

Министерство сельского хозяйства РФ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Брянский государственный аграрный университет»

Коршунов В.Я.

## **ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИНСТРУМЕНТЫ**

Практикум по выполнению самостоятельных и практических работ  
для студентов очной и заочной формы обучения  
по направлению подготовки 25.03.06 Агроинженерия  
профиль Технический сервис в АПК

Брянская область

2019

УДК 621.01 (076.5)  
ББК 34.41  
К 70

Коршунов, В. Я. Инструментальные материалы и инструменты: практикум по выполнению самостоятельных и практических работ для студентов, обучающихся по направлению подготовки 35.03.96 Агроинженерия профиль Технический сервис в АПК / В. Я. Коршунов. – Брянск: Изд-во Брянский ГАУ, 2019. – 36 с.

В практикуме изложен материал по выполнению самостоятельных и практических работ по курсу Технология сельскохозяйственного машиностроения. Практикум может быть полезен при выполнении выпускной квалификационной работы.

Разработан для студентов очной и заочной формы обучения высших учебных заведений, обучающихся по направлению 35.03.06 Агроинженерия профиль Технический сервис в АПК.

Рецензент:

д.т.н., профессор, директор инженерно-технологического института Купреенко А.И.

Рекомендован к изданию методической комиссией инженерно-технологического института Брянского ГАУ, протокол №7 от 20 мая 2019 года

© Брянский ГАУ, 2019  
© Коршунов В.Я., 2019

## Содержание

1 Инструментальные материалы.....	4
1.1 Основные свойства инструментальных материалов.....	4
1.2 Углеродистые и легированные инструментальные стали.....	6
1.3 Быстрорежущие стали .....	7
1.4 Твердые сплавы.....	9
1.5 Безвольфрамовые твердые сплавы (БВТС).....	10
1.6 Твердые сплавы с износостойкими покрытиями.....	10
1.7 Минералокерамика.....	11
1.8 Сверхтвердые материалы (СМ).....	13
2 Химический состав, физико-механические свойства и области применения различных инструментальных материалов.....	14
3 Форма, размеры механически закрепляемых пластин из твердого сплава, СТМ и минералокерамики.....	15
4 Конструкции узлов механического крепления многогранных неперетачиваемых пластин (МНП).....	28
5 Выбор режимов резания при точении и фрезеровании.....	30
5.1 Выбор режимов резания резцами из различных инструментальных материалов.....	30
5.2 Выбор режимов резания при фрезеровании.....	32
6 Расчет силы резания и мощности при точении и фрезеровании.....	33

# 1 Инструментальные материалы

## 1.1 Основные свойства инструментальных материалов

Для изготовления рабочей части режущих инструментов применяют пять групп инструментальных материалов; инструментальные углеродистые и легированные стали, быстрорежущие стали, твёрдые сплавы, минералокерамику и сверхтвёрдые материалы.

В процессе резания инструменты испытывают большие удельные усилия, подвергаются нагреву и износу, поэтому инструментальные материалы должны обладать определенными физико-механическими и технологическими свойствами, из которых основными являются твердость, прочность и пластичность, теплостойкость и теплопроводность, сопротивляемость схватыванию с обрабатываемым материалом, износостойкость, а также закаливаемость и прокаливаемость (для инструментальных сталей), устойчивость против перегрева и окисления, свариваемость или способность к соединению пайкой, склонность к образованию трещин при пайке и шлифуемость.

От указанных свойств этих материалов зависят такие важные технологические показатели, как производительность обработки резанием, стойкость, надежность инструмента и др.

Практически не существует таких материалов, которые бы обладали прочностью, тепловыми характеристиками и т.д..

Чтобы правильно выбрать инструментальный материал для конкретных условий обработки или правильно использовать имеющийся, необходимо знать влияние его свойств на прогресс резания.

Твердость. Осуществление процесса резания возможно в том случае, если твердость режущего инструмента значительно выше твердости обрабатываемого материала. Чем выше твердость инструмента, тем выше его стойкость и скорость резания. С увеличением твердости повышается сопротивляемость инструмента механическому износу и более длительное время сохраняется острота режущей кромки.

Однако не для всех инструментов и условий обработки целесообразно выбирать инструментальный материал с наивысшей твердостью, так как с ее увеличением повышаются хрупкость и склонность к образованию трещин при пайке и заточке, ухудшается шлифуемость. Поэтому при выборе инструментального материала необходимо учитывать не только твердость, но и другие его свойства.

Твердость инструментальных материалов определяете с помощью прибора Роквелла или прибора ПМТ-3. Оценку твердости на первом приборе производят по шкале С (нагрузка на алмазный конус - 150 кг с) или по шкале А (нагрузка - 60 кг с) и обозначают соответственно HRC или HRA. На приборе АТП-3 твердость оценивается по методу Виккерса как частное от деления нагрузки на боковую площадь отпечатка, измеряется в кг с/мм<sup>2</sup> и обозначается Н.

Прочность. В процессе резания на инструмент действуют силы, которые подвергают его сжатию, изгибу, скручиванию и другим видам деформации. Способность инструмента сопротивляться деформации является очень важным свойством и характеризуется пределом прочности. Понятие - прочность инструмента - имеет двойное значение: прочность режущих элементов, находящихся в зоне резания и подвергающихся воздействию тепла, и прочность не режущих элементов инструментов. В первом случае прочность характеризует такие режущие свойства инструмента, как сопротивление хрупкому и пластическому разрушению режущей части; во втором - жесткость, виброустойчивость и надежность инструмента в целом.

Теплостойкость. Механические свойства инструментального материала изменяется под воздействием температуры резания. С увеличением температуры выше определенного значения твердость и прочность материала уменьшаются и достигают таких значений, когда инструмент начинает быстро размягчаться, изнашиваться и теряет свою режущую способность.

Температура, до которой инструментальный материал сохраняет свою режущую способность, называется теплостойкостью.

Для быстрорежущих сталей и твердого сплава - это температура, при которой твердость снижается до HRA 58-60.

Теплопроводность - это свойство, влияющее на температуру режущего лезвия в процессе обработки. Чем выше, теплопроводность, тем лучше отводится тепло из зоны контакта инструмента с обрабатываемым материалом и тем меньше температура резания. Кроме того, материалы с большей теплопроводностью меньше склонны к образованию трещин при заточке и пайке.

Адгезионная стойкость - это устойчивость против схватывания. Низкая адгезионная стойкость инструментального материала приводит к увеличению интенсивности износа инструмента, особенно при высоких температурах и давлениях в зоне резания.

Износостойкость - это свойство инструментального материала сопротивляться механическому, тепловодному и химическому воздействию обрабатываемого материала в процессе резания. Важнейшими факторами, влияющими на износостойкость, являются твердость, теплостойкость, теплопроводность, адгезионная стойкость.

При выборе инструментального материала необходимо стремиться к оптимальному значению его износостойкости с учетом химического состава и прочности обрабатываемого материала, характера операции к конструкции инструмента, жесткости оборудования, возможности применения смазочно-охлаждающих жидкостей (СОЖ) и др.

Физико-механические свойства основных групп инструментальных материалов приведены в табл. 1.

## **1.2 Углеродистые и легированные инструментальные стали**

Наибольшее применение для изготовления режущего инструмента находят стали марок У10А, У11А, У12А, 9ХС, ХВ5, ХВГ, ХВСГ и др.

Из этих сталей изготавливают инструменты, работающие при невысоких скоростях резания (до 15 м/мин): метчики, плашки, малоразмерные сверла, развертки.

Таблица 1 - Физико-механические свойства основных групп инструментальных материалов

Инструментальный материал	Предел прочности на изгиб, кг с/мм <sup>2</sup>	Твердость		Теплостойкость, °С	Теплопроводность, Вт/м·°С
		HRA (HRC)	HV, кг с/мм <sup>2</sup>		
Углеродистые стали	200-220	79-80 (62-74)	650-780	200-250	32-39
Быстрорежущие стали	205-350	79-88 (63-68)	750-1400	620-640	20-25
Твердые сплавы	95-160	88-92	1400-1900	800-1000	12-86
Минералокерамика	40-75	93-94	2000-2400	1000-1200	4,0
Сверхтвердые материалы	40-100	-	4000-7500	1000-1300	30-60
Алмаз	30	-	10000	750	142,5

Углеродистые стали содержат в среднем от 0,3 до 1,2% углерода; 0,15-0,35% марганца и столько же кремния; 0,02% серы и 0,03% фосфора. Твердость инструмента после закалки - HRC 62-64; прочность на изгиб - 200-220 кг с/мм<sup>2</sup>; теплостойкость - 200-250 °С.

Введение в состав инструментальной стали хрома, вольфрама, молибдена, ванадия повышает режущую способность. Так, например, стали марок ХВГ и ХВСГ после термической обработки имеют твердость HRC 63-64. Прочность на изгиб 250-270 кг с/мм<sup>2</sup> и теплостойкость 250-260°С. Они более износоустойчивы и лучше прокаливаемы, поэтому их применяют для инструментов диаметром (стороной) от 20 до 90 мм. Легированные инструментальные стали допускают примерно в 1,2-1,4 раза большую скорость резания, чем углеродистые.

### 1.3 Быстрорежущие стали

Быстрорежущие стали обладают более высокими, чем углеродистые инструментальные стали, физико-механическими и эксплуатационными свойствами: твердостью до HRC 70, теплостойкостью в пределах 500-650 °С, сохранением высокой износостойкости при нагреве и повышенным сопротивлением пластической деформации. С появлением этих сталей стало возможным увели-

чить скорость резания в 2-4 раза и повысить стойкость инструментов в 10-40 раз по сравнению с инструментами из углеродистых инструментальных сталей.

Основными легирующими элементами быстрорежущих сталей являются вольфрам или вольфрам вместе с молибденом, а основным карбидом –  $M_6C$  содержащий кроме вольфрама и молибдена также хром и ванадий.

В зависимости от химического состава быстрорежущие стали разделены на вольфрамовые, вольфрамомолибденовые, молибденовые стали с высоким содержанием ванадия (вольфрамованадиевые), кобальтовые, а также безвольфрамовые стали.

По эксплуатационным свойствам современные быстрорежущие, стали можно выделить в три группы: обычной (теплостойкость  $620^{\circ}C$ ), повышенной ( $630-640^{\circ}C$ ) и высокой ( $700-725^{\circ}C$ ) производительности.

В первую группу входят вольфрамовые, вольфрамомолибденовые и безвольфрамовые стали; во вторую - вольфрамованадиевые, вольфрамомолибденовые с повышенным содержанием углерода и кобальтовые; в третью - стали с интерметаллидным упрочнением.

Вольфрамовые быстрорежущие стали: P18, P12, P9 - цифра после буквы P показывает процентное содержание вольфрама. Высокое содержание дефицитного вольфрама явилось причиной сокращения выпуска и применения стали P18 для изготовления режущего инструмента. Сталь P12 на 30% дешевле, чем сталь P18, и применяется для изготовления всех видов инструмента.

Сталь P9 содержит вдвое меньше вольфрама, чем сталь P18, однако ее эксплуатационные качества хуже – выше карбидная неоднородность и склонность к появлению прожогов при заточке.

Вольфрамомолибденовые и молибденовые стали. Наибольшее распространение из этой группы получили стали P6M5, P8M3, которые в настоящее время практически заменили сталь P18 для изготовления режущего инструмента.

Вольфрамованадиевые стали P12Ф3 и P6M5Ф3. Повышение содержания ванадия в этих сталях до 2,7% улучшило такие их качества, как износостойкость, прочность, теплостойкость и твердость, но ухудшило шлифуемость.

Кобальтовые стали. Кобальт – это легирующий элемент, который значительно повышает теплостойкость и вторичную твердость и кроме того, улучшает теплопроводность. Поэтому теплостойкость кобальтовых сталей достигает 645-650 °С, а твердость 67-70 HRC. Государственным стандартом (ГОСТ 19265-73) предусмотрены семь марок кобальтовых сталей: P6M5Ф3, P18K5Ф2, P9M4K8, P6M5K5, P10K5Ф5, P9K5, P9K10.

Цифры после букв P, K, Ф, M – процентное содержание вольфрама, кобальта, ванадия и молибдена.

В последние годы разработаны и нашли практическое применение быстрорежущие стали высокой теплостойкости – стали с интерметаллидным упрочнением марок B11M7K23, B4M12K23 и др. Их теплостойкость достигает 700-725 °С. Данные стали используются при точении, строгании и фрезеровании труднообрабатываемых материалов.

#### **1.4 Твердые сплавы**

Металлокерамические твердые сплавы состоят из тончайших зерен карбидов тугоплавких металлов – вольфрама, титана и тантала, соединенных цементирующим металлом (связкой) – кобальтом. Карбиды являются основной составной частью твердых сплавов, их содержание равно 66-97%. Благодаря наличию карбидов сплавы обретают высокую твердость и износостойкость. Связующий материал придает сплаву определенную прочность и вязкость.

Существуют три основные группы твердых сплавов, отличающихся составом их карбидной основы: вольфрамовая, титано-вольфрамовая и титано-тантало-вольфрамовая. В последние годы в связи с возрастанием дефицитности вольфрама и кобальта появилась четвертая группа - безвольфрамовые твердые сплавы (БВТС). Основу сплавов этой группы составляет карбид титана (50-70%), а остальное – никель (15-33%) и молибден (5-13%). Пример расшифровки трёхкарбидного твёрдого сплава: ТТ7К12 – примерно 1-1,5% карбида тантала, 6-5,5% карбида титана, 12% кобальта (связки), остальное - карбид вольфрама.

## **1.5 Безвольфрамовые твердые сплавы (БВТС)**

Созданные для замены вольфрамосодержащих твердых сплавов безвольфрамовые сплавы выделились в самостоятельную группу инструментальных материалов, имеющих свои области применения, обусловленные их физико-механическими и режущими свойствами.

БВТС по сравнению с вольфрамовыми сплавами имеют меньшую прочность на изгиб, но твердость их выше. Из других свойств необходимо отметить более низкую теплопроводность, более высокий коэффициент линейного расширения и на 20-25% меньший коэффициент трения со сталью, следовательно, безвольфрамовые сплавы обладают высокой износостойкостью, но чувствительны к ударным нагрузкам. Они плохо поддаются пайке и заточке вследствие неудовлетворительных термических свойств, поэтому принимаются в основном в виде неперетачиваемых пластин.

В СССР разработано несколько марок безвольфрамовых твердых сплавов: КНТ-16, ТМЗ и ТН20. В этих сплавах: КН - карбонитрид титана, Т - карбид титана, Н - никель, М - молибден.

## **1.6 Твердые сплавы с износостойкими покрытиями**

В последние годы в мировой практике нашли широкое применение двух- и трехслойные инструментальные материалы, получаемые путем нанесения на основной материал износостойких покрытий из карбида ( $T_iC$ ), нитрида ( $T_iN$ ) или карбидонитрида ( $T_iCN$ ) титана в виде тонкого слоя толщиной 5-10 мкм. Применяют также комбинированные покрытия, когда на твердосплавную пластину вначале наносится слой карбида титана (0,005 мм), а на него - слой окиси алюминия (0,001 мм).

Так как при переточке инструмента износостойкий слой снимается, поэтому покрытия наносят на многогранные неперетачиваемые пластины.

Каковы преимущества пластин с износостойким покрытием? Как уже го-

ворилось, с увеличением твердости инструментального материала падает его прочность. Это противоречие практически не разрешимо для основных марок твердых сплавов. Пластины же с износостойким покрытием сочетают в себе высокую прочность базового материала и высокую твердость поверхностного слоя. Более того, износостойкое покрытие обладает меньшим коэффициентом трения и лучшей устойчивостью против схватывания с обрабатываемым материалом.

Промышленные испытания инструментов, оснащенных многогранными твердосплавными пластинами с износостойкими покрытиями, показали, что при точении и фрезеровании деталей из стали и чугуна стойкость их в 1,5-2,5 раза выше, чем инструментов с пластинами без покрытия. Более эффективно применение инструментов с износостойким покрытием для обработки труднообрабатываемых материалов. Здесь стойкость повышается в 3 раза и более.

Износостойкие покрытия повышают также стойкость инструмента из быстрорежущей стали (фрез, сверл, метчиков) примерно в 1,5 раза.

В настоящее время освоен серийный выпуск твердосплавных непоретачиваемых пластин с износостойкими покрытиями, а также производство многолезвийных быстрорежущих инструментов.

## **1.7 Минералокерамика**

Минералокерамика - инструментальный материал, обладающий высокой твердостью (HRA 93-94), теплостойкостью (до 1200°G), температурой схватывания с металлом и износостойкостью, но также с высокой хрупкостью, низкой вязкостью и плохой сопротивляемостью циклическим изменениям тепловой нагрузки.

В связи с таким сочетанием положительных и отрицательных эксплуатационных качеств минералокерамика в основном используется для получистовой и чистовой обточки и расточки деталей из высокопрочных и отбеленных чугунов, закаленных сталей, а также из неметаллических материалов. При определенных условиях (в первую очередь при высокой жесткости системы

(СПИД) станок – приспособление – инструмент - деталь) минералокерамику можно применять для чистового фрезерования.

Выпускают оксидную (белую), оксидно-карбидную (черную) и оксидно-нитридную керамику.

Оксидная керамика почти полностью состоит из окиси алюминия ( $Al_2 O_3$ ) ее получают путем прессования тонкоизмельченных частиц  $Al_2 O_3$  с последующим горячим спеканием. Сейчас освоены новые марки оксидной керамики с улучшенными физико-механическими свойствами, такие как ВОІЗ ( $\sigma_{и} = 40-50$  кг с/мм<sup>2</sup>), ВШ-75 ( $\sigma_{и} = 55-60$  кг с/ мм<sup>2</sup>) и др.

Оксидную керамику рекомендуется использовать для чистового и получистового точения нетермообработанных сталей, а также серых и ковких чугунов с твердостью НВ 200 и менее.

Оксидно-карбидная керамика имеет в своем составе кроме  $Al_2 O_3$  легирующие добавки карбидов хрома, титана, вольфрама и молибдена. Благодаря этому ее прочность на изгиб значительно выше, чем у оксидной керамики, и достигает 55-70 кг с/мм<sup>2</sup>, при некотором снижении теплостойкости и износостойкости. Выпускаются следующие марки оксидно-карбидной керамики: ВЗ, ВОК60 и ВОК63; эти вида керамики рекомендуется применять для чистового и получистового точения и фрезерования закаленных сталей (HRC 45 и более), серых чугунов (НВ 240), отбеленных чугунов (НВ 400-700), а также нержавеющей сталей.

Оксидно-нитридная керамика состоит из нитридов кремния и тугоплавких материалов с включением окиси алюминия и других компонентов. К этой группе относится силинит - Р ТУ06-339-78 и кортинит ОНТ-20 ТУ 2-036-087-82.

Силинит - Р обладает такой же прочностью на изгиб, как и оксидно-карбидная минералокерамика ( $\sigma_{и} = 49-68$  кг с/мм<sup>2</sup>), но большей твердостью (HRC 94-96) и стабильностью свойств, при высокой температуре. Из этого материала изготавливают как напайные, так и не перетачиваемые механически закрепляемые пластины.

Благодаря высокой твердости селенит - Р превосходит по стойкости твердые сплавы при обработке закаленных сталей.

Инструментом, оснащенным пластинами из кортинита, рекомендуется обрабатывать закаленные стали HRC 30-55, ковкие чугуны, модифицированные и отбеленные чугуны, а также термоулучшенные стали.

Режущая керамика выпускается в основном в виде многогранных непере-тачиваемых пластин - трехгранных, квадратных, ромбических и круглых.

## **1.8 Сверхтвердые материалы (СТМ)**

Для изготовления лезвийного инструмента в настоящее время применяются три вида сверхтвердых материалов (СТМ): природные алмазы, поликристаллические синтетические алмазы и композиты на основе нитрида бора.

Природные и синтетические алмазы обладают такими уникальными свойствами, как самая высокая твердость ( $HV 10000 \text{ кг с/мм}^2$ ) весьма малые коэффициенты линейного расширения и коэффициент трения и высокая теплопроводность, адгезионная стойкость и износостойкость.

Недостатками алмазов являются невысокая прочность на изгиб, хрупкость и растворимость в железе при относительно низких температурах ( $750^\circ\text{C}$ ), что препятствует использованию их для обработки железоуглеродистых сталей и сплавов на высоких скоростях резания, а также при прерывистом резании и вибрациях.

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

Синтетические алмазы марок АСБ (балас) и АСПК (карбонадо) сходны, по своей структуре с природными алмазами. Они имеют поликристаллическое строение и обладают более высокими прочностными характеристиками.

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 нести обработку с большим сечением среза (глубиной и подачей).

Отечественной промышленностью поликристаллические алмазы выпускаются в виде пластин цилиндрической и сегментной форм диаметром до 6 мм.

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

Композит - новый сверхтвердый материал (СТМ) на основе кубического нитрида бора, применяемый для изготовления лезвийного режущего инструмента.

По твердости композит приближается к алмазу, значительно превосходит его по теплостойкости, более инертен к черным металлам. Это определяет главную область его применения - обработка закаленных сталей (HRC 35-65) и чугунов. Однако композит может быть эффективно использован также при обработке легких и цветных сплавов и некоторых труднообрабатываемых материалов.

Промышленность освоила выпуск следующих основных, марок СТМ: композит 01 (эльбор - Р), композит 02 (белбор); композит 05 и 05И, композит 10 (гексанит - Р) и композит 09 (ПТНБ - ИК).

Режущие элементы из композитов выпускаются в виде пластин для неразъемного соединения со стальным корпусом, а также в виде круглых, трехгранных, квадратных, ромбических и шестигранных неперетачиваемых пластик для механического соединения.

## **2 Химический состав, физико-механические свойства и области применения различных инструментальных материалов**

Химический состав, физико-механические свойства и области применения различных инструментальных материалов приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Основные характеристики некоторых безвольфрамовых твердых сплавов группы ТН и КНТ

Марка сплава	Массовая доля компонентов, %			Физико-механические свойства			Область применения
	TiC	Ni	Mo	$\sigma_{и}$ , МПа, не менее	плотность, г/см <sup>3</sup>	твердость, HRC	
ТН-20	79	15	6	900	5,6	90,5	Получистое и чистое точение и растачивание углеродистых и легированных сталей
ТН-25	74	20	6	1000	5,7	89,0	
ТН-30	69	24	7	1100	5,8	88,5	
КТН-16	74	19,5	6,5	1100	5,8	89,0	Получистое и чистое точение и фрезерование углеродистых и легированных сталей

### 3 Форма, размеры механически закрепляемых пластин из твердого сплава, СТМ и минералокерамики

Твердые сплавы и минералокерамика используются для инструмента в виде напайных или механически закрепленных пластин.

Создание механически закрепленных многогранных неперетачиваемых пластин позволило сделать качественный скачок в развитии инструмента, состоящий в следующем.

Во-первых, инструменты с механическим креплением многогранных пластин не требуют заточки, так как геометрия инструмента обеспечивается формой пластины и ее соответствующей установкой в корпусе, а после затупления пластина поворачивается новой режущей кромкой.

Таблица 3 - Химический состав, физико-механические свойства и назначение различных марок быстрорежущих сталей

Марка стали	Массовая доля компонента, %						Физико-механические свойства			Назначение
	C	Cr	W	Mo	V	Co	прочность на изгиб, $\sigma_{\text{и}}$ кг с/мм <sup>2</sup>	твердость, HRC	теплостойкость, °C	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
P18	0,8	4,4	18,5	1,0	1,4	-	300	62	625	Все виды режущего инструмента для обработки обычных конструкционных материалов.
P12	0,9	3,6	12,0	1,0	1,9	-	310	62	625	То же, что и стали P18, а также для обработки некоторых марок нержавеющей стали.
P9	0,95	4,4	9,0	1,0	2,5	-		62		Инструменты простой формы для обработки конструкционных материалов.
P6M5	0,88	4,4	6,0	5,0	2,0	-	330	63	620	Все виды режущего инструмента, в том числе работающего в условиях ударных нагрузок, для обработки углеродистых конструкционных и нержавеющей сталей.
P8M3	1,1	3,6	8,0	3,2	2,0	0,6	340	63	620	То же, что и стали P6M5.
P6M5K5	0,84	4,0	6,0	5,0	2,0	5,1	330	64	625	Сверла, зенкера, фрезы для обработки углеродистых и легированных сталей при повышенных режимах резания, а также нержавеющей и жаропрочных сталей.

Продолжение таблицы 3

P9M4K80	1,0	3,4	9,0	4,1	2,2	8,0		68	640	Автоматные резцы, фрезы, метчики, сверла, зенкеры, развертки для обработки конструкционных улучшенных сталей (HRC 35-45), аустенитных, жаропрочных и нержавеющей сталей и сплавов.
H9K5 P9K10	0,9 0,9	4,2 4,2	9,0 9,0	1,0 1,0	2,2 2,2	5,5 10,0	250 210	63 63	630 630	Фрезы для черновой и получистовой обработки, долбяки, метчики для обработки на повышенных режимах резания, а так же для обработки труднообрабатываемых сталей.
P12Ф3	1,0	3,8	12, 0	0,8	2,8	0,6	300	63	630	Чистовые и получистовые инструменты, фасонные резцы, развертки, фрезы и т.д. для обработки углеродистых и легированных сталей, вязких аустенитных и жаропрочных сталей и сплавов.
P6M5Ф3	1,0	4,1	6,0	5,8	2,5	-	330	63	625	То же, что и для стали P12Ф3.

Таблица 4 - Химический состав, физико-механические свойства и область применения различных марок твердых сплавов

Марка сплава	Массовая доля компонента в смеси порошков, %				Физико-механические свойства				Назначение
	WC	TrC	TaC	Co	$\sigma_{и}$ , МПа, не менее	плотность, г/см <sup>3</sup>	теплостойкость, °С	твердость, HRC, не менее	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Вольфрамовая группа сплавов									
ВК3	97	-	-	-	1100	15,2	800	89,5	Чистовое точение, окончательное нарезание резьбы и т.д. при обработке серого чугуна, цветных металлов и их сплавов.
ВК3-М	97	-	-	3	1100	15,2	800	91,0	Чистовое точение, растачивание, развертывание, нарезание резьбы при обработке легированных и отбеленных чугунов, цементированных и закаленных сталей, высоко абразивных неметаллических материалов.
ВК4	96	-	-	4	1400	15,1	800	89,5	Черновое точение при неравномерном сечении среза, черновое и чистовое фрезерование, про сверливание, черновое зенкерование отверстий при обработке чугунов, цветных металлов и сплавов, титана и его сплавов.

Продолжение таблицы 4

ВК6-М	94	-	-	6	1500	14,8	800	88,5	Черновое и получерновое точение, черновое нарезание резьбы резцами, получистовое фрезерование сплошных поверхностей, рассверливание и растачивание, зенкерование отверстий при обработке серого чугуна, цветных металлов и сплавов.
ВК6-ОМ	94	-	-	6	1350	14,9	820	90,0	Получистовая обработка жаропрочных сталей и сплавов, нержавеющей сталей аустенитного класса, специальных твердых чугунов, закаленного чугуна, твердой бронзы, сплавов легких металлов. Обработка закаленных, а также сырых углеродистых и легированных сталей при малых скоростях резания и сечения среза.
ВК6-ОМ	92	-	2	6	1200	14,8	820	80,5	Чистовое и получистовое точение, растачивание развертывание, нарезание резьбы при обработке твердых легированных и отбеленных чугунов, закаленных сталей и некоторых марок нержавеющей высокопрочных и жаропрочных сталей и сплавов, особенно на основе титана, вольфрама и молибдена.

Продолжение таблицы 4

ВК8	92	-	-	8	1600	14,6	840	87,5	Черновое точение (в динамических условиях), строгание, черновое фрезерование, сверление, черновое рассверливание и зенкерование серого чугуна, цветных металлов и их сплавов. Обработка нержавеющей, высокопрочных и жаропрочных труднообрабатываемых сталей и сплавов, в том числе и сплавов титана.
ВК10-М	90	-	-	10	1500	14,4	840	88,0	Сверление, зенкерование, развертывание и зубофрезерование сталей, чугуна, некоторых труднообрабатываемых материалов цельно твердосплавным мелкогабаритным инструментом.
ВК10-ОМ	88	-	2	10	1400	14,4	840	88,5	Черновая и полужирная обработка легированных и отбеленных чугунов, некоторых марок нержавеющей высокопрочных и жаропрочных сплавов и сталей, особенно сплавов на основе титана, вольфрама, молибдена. Изготовление некоторых видов монолитного инструмента.
Титано-вольфрамовая группа сплавов									
Т30К4	66	30	-	4	950	9,7	900	92,0	Чистовое точение с малым сечением среза, нарезание резьбы и развертывание отверстий при обработке незакаленных и закаленных углеродистых сталей.

Продолжение таблицы 4

T15K6	79	15	-	6	1150	11,4	870	90,0	Получерновое точение, чистовое точение (прерывистое резание), нарезание резьбы, получистовое и чистовое фрезерование сплошных поверхностей, рассверливание, растачивание, чистовое зенкерование, развертывание при обработке углеродистых и легированных сталей.
T14K8	78	14	-	8	1250	11,4	870	89,5	Черновое точение при неравномерном сечении среза и непрерывном резании, получистовое и чистовое точение при прерывистом резании; черновое фрезерование сплошных поверхностей; рассверливание литых и кованных отверстий, черновое зенкерование при обработке углеродистых и легированных сталей.
T5K10	85	5	-	10	1400	12,8	880	88,5	Черновое точение (в динамических условиях), 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.

Продолжение таблицы 4

T5K12	83	5	-	12	1650	13,4	880	87,0	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, всех видов строгания углеродистых и легированных сталей, сверления отверстий в стали.
Титано-тантало-вольфрамовая группа сплавов									
TT7K12	81	4	3	23	1650	13,2	900	87	То же, что и для марки T5K12 за исключением сверления в стали. Тяжелое черновое фрезерование углеродистых и легированных сталей.
TT8K6	84	8	2	6	1250	13,0	900	90,5	Непрерывное точение с небольшим сечением среза стального литья высокопрочных нержавеющей сталей, в том числе и закаленных. Обработка сплавов цветных металлов и некоторых марок титановых сплавов (малые и средние сечения среза). Чистовое и получистовое точение, растачивание, фрезерование и сверление чугунов.
TT	82	3	7	8	1450	13,6	900	89,0	Черновая и получистовая обработка некоторых марок труднообрабатываемых материалов, нержавеющей стали аустенитного класса, маломагнитных сталей и жаропрочных сталей и сплавов, в том числе титановых.

Продолжение таблицы 4

ТТ14К8	78	10	2	8	1350	13,2	950	89,0	Черновое и получистовое точение и фрезерование некоторых марок труднообрабатываемых материалов, нержавеющей сталей аустенитного класса, жаропрочных сталей и сплавов, в том числе титановых.
ТТ20К9	71	8	12	9	1300	12,5	950	89,0	Фрезерование стали, особенно фрезерование глубоких пазов и других видов обработки, обуславливающих повышенные требования к переменным нагрузкам..

Исключение переточки уменьшает время на замену инструмента после затупления, повышает качество инструмента, так как уменьшается возможность появления трещин. Во-вторых, наличие на передней и задней поверхностях корки (получающейся после спекания) на 20-40% повышает стойкость инструмента. В-третьих, отсутствие пайки исключает возможность появления напряжений и микротрещин, что повышает срок службы пластин. В-четвертых, повышается производительность труда за счет повышения режимов резания и сокращения времени на смену и восстановление инструмента. В-пятых, сокращаются потери вольфрама, титана, кобальта за счет вторичного использования твердосплавных пластин, а также снижается расход металла на изготовление корпусов инструментов. В-шестых, появляется возможность эффективного применения для инструментов режущих материалов, которые плохо поддаются пайке (безвольфрамовые твердые сплавы и минералокерамика).

Промышленностью выпускаются цилиндрические пластины, многогранные пластины с числом граней 3, 4, 5, 6, в том числе четырехгранные ромбические и параллелограммные. Кроме того, выпускаются опорные пластины соответствующих форм и накладные стружколомы.

Номенклатура и размеры твердосплавных пластин предусмотрены ГОСТ 19043-80, ГОСТ 19069-80, ГОСТ 24250-80, ГОСТ 24256-80 и приведены на рис. 3.1., 3.1а, форма и размеры пластин из режущей керамики и сверхтвердых материалов приведены в табл. 5, 6.

Основные (габаритные) размеры режущих пластин – вписанный диаметр  $d$ , толщина  $s$  и радиус вершины  $r$  – унифицированы.

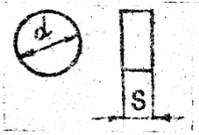
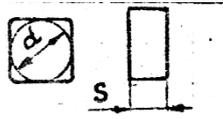
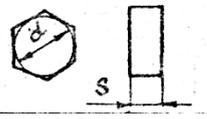
Приняты следующие значения размеров, в мм:

$d$  – 6,35; 9,25; 12,70; 15,875; 19,05; 25,4,

$s$  – 3,18; 4,76; 6,35; 7,94.

$r$  – 0,2; 0,4; 0,8; 1,2; 1,6; 2,4.

Таблица 5 – Форма и размеры пластин из сверхтвердых материалов (композита)

Форма пластин	Эскиз	Размеры, мм		
		КОМПОЗИТ 01	КОМПОЗИТ 05	КОМПОЗИТ 10
1	2	3	4	5
Круглые		3,6x3,18 3,6x2,38	7,0x5,0 7,0x3,18	8,0x3,97
Квадратные		-	5,56x3,18	-
Ромбические		-	5,56x3,18	-
Треугольные		-	4,76x3,18	-
Шестигранные		2,94x3,2	5,54x3,2	-

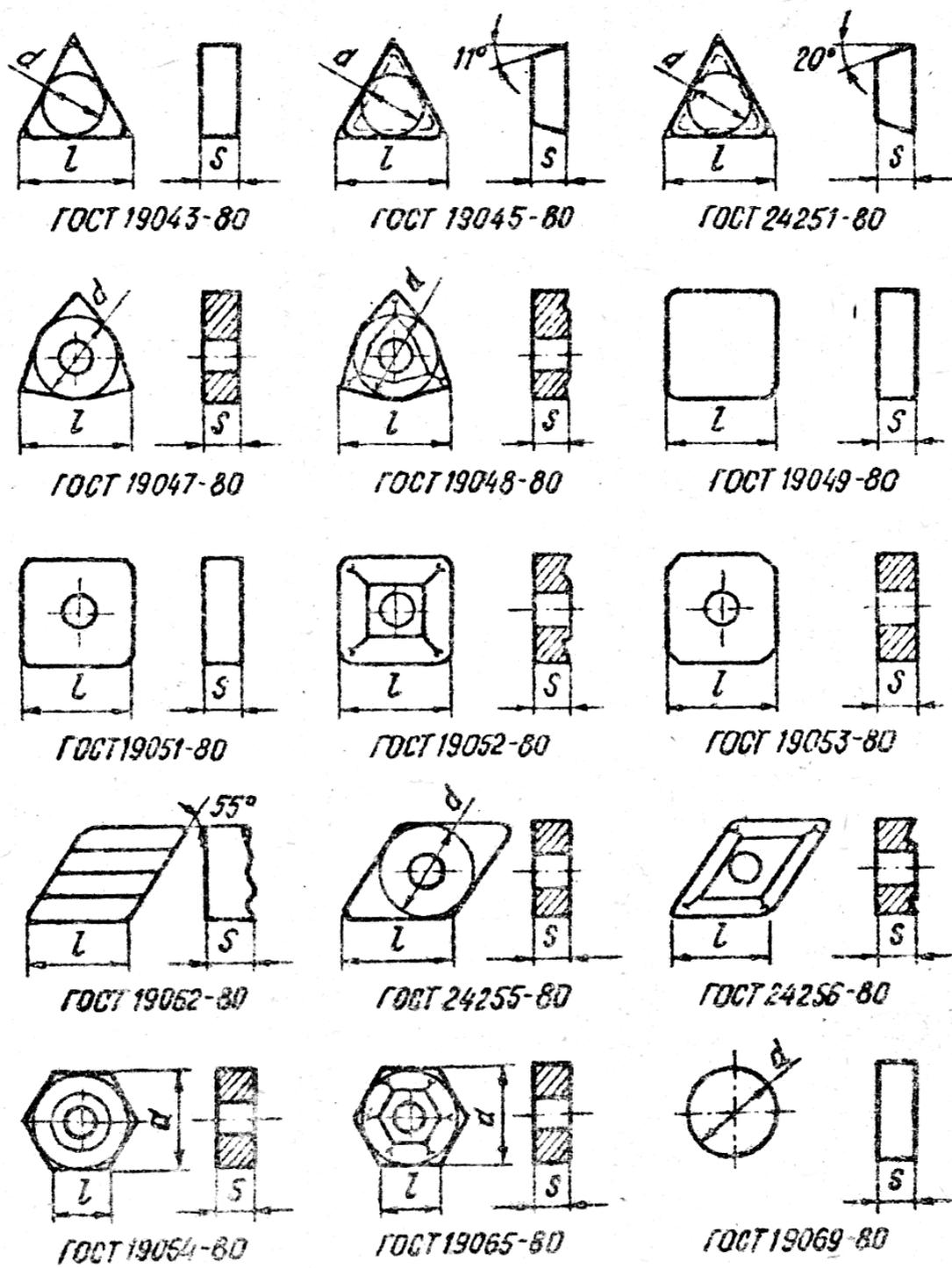


Рисунок 3.1 – Формы многогранных неперетачиваемых пластин из твердого сплава

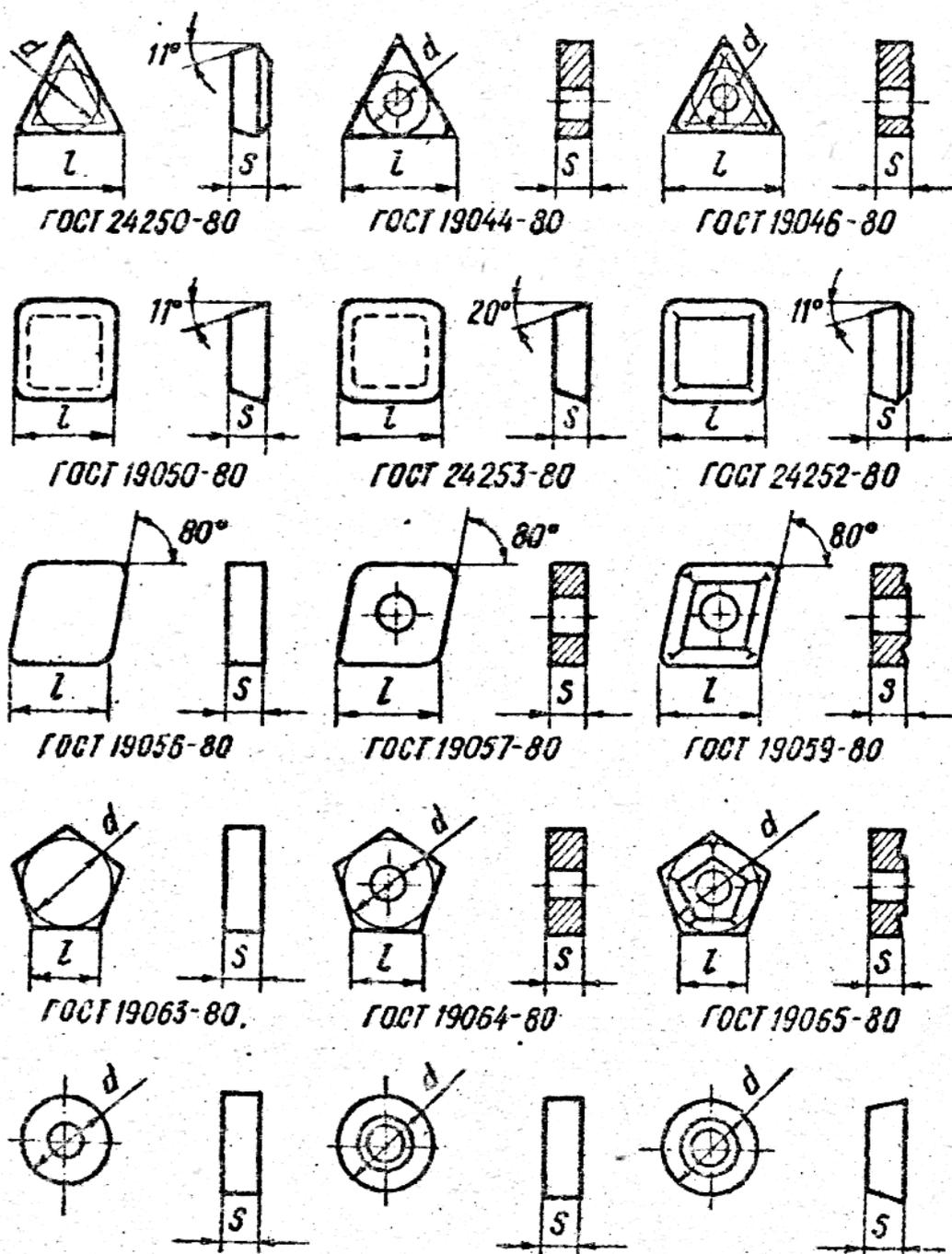
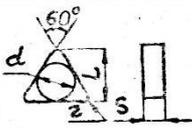
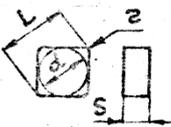
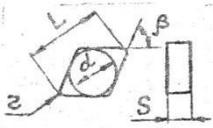
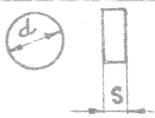


Рисунок 3.1 а – Формы многогранных неперетачиваемых пластин из твердого сплава

Таблица 6 – Форма и размеры пластин из минералокерамики

Форма	Эскиз	Основные размеры, мм	Область применения
Трехгранная		$d = 6,350 \div 12,70$ $L = 8,334 \div 18,256$ $s = 3,17 \div 8,00$ $r = 0,4 \div 3,0$	Токарные, проходные, подрезные и расточные резцы.
Квадратная		$d = 9,525 \div 19,050$ $L = 12,153 \div 25,622$ $s = 3,17 \div 8,00$ $r = 0,4 \div 2,5$	Токарные, проходные и расточные резцы, торцевые фрезы.
Ромбическая с углом: $\beta = 80^{\circ}$ $\beta = 75^{\circ}$		$d = 11,785$ $L = 17,03 \div 17,837$ $s = 3,17$ и $4,26$ $r = 0,4 \div 1,2$ $d = 12,700$ $L = 18,314 \div 20,356$ $s = 8,00$ $r = 0,4 \div 2,0$	Торцевые фрезы и специальные резцы с углом $\varphi = 90^{\circ}$
Круглая		$d = 9,525$ и $12,70$ $s = 3,17 \div 8,00$	Торцевые фрезы и специальные резцы.

#### 4 Конструкции узлов механического крепления многогранных непортативных пластин (МНП)

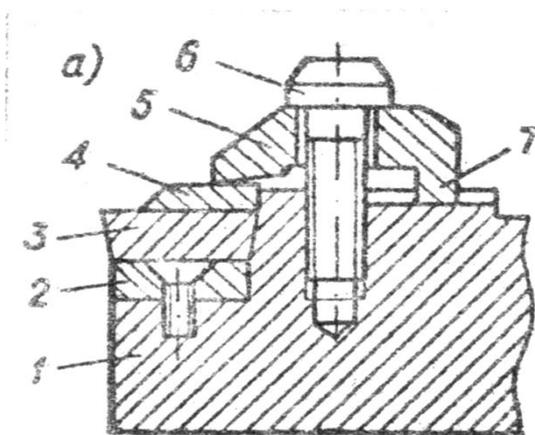


Рисунок 4.1 – Крепление МНП двулучем прижимом

1 – державка; 2 – твердосплавная подкладка; 3 – режущая пластина;  
4 – стружколом; 5 – двулучий прижим; 6 – винт; 7 – гнездо

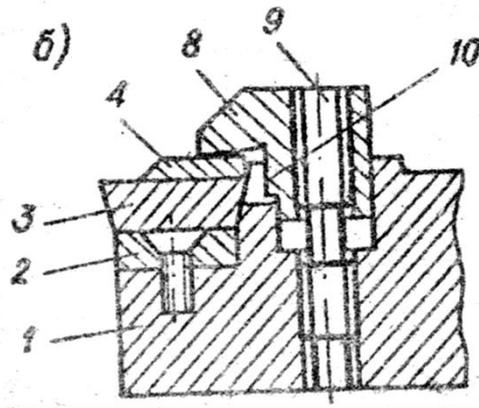


Рисунок 4.2 – Крепление с МНП Г-образным прижимом

1 – державка; 2 – твердосплавная подкладка; 3 – режущая пластина;  
4 – стружколом; 5 – прижим; 6 – винт; 7 – выступ

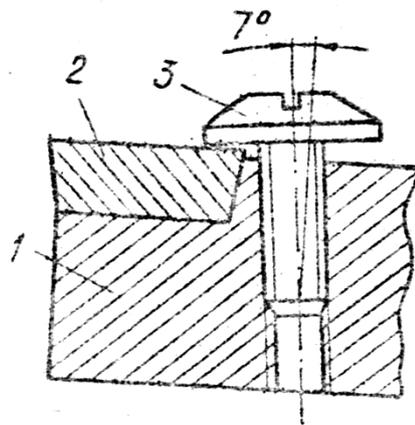


Рисунок 4.3 – Крепление МНП головкой прижимного винта

1 – державка; 2 – режущая пластина; 3 – винт

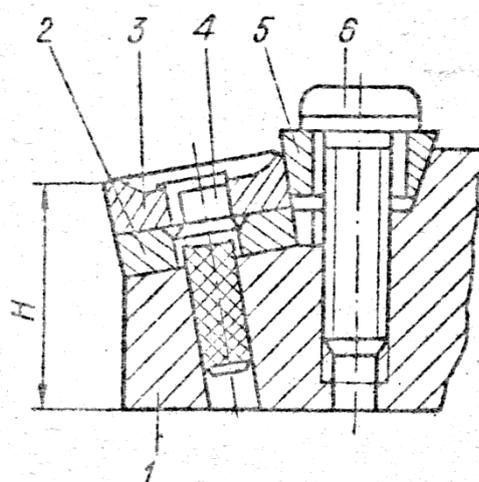


Рисунок 4.4 – Крепление МНП клином

1 – державка; 2 – твердосплавная подкладка; 3 – режущая пластина;  
4 – штифт; 5 – клин; 6 – винт

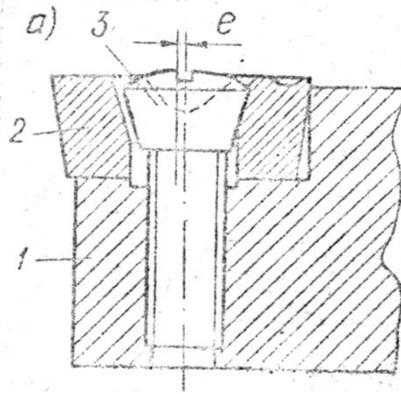


Рисунок 4.5 – Крепление МНП с отверстием одним специальным винтом 1 – державка; 2 – режущая пластина; 3 – зажимной стержень

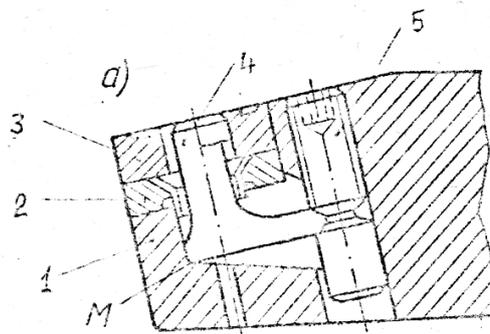


Рисунок 4.6 – Крепление МНП «сапожком»

1 – корпус; 2 – твердосплавная подкладка; 3 – режущая пластина; 4 – сапожок; 5 – винт

## 5 Выбор режимов резания при точении и фрезеровании

### 5.1 Выбор режимов резания резцами из различных инструментальных материалов

Таблица 7 – Рекомендации по выбору режимов резания при точении резцами, оснащенными МНП

Вид обработки	Обрабатываемый материал	Режимы резания		
		$v$ , м/мин	$t$ , мм	$s$ , мм/об
Получистовое точение	Углеродистые конструкционные и легированные стали НВ 180-280	120-150	1,5-3	0,3-0,5
	Серые чугуны НВ 180-240	90-180	2-4	0,5-0,8
	Цветные сплавы	150-200	2-4	0,5-1,0

Продолжение таблицы 7

Чистовое точение	Углеродистые конструкционные и легированные стали HB 180-280	150-300	0,20-1,5	0,1-0,3
	Серые чугуны HB 180-240	130-200	0,2-2	0,1-0,5
	Цветные сплавы	200-300	0,20-2	0,1-0,5

Таблица 8 – Рекомендации по выбору марки минералокерамики и режимов резания при точении различных материалов

Вид обработки	Обрабатываемый материал	Марка керамики	Режимы резания		
			v, м/мин	t, мм	s, мм/об
Получистовое точение	Закаленные стали, HRC $\geq$ 45	ВЗ, ВОК60	70-150	0,5-1,0	0,08-0,3
	Серый чугун	ВЗ, ВОК60	150-300	0,5-5,0	0,1-0,5
	Отбеленный чугун, HB 400-700	ВЗ, ВОК60 ВОК63	30-70	0,5-0,3	0,08-0,3
Чистовое точение	Закаленная сталь HRC $\geq$ 45	ВЗ, ВОК60 ВОК63	100-200	0,1-0,3	0,05-0,2
	Серый чугун HB 200-400	ВЗ, ВОК60	200-400	0,1-1,0	0,05-0,3
	Отбеленный чугун, HB 400-700	ВЗ, ВОК60 ВОК63	70-150	0,1-0,5	0,03-0,15

Таблица 9 – Рекомендации по выбору режимов резания для резцов, оснащённых сверхтвёрдыми синтетическими материалами

Вид обработки	Обрабатываемый материал	Материал инструмента	Режимы резания		
			v, м/мин	t, мм	s, мм/об
Получистовое точение (расточивание)	Углеродистые и легированные стали	Эльбор-Р (01)	40-80	0,5-1,2	0,08-0,2
		Гексанит-Р (10)	60-100	0,5-1,5	0,08-0,2
	Серые чугуны HB 200-240	Композит 05	150-250	0,5-2	0,08-0,2
		Гексанит-Р (10)	120-200	0,5-2	0,08-0,2
	Отбеленные, ковкие чугуны HB 600	Композит 05	80-120	0,5-1,2	0,06-0,15
		Гексанит-Р (10)	80-120	0,3-0,8	0,06-0,15
Тонкое (чистовое точение) (расточивание)	Углеродистые и легированные стали	Эльбор-Р (01)	80-180	0,05-0,3	0,02-0,08
		Гексанит-Р (10)	80-150	0,05-0,5	0,02-0,1
	Серые чугуны HB 200-240	Композит 05	250-500	0,05-0,7	0,02-0,1
		Гексанит-Р (10)	200-400	0,05-0,7	0,02-0,1
	Отбеленные, ковкие чугуны HB 600	Композит 05	120-250	0,05-0,7	0,02-0,05
		Гексанит-Р (10)	120-250	0,05-0,5	0,02-0,08

## 5.2 Выбор режимов резания при фрезеровании

Таблица 10 – Выбор режимов резания при фрезеровании деталей из конструкционных сталей и серых чугунов фрезами, с механическим крепление МНП из твердого сплава

Разновидность фрез	Материал инструмента	Диаметр фрез, мм	Режимы резания		
			t, мм	s, мм/об	v, м/мин
Торцевые	T15K6	80-320	1,0-5,0	0,05-0,3	140-320
	T14K8				
	T5K10				
	BK6	80-320	1,0-7,0	0,1-0,3	60-140
	BK8				
Концевые	T15K6	16-60	1,0-3,0	0,05-0,2	230-80
	T14K8				
	T5K10				
	BK6	16-60	1,0-5,0	1,0-0,3	120-60
	BK8				
Дисковые	T15K6	100-200	2,0-7,0	0,04-0,2	320-180
	T14K8				
	T5K10				
	BK6	100-200	2,0-10,0	0,1-0,3	220-100
	BK8				

Таблица 11 – Режимы резания, рекомендуемые при фрезеровании стали с механическим креплением МНП из минералокерамики

Марка минералокерамики	Обрабатываемый материал	Режимы резания		
		v, м/мин	s, мм/об	t, мм
ВОК-60, ВОК-63	Углеродистые и легированные стали НВ 35-50	150-260	0,03-0,05	0,5-1,0
ВЗ		120-180	0,02-0,04	0,5-1,0
ВШ-75		100-150	0,02-0,04	0,5-1,0
ВОК-60, ВОК-63	Серый чугун НВ 190-210	350-400	0,12-0,15	0,5-2,0
ВЗ		250-350	0,04-0,1	0,5-1,5
ВШ-75		250-350	0,03-0,08	0,5-1,5

Таблица 12 – Рекомендуемые режимы резания фрезами, оснащенные композитом 01, 10 и 05

Марка композита	Обрабатываемый материал и характер фрезерования	Режимы резания		
		v, м/мин	s, мм/об	t, мм
Эльбор-Р (К01) Гексанит-Р (К10) Композит 05	Стали, закаленные до НВ 40-60 получистовое чистовое	80-200	0,07-0,15	0,5-1,5
		100-300	0,01-0,04	0,1-0,2

Гексанит-Р (К10) Композит 05	Чугуны серые и высоко- прочные НВ 150-300	400-600	0,07-0,15	1,0-2,0
	получистовое чистовое	600-800	0,01-0,04	0,1-0,2
Гексанит-Р (К10) Композит 05	Чугуны отбеленные, за- каленные до твердости НВ 400-600	80-150	0,07-0,1	0,5-1,0
	получистовое чистовое	120-250	0,01-0,04	0,05-0,15

### 6 Расчет силы резания и мощности при точении и фрезеровании

Силы резания и мощность при обработке различных сталей и чугунов резцами и фрезами, оснащенных сверхтвердыми материалами (СТМ) определяют по следующим формулам [3,4]:

$$P_Z = C_{PZ} \cdot t^{X_{PZ}} \cdot S^{Y_{PZ}} \cdot v^{-Z_{PZ}}, \text{ Н} \quad (1)$$

$$P_Y = C_{PY} \cdot t^{X_{PY}} \cdot S^{Y_{PY}} \cdot v^{-Z_{PY}}, \text{ Н} \quad (2)$$

$$P_X = C_{PX} \cdot t^{X_{PX}} \cdot S^{Y_{PX}} \cdot v^{-Z_{PX}}, \text{ Н} \quad (3)$$

Значения коэффициентов и показателей степени приведены в таблице 13.

Таблица 13 – Коэффициенты и показатели степени для формулы составляющих силы резания при точении

Марка стали	$P_Z$				$P_Y$				$P_X$			
	$C_{PZ}$	$X_{PZ}$	$Y_{PZ}$	$Z_{PZ}$	$C_{PY}$	$X_{PY}$	$Y_{PY}$	$Z_{PY}$	$C_{PX}$	$X_{PX}$	$Y_{PX}$	$Z_{PX}$
Стали 45, 45Х, 30ХГСНА (HRC 44-46)	960	0,9	0,75	0,3	466	0,95	0,75	0,05	616	1,2	0,55	0,4
Сталь 40ХН2СМА (HRC 44-46)	416	0,86	0,58	0,2	301	0,7	0,56	0,12	143	1,0	0,4	0,15
Стали 6М5 Р6М3, ХВГ, Р18, ШХ15 (HRC 62-65)	405	1,0	0,65	0,15	325	0,88	0,58	0,15	159	1,1	0,5	0,15

Для определения сил резания при точении серого чугуна полученные значения необходимо умножить на коэффициент  $k = 0,5 \div 0,6$ .

Мощность резания при точении определяют по формуле (4):

$$N_p = \frac{P_z \cdot v}{620 \cdot 1020}, \text{ кВт} \quad (4)$$

где  $P_z$  – сила резания, Н;

$v$  – скорость резания, м/мин.

Мощность, подводимая к станку, определяют по формуле (5):

$$N_{ст} = \frac{N_p}{\eta_{ст}}, \text{ кВт} \quad N_{ст} \leq N_{дв} \quad (5)$$

где  $\eta_{ст}$  – КПД станка  $\approx 0,7-0,8$ .

При фрезеровании:

$$P_z = C_{Pz} \cdot t^{X_z} \cdot S^{Y_z} \cdot v^{Z_z}, \text{ Н} \quad (6)$$

$$P_y = C_{Py} \cdot t^{X_y} \cdot S^{Y_y} \cdot v^{Z_y}, \text{ Н} \quad (7)$$

Таблица 14 – Коэффициенты и показатели степени для формул, составляющих силы резания при фрезеровании

Материал	Твердость	$P_z$				$P_y$			
		$C_{Pz}$	$X_z$	$Y_z$	$Z_z$	$C_{Py}$	$X_y$	$Y_y$	$Z_y$
Стали углеродистые конструкционные и легированные	нетермообработанная сталь	220	0,5	0,42	0,29	73	0,63	0,71	0,29
	HRC35-40	1050	1,0	0,71	0,35	42	0,64	0,58	0,32
	HRC 42-46	620	0,47	0,37	0,16	63	0,5	0,42	0,16
	HRC 52-56	1580	0,67	0,42	0,06	74	0,61	0,38	0,13
	HRC 62-64	3800	0,73	0,42	0,03	100	0,57	0,33	0,16
Серые чугуны	HB 210-220	300	0,81	0,54	0,36	8,3	0,37	0,62	0,5

Мощность резания при фрезеровании определяют по формулам (4-5).

## Литература

1. Режущий инструмент: учебник для вузов / Д.В. Кожевников, В.Л. Гречишников, С.В. Кирсанов и др. М.: Машиностроение, 2005. 528 с.
2. Прогрессивные режущие инструменты и режимы резания металлов / В.И. Баранчиков, А.В. Жаринов, Н.Д. Юдина и др. М.: Машиностроение, 2010. 400 с.
3. Лысанов В.С. Эльбор в машиностроении. Л.: Машиностроение, 2008. 280 с.
4. Коршунов В.Я. Технология сельскохозяйственного машиностроения: практикум. Брянск: Изд-во Брянский ГАУ, 2017. 38 с.

Учебное издание

Коршунов Владимир Яковлевич

**ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ  
И ИНСТРУМЕНТЫ**

Практикум по выполнению самостоятельных и практических работ  
для студентов очной и заочной формы обучения  
по направлению подготовки 25.03.06 Агроинженерия  
профиль Технический сервис в АПК

Компьютерный набор и вёрстка Коршунов В.Я.

Редактор Осипова Е.Н.

---

Подписано к печати 31.05.2019 г. Формат 60x84 1/16.  
Бумага печатная. Усл. п. л. 2,09. Тираж 50 экз. Изд. №6395.

---

Издательство Брянского государственного аграрного университета  
243365 Брянская обл., Выгоничский район, с. Кокино, Брянский ГАУ