны иметь меньшие поперечные размеры, чем обрабатываемое отверстие. В силу малой жесткости расточные резцы склонны к вибрациям, что не дает возможности снимать стружку большого сечения. При расточке длинных отверстий и отверстий большого диаметра широко применяют державки (оправки) со вставными резцами круглого или квадратного сечения малых размеров. Пользуясь державками, расточку отверстия можно производить при помощи одностороннего резца с одной режущей частью, двухстороннего резца, имеющего режущие части с обоих торцов, резцовой головки, состоящей из нескольких резцов.

Отрезные резцы служат для отрезания материала от прутков сравнительно небольшого диаметра. Они выполняются с оттянутой головкой, т. е. ширина головки выполняется меньше ширины тела резца. Длина оттянутой головки выбирается из расчета свободной отрезки заготовки. Отрезные резцы работают в весьма тяжелых условиях, так как их рабочая часть имеет малую жесткость, а отвод стружки из зоны резания затруднен. Головка резца имеет относительно малую толщину.

Резьбовые резцы служат для нарезания наружной и внутренней резьбы большого диаметра.

Сверла. В зависимости от конструкции и назначения различают спиральные, перовые, для глубокого сверления, центровочные, с пластинками из твердых сплавов и другие сверла. Наиболее распространены спиральные сверла.

Зенкеры - бывают цельные и насадные. Они предназначены для обработки цилиндрических и конических отверстий и торцов. Цельные зенкеры изготавливают диаметром до 32 мм. По внешнему виду они несколько похожи на спиральные сверла, но имеют три винтовые канавки и, следовательно, три режущие кромки.

Насадные зенкеры применяют для обработки отверстий диаметром до 100 мм. Зенкеры изготавливаются из быстрорежущей стали, возможно их оснащение пластинками из твердых сплавов.

Развертки предназначены для обработки отверстий, к которым предъявляют высокие требования по точности и шероховатости поверхности.

Различают машинные и ручные развертки, а по форме обрабатываемого отверстия — цилиндрические и конические. Число зубьев развертки – от 6 до 16. Распределение зубьев у разверток по окружности, как правило, неравномерное, что обеспечивает более высокое качество обработанной поверхности отверстия. Калибрующая часть служит для направления развертки при резании и калибровании отверстия.

Метчики предназначены для нарезания или калибрования резьбы в отверстиях. Различают метчики ручные, машинные, гаечные (для нарезания резьбы в гайках) и плашечные (для нарезания и калибрования резьбы в

плашках).

Плашки применяют для нарезания или калибрования наружной резьбы за один рабочий ход. Наиболее широко используют плашки для нарезания резьбы диаметром до 52 мм. Плашка представляет собой закаленную гайку с осевыми отверстиями, образующими режущие кромки. Обычно на плашках имеется от 3 до 6 отверстий для отвода стружки. Толщина плашки выбирается в пределах 8-10 витков. Режущая часть плашки выполнена в виде внутреннего конуса.

Фрезы — многозубный режущий инструмент, который применяют для обработки цилиндрических и фасонных поверхностей, пазов, лысок, канавок и др. Каждый зуб фрезы представляет собой обычный резец.

По конструкции фрезы бывают цельными, зубья которых выполнены заодно с корпусом, и сборными со вставными зубьями (ножами) или пластинами. По способу закрепления различают фрезы насадные, закрепляемые на оправке со шпонкой, и концевые, закрепляемые за хвостовик. По назначению (характеру выполняемых работ) и расположению лезвий фрезы бывают цилиндрическими, торцовыми, дисковыми и др.

1.3. Инструментальные материалы

В настоящее время для производства режущих инструментов широко используются твердые сплавы. Они состоят из карбидов вольфрама, титана, тантала, цементированных небольшим количеством кобальта. Карбиды вольфрама, титана и тантала обладают высокой твердостью, износостойкостью и теплостойкостью. Инструменты, оснащенные твердым сплавом, хорошо сопротивляются истиранию сходящей стружкой и материалом заготовки и не теряют своих режущих свойств при температуре нагрева до 750-1100°C.

Недостатком твердых сплавов, по сравнению с быстрорежущей сталью, является их повышенная хрупкость, которая возрастает с уменьшением содержания кобальта в сплаве. Скорости резания инструментами, оснащенными твердыми сплавами, в 3-4 раза превосходят скорости резания инструментами из быстрорежущей стали. Твердосплавные инструменты пригодны для обработки закаленных сталей и таких неметаллических материалов, как стекло, фарфор и т. п.

Производство металлокерамических твердых сплавов относится к области порошковой металлургии. Порошки карбидов смешиваются с порошком кобальта. Из этой смеси прессуются изделия требуемой формы и затем подвергаются спеканию при температуре, близкой к температуре плавления кобальта. Таким путем изготавливаются пластинки твердого сплава различных размеров и форм, которыми оснащаются резцы, фрезы, сверла, зенкеры, развертки и др.

Пластинки твердого сплава крепятся к державке или корпусу напайкой или механически при помощи винтов и прижимов. Наряду с этим в

машиностроительной промышленности применяются мелкогазмерные, монолитные твердосплавные инструменты, полностью состоящие из твердых сплавов. Они изготавливаются из пластифицированных заготовок. Из пластифицированных сплавов прессуются простые по форме заготовки, которые легко обрабатываются обычным режущим инструментом. После механической обработки заготовки спекаются, а затем шлифуются и затачиваются.

Из пластифицированного сплава заготовки монолитных инструментов могут быть получены путем мундштучного прессования. В этом случае спрессованные твердосплавные брикеты помещаются в специальный контейнер с твердосплавным профилированным мундштуком. При продавливании через отверстие мундштука изделие принимает требуемую форму и подвергается спеканию. По такой технологии изготавливаются мелкие сверла, зенкеры, развертки и т. п.

Монолитный твердосплавный инструмент может также изготавливаться из окончательно спеченных твердосплавных цилиндрических заготовок с последующим вышлифовыванием профиля алмазными кругами.

В зависимости от химического состава металлокерамические твердые сплавы, применяемые для производства режущего инструмента, разделяются на три основные группы: вольфрамовые, титановольфрамовые, титанотанталовольфрамовые (табл. 1, 2).

Вольфрамовые сплавы группы ВК. К однокарбидным сплавам группы ВК относятся сплавы: ВК2, ВК3, ВК4, ВК6, ВК8, ВК10, ВК15. Эти сплавы состоят из зерен карбида вольфрама, цементированных кобальтом. В марке сплавов цифра показывает процентное содержание кобальта. Например, сплав ВК8 содержит в своем составе 92% карбида вольфрама и 8% кобальта. Рассматриваемые сплавы применяются для обработки чугуна, цветных металлов и неметаллических материалов.

При выборе марки твердого сплава учитывают содержание кобальта, которое предопределяет его прочность. Из сплавов группы ВК сплавы ВК15, ВК10, ВК8 являются наиболее вязкими и прочными, хорошо противостоят ударам и вибрациям, а сплавы ВК2, ВК3 обладают наиболее высокой износостойкостью и твердостью при малой вязкости, слабо сопротивляются ударам и вибрациям. Сплав ВК8 применяется для черновой обработки при неравномерном сечении среза и прерывистом резании, а сплав ВК2 - для чистовой отделочной обработки при непрерывном резании с равномерным сечением среза. Для полустовых работ и черновой обработки с относительно равномерным сечением срезаемого слоя применяются сплавы ВК4, ВК6. Сплавы ВК10 и ВК15 находят применение при обработке резанием специальных труднообрабатываемых сталей.

Режущие свойства и качество твердосплавного инструмента определяются не только химическим составом сплава, но и его структурой, т. е. величиной зерна. С увеличением размера зерен карбида вольфрама прочность сплава возрастает, а износостойкость уменьшается и наоборот.

Таблица 1. Характеристика спеченных твердых сплавов

| Группы | Марки | Массовая доля основных компонентов в смеси порошков, % | | | | Физико-механические свойства | | |
|---------------|---------|--|---------------|----------------|------------|---|--|-------------------------|
| | | Карбид вольфрама | Карбид титана | Карбид тантала | Кобальт | Предел прочности при изгибе, МПа (кгс/мм ²), не менее | Плотность, (кг/м ³) 10 ⁻³ | Твердость HRA, не менее |
| Вольфрамовая | ВК3 | 97 | – | – | 3 | 1176 (120) | 15,0–15,3 | 89,5 |
| | ВК3-М | 97 | – | – | 3 | 1176 (120) | 15,0–15,3 | 91,0 |
| | ВК4-В | 96 | – | – | 4 | 1470 (150) | 14,9–15,2 | 88,0 |
| | ВК6 | 94 | – | – | 6 | 1519 (155) | 14,6–15,0 | 88,5 |
| | ВК6-М | 94 | – | – | 6 | 1421 (145) | 14,8–15,1 | 90,0 |
| | ВК6-ОМ | 92 | – | 2 | 6 | 1274 (130) | 14,7–15,0 | 90,5 |
| | ВК6-В | 94 | – | – | 6 | 1666 (170) | 14,6–15,0 | 87,5 |
| | ВК8 | 92 | – | – | 8 | 1666 (170) | 14,4–14,8 | 88,0 |
| | ВК8-В | 92 | – | – | 8 | 1813 (185) | 14,4–14,8 | 86,5 |
| | ВК8-ВК | 92 | – | – | 8 | 1764 (180) | 14,5–14,8 | 87,5 |
| | ВК10 | 90 | – | – | 10 | 1764 (180) | 14,2–14,6 | 87,0 |
| | ВК10-КС | 90 | – | – | 10 | 1862 (190) | 14,2–14,6 | 85,0 |
| | ВК11-В | 89 | – | – | 11 | 1960 (200) | 14,1–14,4 | 86,0 |
| | ВК11-ВК | 89 | – | – | 11 | 1862 (190) | 14,1–14,4 | 87,0 |
| | ВК15 | 85 | – | – | 15 | 1862 (190) | 13,9–14,4 | 86,0 |
| | ВК20 | 80 | – | – | 20 | 2058 (210) | 13,4–13,7 | 84,0 |
| | ВК20-КС | 80 | – | – | 20 | 2107 (215) | 13,4–13,7 | 82,0 |
| ВК10-ХОМ | 88 | – | 2 | 10 | 1470 (150) | 14,3–14,7 | 89,0 | |
| НО-вольфрамам | Т30К4 | 66 | 30 | – | 4 | 980 (100) | 9,5–9,8 | 92,0 |
| | Т15К6 | 79 | 15 | – | 6 | 1176 (120) | 11,1–11,6 | 90,0 |

| Группы | Марки | Массовая доля основных компонентов в смеси порошков, % | | | | Физико-механические свойства | | |
|----------------------------|----------|--|---------------|----------------|---------|---|--|-------------------------|
| | | Карбид вольфрама | Карбид титана | Карбид тантала | Кобальт | Предел прочности при изгибе, МПа (кгс/мм ²), не менее | Плотность, (кг/м ³) 10 ⁻³ | Твердость HRA, не менее |
| | T14K8 | 78 | 14 | – | 8 | 1274 (130) | 11,2–11,6 | 89,5 |
| | T5K10 | 85 | 6 | – | 9 | 1421 (145) | 12,4–13,1 | 88,5 |
| | T8K7 | 85 | 8 | – | 7 | 1519 (155) | 12,8–13,1 | 90,5 |
| Титанотантало-вольфрамовая | ТТ7К12 | 81 | 4 | 3 | 12 | 1666 (170) | 13,0–13,3 | 87,0 |
| | ТТ8К6 | 84 | 8 | 2 | 6 | 1323 (135) | 12,8–13,3 | 90,5 |
| | ТТ10К8-Б | 82 | 3 | 7 | 8 | 1617 (165) | 13,5–13,8 | 89,0 |
| | ТТ20К9 | 71 | 8 | 12 | 9 | 1470 (150) | 12,0–12,5 | 91 |

Источник: Росстандарт

В зависимости от размеров зерен карбидной фазы сплавы могут быть мелкозернистые, у которых не менее 50% зерен карбидных фаз имеет размер порядка 1 мкм, среднезернистые - с величиной зерна 1-2 мкм и крупнозернистые, у которых размер зерен колеблется от 2 до 5 мкм.

Для обозначения мелкозернистой структуры в конце марки сплава ставится буква М, а для крупнозернистой структуры - буква В.

Таблица 2. Область применения инструментальных твердых сплавов (для обработки материалов резанием)

| Марки | Применение |
|---------------|--|
| ВК3 | Чистовое точение с малым сечением среза, окончательное нарезание резьбы, развертывание отверстий и других аналогичных видов обработки серого чугуна, цветных металлов и их сплавов и неметаллических материалов (резины, фибры, пластмассы, стекла, стеклопластиков). |
| ВК3-М | Чистовая обработка (точение, растачивание, нарезание резьбы, развертывание) твердых, легированных и отбеленных чугунов, цементированных и закаленных сталей, а также высокоабразивных неметаллических материалов. |
| ВК6-ОМ | Чистовая и получистовая обработка твердых, легированных и отбеленных чугунов, закаленных сталей и некоторых марок нержавеющей высокопрочных и жаропрочных сталей и сплавов, особенно сплавов на основе титана, вольфрама и молибдена (точение, растачивание, развертывание, нарезание резьбы, шабровка). |

| Марки | Применение |
|-----------------|--|
| ВК6-М | Получистовая обработка жаропрочных сталей и сплавов, нержавеющей сталей, специальных твердых чугунов, закаленного чугуна, твердой бронзы, сплавов легких металлов, абразивных неметаллических материалов, пластмасс, бумаги, стекла. Обработка закаленных сталей, а также сырых углеродистых и легированных сталей при тонких сечениях среза на малых скоростях резания. |
| ТТ8К6 | Чистовое и получистовое точение, растачивание, фрезерование и сверление серого и ковкого чугуна, а также отбеленного чугуна. Непрерывное точение с небольшими сечениями среза стального литья, высокопрочных, нержавеющей сталей, в том числе и закаленных. Обработка сплавов цветных металлов и некоторых марок титановых сплавов при резании с малыми и средними сечениями среза. |
| ВК6 | Черновое и получерновое точение, предварительное нарезание резьбы токарными резцами, получистовое фрезерование сплошных поверхностей, рассверливание и растачивание отверстий, зенкерование серого чугуна, цветных металлов и их сплавов и неметаллических материалов. |
| ВК8 | Черновое точение при неравномерном сечении среза и прерывистом резании, строгание, черновое фрезерование, сверление, черновое рассверливание, черновое зенкерование серого чугуна, цветных металлов и их сплавов и неметаллических материалов. Обработка нержавеющей, высокопрочных и жаропрочных труднообрабатываемых сталей и сплавов, в том числе сплавов титана. |
| ВК10-ХОМ | Сверление, зенкерование, развертывание, фрезерование и зубофрезерование стали, чугуна, некоторых труднообрабатываемых материалов и неметаллов цельнотвердосплавным, мелкогабаритным инструментом. |
| Т30К4 | Чистовое точение с малым сечением среза (типа алмазной обработки); нарезание резьбы и развертывание отверстий незакаленных и закаленных углеродистых сталей. |
| Т15К6 | Получерновое точение при непрерывном резании, чистовое точение при прерывистом резании, нарезание резьбы товарными резцами и вращающимися головками, получистовое и чистовое фрезерование сплошных поверхностей, рассверливание и растачивание предварительно обработанных отверстий, чистовое зенкерование, развертывание и другие аналогичные виды обработки углеродистых и легированных сталей. |
| Т15К8 | Черновое точение при неравномерном сечении среза и непрерывном резании, получистовое и чистовое точение при прерывистом резании; черновое фрезерование сплошных поверхностей; рассверливание литых и кованых отверстий, черновое зенкерование и другие подобные виды обработки углеродистых и легированных сталей. |
| Т5К10 | Черновое точение при неравномерном сечении среза и прерывистом резании, фасонное точение, отрезка токарными резцами; чистовое строгание; черновое фрезерование прерывистых поверхностей и другие виды обработки углеродистых и легированных сталей, преимущественно в виде поковок, штамповок и отливок по корке и окалине. |
| ТТ7К12 | Тяжелое черновое точение стальных поковок, штамповок и отливок по корке с раковинами при наличии песка, шлака и различных неметаллических включений, при неравномерном сечении среза и наличии ударов. Все виды строгания углеродистых и легированных сталей. Сверление отверстий в стали. Тяжелое черновое фрезерование углеродистых и легированных сталей. |

| Марки | Применение |
|-----------------|---|
| ТТ10К8-Б | Черновая и получистовая обработка некоторых марок труднообрабатываемых материалов, нержавеющей стали, маломагнитных сталей и жаропрочных сталей и сплавов, в том числе титановых. |
| ТТ20К9 | Фрезерование стали, особенно фрезерование глубоких пазов и другие виды обработки, предъявляющие повышенные требования к сопротивлению сплава тепловым и механическим циклическим нагрузкам. |
| Т8К7 | Фрезерование труднообрабатываемых чугунов. |

Источник: специальная литература

Титанотанталовольфрамовые сплавы группы ТТК. К сплавам группы ТТК относятся ТТ7К12, ТТ10К8Б. Сплав ТТ7К12 содержит 12% кобальта, 3% карбида тантала, 4% карбида титана и 81% карбида вольфрама. Введение в состав сплава карбидов тантала значительно повышает его прочность, но снижает красностойкость. Сплав ТТ7К12 рекомендуется для тяжелых условий при обточке по корке и работе с ударами, а также для обработки специальных легированных сталей.

Все твердые сплавы обладают высокой теплостойкостью. Вольфрамовые и титановольфрамовые твердые сплавы сохраняют твердость при температуре в зоне обработки 800-950°C, что позволяет работать при высоких скоростях резания (до 500 м/мин при обработке сталей и 2700 м/мин при обработке алюминия).

Для обработки деталей из нержавеющей, жаропрочных и других труднообрабатываемых сталей и сплавов предназначены особо мелкозернистые вольфрамокобальтовые сплавы группы ОМ: ВК6-ОМ - для чистовой обработки, а сплавы ВК10-ОМ и ВК15-ОМ - для получистовой и черновой обработки. Дальнейшее развитие и совершенствование сплавов для обработки труднообрабатываемых материалов вызвало появление сплавов марок ВК10-ХОМ и ВК15-ХОМ, в которых карбид тантала заменен карбидом хрома. Легирование сплавов карбидом хрома увеличивает их твердость и прочность при повышенных температурах.

Для повышения прочности пластинок из твердого сплава применяют плакирование - покрытие их защитными пленками. Широко применяют износостойкие покрытия из карбидов, нитридов и карбонитридов титана, нанесенные на поверхность твердосплавных пластин в виде тонкого слоя толщиной 5-10мкм. При этом на поверхности твердосплавных пластин образуется мелкозернистый слой карбида титана, обладающий высокой твердостью, износостойкостью и химической устойчивостью при высоких температурах. Стойкость твердосплавных пластин с покрытием в среднем в 1,5-3 раза выше стойкости обычных пластин, скорость резания ими может быть увеличена на 25-80%. В тяжелых условиях резания, когда наблюдаются выкрашивание и сколы у обычных пластин, эффективность пластин с покрытием снижается.

Общим недостатком рассмотренных сплавов, помимо высокой хрупкости, является повышенная дефицитность исходного вольфрамового

сырья - основного компонента, определяющего их повышенные физико-механические характеристики.

Одним из направлений решения этой актуальной задачи стала разработка новых *безвольфрамовых марок твердых сплавов* с применением карбидов титана (TiC), гафния (HfC), ниобия (NbC), тантала (TaC). Производство инструмента, оснащенного этими марками твердого сплава, позволяет заменить дефицитный вольфрам более дешевыми металлами, расширить номенклатуру используемых марок твердого сплава, что позволяет создать инструментальные материалы со специфическими свойствами, обладающими более высокими эксплуатационными характеристиками. В США и Италии были предложены сплавы на основе нитридов и боридов (60% TaN и 40% ZrB₂), карбидов и боридов (50% TiC и 50% TiB₂). Эти сплавы отличаются высокой твердостью и износостойкостью.

В СССР были разработаны безвольфрамовые твердые сплавы трех групп: Первая группа в качестве износостойкой составляющей содержит твердый карбид титана и ниобия (TiNb)C; вторая - карбид титана (TiC); третья - карбонитрид титана (TiCN).

В настоящее время для металлообработки создан целый ряд безвольфрамовых твердых сплавов на основе карбида и карбонитрида титана, которые применяются в различных сферах производства. Широко используются твердые безвольфрамовые сплавы марок ТН20, ТН50, КТН16, ЛЦК20, ТВ4.

Безвольфрамовые твердые сплавы применяются для обработки металлов резанием и оснащения быстроизнашивающихся деталей машин и инструмента.

К примеру, из твердого сплава марки ТН20 изготавливается инструмент для чистового и получистового точения при непрерывном резании углеродистых низколегированных конструкционных сталей, цветных металлов, низколегированных сплавов никеля, серых чугунов и полиэтилена; для фрезерования деталей из чугуна.

Сплав марки КНТ16 - для безструшковой обработки металлов, изготовления быстроизнашивающихся деталей машин и механизмов, приборов, торцевых уплотнительных колец химических насосов.

Выпускаемые сплавы характеризуются: высокой твердостью, низкой плотностью, высокой стойкостью к окислению, низким коэффициентом трения с металлами, малым адгезионным взаимодействием с контактируемыми материалами.

Безвольфрамовые твердые сплавы мелкозернисты - основной размер зерна 0,8-1,0 мкм, пористость 0,1-0,2%. В отличие от сплавов WC-Co, WC-TiC-Co они имеют более низкий модуль упругости и более высокий коэффициент термического расширения, что предопределяет их большую чувствительность к ударным и тепловым нагрузкам. В то же время они обладают рядом преимуществ по сравнению со стандартными вольфрамосодержащими сплавами. На порядок выше окалиностойкость, на 200°С больше температура начала схватывания со сталью в вакууме. Усадка

стружки, силы резания и температура в зоне обработки при применении безвольфрамовых твердых сплавов ниже, чем для обычных стандартных сплавов. Сопротивление окислению титановых сплавов в 1,2-2 раза выше, чем вольфрамовых. Инструменты из этих сплавов работают по сталям практически без наростообразования, что определяет область их применения - чистовое и получистовое точение и фрезерование малолегированных, углеродистых сталей, чугуна и цветных сплавов с HRC 30-42, хромистых и коррозионно-стойких и жаропрочных сталей с пределом прочности 600-800 МПа. Недостаток - плохо поддаются пайке и заточке вследствие неудовлетворительных термических свойств и поэтому применяются в основном в виде неперетачиваемых пластин.

Из *минералокерамических материалов*, основной частью которых является оксид алюминия с добавкой относительно редких элементов: вольфрама, титана, тантала и кобальта, распространена оксидная (белая) керамика марок ЦМ-332, ВО13 и ВШ-75. Она отличается высокой теплостойкостью (до 1200°C) и износостойкостью, что позволяет обрабатывать металл на высоких скоростях резания (при чистовом обтачивании чугуна - до 3700 м/мин), которые в 2 раза выше, чем для твердых сплавов.

В настоящее время для изготовления режущих инструментов в большей степени применяют режущую (черную) керамику марок ВЗ, ВОК-60, ВОК-63, ВОК-71. Режущая керамика (кермет) представляет собой оксидно-карбидное соединение из оксида алюминия и 30-40% карбидов вольфрама и молибдена или молибдена и хрома и тугоплавких связей. Введение в состав минералокерамики металлов или карбидов металлов улучшает ее физико-механические свойства, а также снижает хрупкость. Это позволяет увеличить производительность обработки за счет повышения скорости резания. Получистовая и чистовая обработка деталей из серых, ковких чугунов, труднообрабатываемых сталей, некоторых цветных металлов и сплавов производится со скоростью резания 435-1000 м/мин без смазочно-охлаждающей жидкости. Режущая керамика отличается высокой теплостойкостью.

Оксидно-нитридная керамика состоит из нитридов кремния и тугоплавких материалов с включением оксида алюминия и других компонентов (силинит-Р и кортинит ОНТ-20). Силинит-Р по прочности не уступает оксидно-карбидной минералокерамике, но обладает большей твердостью (HRA 94-96) и стабильностью свойств при высокой температуре. Он не взаимодействует в процессе резания с большинством сталей и сплавов на основе алюминия и меди; применяют на операциях получистового и чистового точения различных материалов, а также при обработке закаленных сталей.

Закаленные и цементированные стали (HRC 40-67), высокопрочные чугуны, твердые сплавы типа ВК25 и ВК15, стеклопластики и другие материалы обрабатывают инструментом, режущая часть которого изготовлена из крупных поликристаллов диаметром 3-6 мм и длиной 4-5 мм

на основе кубического нитрида бора (эльбор-Р, кубонит-Р, гексанит-Р). По твердости эльбор-Р приближается к алмазу (86 000 МПа), а его теплостойкость в 2 раза выше теплостойкости алмаза (~1600°C). Эльбор-Р химически инертен к материалам на основе железа. Прочность поликристаллов на сжатие достигает 4000-5000 МПа, на изгиб - 700 МПа, теплостойкость – 1350-1450°C.

Из других сверхтвердых материалов распространены синтетические алмазы типа баланс (марка АСБ), карбонадо (марка АСПК). Карбонадо химически более активен к углеродсодержащим материалам, поэтому применяется для точения цветных металлов, высококремнистых сплавов, твердых сплавов типа ВК10, ВК30, неметаллических материалов. Стойкость резцов из карбонадо в 20-50 раз выше стойкости резцов из твердых сплавов.

1.4. Твердосплавный инструмент и режимы резания

В условиях конкуренции предприятия вынуждены постоянно совершенствовать свои технологические процессы в области снижения трудоемкости, улучшения качества и повышения эффективности использования оборудования. При обработке резанием максимальная эффективность достигается при интегрированном использовании высокотехнологичного оборудования, оснащенного ЧПУ, и современного металлорежущего инструмента, обеспечивающего более высокие скорости резания и производительность. Для решения этой задачи в российской индустрии режущего инструмента сформировались следующие направления.

1. Инструмент для высокоскоростной обработки резанием.

Скорость резания достигает 1000 – 1500 м/мин для обработки сталей (в т.ч. термически обработанных), чугунов, цветных металлов. В качестве инструментальных материалов используются: твердые сплавы, керамика, нитрид бора, поликристаллические алмазы и др. Такой инструмент применяется на современных станках типа «обрабатывающий центр», на скоростных шпинделях с частотой вращения до 50 000 об/мин. При высокоскоростной обработке назначаются небольшие величины подач на зуб. Однако за счет высокой частоты вращения значения минутных подач могут находиться в диапазоне 2-20 м/мин. Преимуществами высокоскоростного резания является обработка в диапазоне колебаний, которые превышают частоты резонанса детали, инструмента и технологической системы. Во-вторых, из-за небольших подач на зуб и острой режущей кромки поперечные сечения срезов невелики, что обеспечивает небольшие силы резания. В-третьих, тепло, образующееся во время обработки, выделяется менее интенсивно из-за меньших сил резания, отводится со стружкой и возникающим из-за высокой скорости вращения инструмента постоянным движением воздуха.

К недостаткам высокоскоростного резания относятся высокие требования к балансировке инструмента, дорогостоящая станочная оснастка, ограничения по диаметру инструмента до 20 мм для обеспечения нормальной работы шпинделей, небольшой вылет фрезы. В России в направлении производства такого инструмента делаются первые шаги (ООО «Винт» (Ярославль), Ивановский завод тяжелого станкостроения и др.). Незначительный спрос, высокие цены инструмента, дефицит персонала для работы на высокоскоростных станках и высокая стоимость оборудования пока не могут серьезно потеснить обычную обработку резанием, базирующуюся в основном на твердосплавном инструменте.

2. Твердосплавный инструмент.

Наиболее универсальная группа режущих материалов, позволяющих производить обработку подавляющего большинства металлических и неметаллических материалов. Твердосплавный инструмент предназначен для работы со скоростями резания до 300 м/мин (сверла 50–70 м/мин, новейшие разработки до 90-180 м/мин); используется, в основной массе, на станках зарубежных производителей с частотой вращения шпинделя в среднем до 10000 об/мин. Для улучшения свойств (увеличения твердости, уменьшения радиуса скругления режущей кромки и, как следствие, увеличения стойкости работы инструмента) производители стремятся к уменьшению зерна сплавов. Так для особо мелкозернистых твердых сплавов размер зерен составляет 0,5-0,8 мкм, минимум 0,2 мкм. Другое направление совершенствования связано с получением градиентных твердых сплавов (материалов с функционально переменной микроструктурой). Микроструктура этих материалов локально различается или изменяется таким образом, что появляется возможность управлять термическими и функциональными свойствами. Т.е. возникающие напряжения могут затухать из-за разности коэффициентов расширения у разных материалов и последовательных переходов в микроструктуре.

Твердый сплав не любит обработки с ударом (из-за низкой прочности на изгиб), в этом случае происходит выкрашивание кромки или поломка пластины. По конструкции твердосплавный инструмент бывает со сменными многогранными пластинами (СМП), цельнотвердосплавный, с напайными пластинами (скорость резания около 100 м/мин и ниже).

К преимуществам инструмента, оснащенного СМП, относятся:

- не требует заточки, геометрия режущей кромки сложная, что позволяет оптимизировать процесс обработки (стружкодробление, высокое качество получаемой поверхности, увеличение подачи и глубины резания и т.д.), целесообразность применения покрытий;
- быстрая замена затупившейся режущей кромки.

Недостатки:

- неэффективность применения инструмента с СМП на отечественных станках из-за низких скоростей резания - по причине конструктивных особенностей оборудования (расчетные частоты вращения шпинделей до 2000 об/мин, низкий класс балансировки шпинделей, что увеличивает

вероятность выхода оборудования из строя при работе на больших скоростях). Исключение составляют карусельные станки, фрезерование торцовыми фрезами большого диаметра, точение валов большого диаметра, т.е. виды обработки, где можно развить большую скорость резания;

- высокая стоимость по сравнению с применяемым напайным инструментом;
- невозможность повторного использования пластин;
- высокая стоимость державок и корпусов фрез (торцевой фрезы до 15000 руб.).

Производители предлагают широкую гамму исполнений геометрий для обработки любых металлических материалов. Из зарубежных поставщиков в России работают: *Sandvik Coromant, Iskar, Wolf, Seco, Mitsubishi, Walter, Korloy, Kennametal, Dormer* и др. Среди российских производителей следует отметить ООО «СКИФ – М» (Белгород) - разработчик и изготовитель фрез со сменными режущими пластинами из твердого сплава и ОАО «Серпуховской инструментальный завод «Твинтос». Завод «Твинтос» также осуществил оригинальные разработки конструкций фрез, программного обеспечения и изготавливает фрезы методом вышлифовывания из твердосплавных заготовок зарубежных производителей.

Одним из недостатков практически всех перечисленных поставщиков является отсутствие услуг по переточке цельных твердосплавных фрез и утилизации твердосплавных пластин и рабочих частей фрез. Следует также заметить, что все эти поставщики ориентированы, прежде всего, на продажи инструмента для нового, современного оборудования, а работы по подбору твердосплавного инструмента с СМП для оборудования отечественного производства ведутся крайне неохотно.

Для отвода тепла и частично стружки для всех видов инструментальных материалов рекомендуется использовать смазочно-охлаждающие жидкости (СОЖ). Применение СОЖ требует затрат на приобретение и приготовление, на подачу в зону резания, сбор, утилизацию, санитарно-гигиеническую безопасность персонала, экологическую безопасность. Во время обработки поток СОЖ затрудняет наблюдение за процессом резания. По оценкам специалистов фирмы *Iscar* эти затраты составляют до 16% от средней стоимости работ. При некоторых видах обработки (высокоскоростное резание, работа в условиях ограниченного объема) СОЖ может попадать в зону резания в недостаточном объеме, что влечет за собой не только частичное выполнение функций охлаждения, транспортировки стружки и смазывания, а также наростообразование.

Этот комплекс причин заставил производителей инструмента искать способы обработки металлов резанием без применения СОЖ и удешевления СОЖ.

Инструмент для обработки без СОЖ.

Различают сухую обработку без применения какой-либо жидкости или смазки и псевдосухую обработку, когда через инструмент или снаружи

подводится минимальное количество жидкости, которое испаряется в процессе обработки так, что стружка становится сухой.

Существуют два подхода к организации сухой обработки:

- применение новых жаропрочных керамических материалов (на основе кубического нитрида бора), использование поликристаллических алмазов, нитрида бора;
- использование высокопрочных твердых покрытий, обеспечивающих снижение температуры в зоне резания за счет уменьшения трения и хорошего теплоотвода (TiAlN).

Инструмент с покрытиями.

Применение покрытий в разных условиях, в том числе и при обработке с СОЖ, позволяет получить повышение производительности на 20% и более, увеличения стойкости инструмента на 30%. Достигается снижение расхода из-за уменьшения количества переточек, сложного и комбинированного инструмента. Покрытия позволяют улучшить адгезию, повысить ударную прочность, снизить коэффициент трения, обладают повышенной трещиностойкостью.

В то же время, покрытия увеличивают радиус скругления режущей кромки, что неблагоприятно сказывается, например, при снятии небольшого припуска. Некоторые покрытия характеризуются высокими внутренними напряжениями, приводящими к отслаиванию покрытий. Наиболее применимы покрытия на неперетачиваемых инструментах и пластинах, т.к. при переточке покрытия на участках, подвергаемых заточке, полностью разрушаются. В России нанесением покрытий занимается ООО «Технологические покрытия» (Москва), ООО НПФ «Элан Практик» (Нижний Новгород).

Основные виды покрытий PVD (характеризуются толщиной 1-3,5 мкм, поэтому применяются для режущих кромок с маленьким радиусом скругления, позволяющих снизить силы резания, улучшить стружкодробление, предотвратить вибрации) и CVD-покрытия с толщиной до 20 мкм (Al_2O_3). Основная разница между этими покрытиями состоит в способе нанесения: для PVD покрытия (400–500°C) применяется физическое осаждение, для CVD (1000–1100°C) – химическое. Каждый из методов имеет свои преимущества и недостатки, поэтому в последнее время получили распространение гибридные методы нанесения покрытий.

Малоэффективно нанесение покрытий на низкоуглеродистые нелегированные инструментальные стали (типа У8). Для инструмента из инструментальных легированных сталей покрытия наносят на осевой, фасонный, комбинированный, зубообрабатывающий инструмент. Ударное механическое разрушение инструмента также неблагоприятно сказывается на работе покрытий, поэтому их эффективность может снижаться при использовании несовершенного оборудования.

Кроме износостойких покрытий (наиболее распространенные нитридные TiAlN, TiAlCrN, TiN) используются твердосмазочные покрытия,

обладающие очень низким коэффициентом трением и обеспечивающие снижение сил резания и удаление стружки (TiO_2 , $WO_3V_2O_5$).

Инструмент с напайными твердосплавными пластинами, либо со сменными твердосплавными ножами для торцевых фрез, наиболее распространен в России. Его достоинства: простота, низкая стоимость. Основной недостаток - низкая производительность, необходимость качественной заточки. Скорость резания редко превышает 100 м/мин.