

Алмаз

Кубический
нитрид бора

Керамика

Твердые
сплавы

Инструментальные материалы

Быстрорежущая
сталь

Инструментальными являются материалы, основное назначение которых - оснащение рабочей части инструментов

К ним относятся:

инструментальные стали (углеродистые, легированные и быстрорежущие),
твердые сплавы (металлокерамика),
минералокерамика,
сверхтвердые материалы,
абразивные материалы.

Основные свойства инструментальных материалов

Инструментальный материал	Теплостойкость °C	Предел прочности при изгибе, МПа	Микротвердость, HV	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К)
Углеродистая сталь	200-250	1900-2200	-	31-32
Легированная сталь	250-300	2000-2500	-	27-29
Быстрорежущая сталь	610-700	2050-3400	700-750	18-20
Твердый сплав	800-900	880-2350	1600-1700	13-80
Минералокерамика	1100-1500	325-700	1500	3
Алмаз	700-900	210-480	10000-10600	142,5
Кубический нитрид бора	1300-1500	700-1500	8500-9400	25-60
*				3

Инструментальные стали

- По химическому составу, степени легированности инструментальные стали разделяются на инструментальные углеродистые, инструментальные легированные и быстрорежущие стали.
- Физико-механические свойства этих сталей при нормальной температуре достаточно близки, различаются они теплостойкостью и прокаливаемостью при закалке.

Нетеплостойкие стали

(материалы теплостойкие до температуры 200–240 °С)

- К этой группе сталей относятся:
- **1. Углеродистые** инструментальные стали качественные (У7-У13) и высококачественные (У7А-У13А) или стали неглубокой прокаливаемости.
- **2. Низколегированные** стали Х, 9ХС, ХВГ, В1, В2Ф, 6ХС, 6ХВ2С, 7ХФ, ХГ2М

Нетеплостойкие стали

(материалы теплостойкие до температуры 200–240 °С)

- **Углеродистые стали** из-за малой устойчивости переохлажденного аустенита имеют небольшую *прокаливаемость* (критический диаметр 15 мм), поэтому их применяют для изготовления мелких инструментов с поперечным сечением до 25 мм с незакаленной сердцевиной. При несквозной прокаливаемости наблюдается меньшая деформация инструмента при закалке. Инструмент с незакаленной вязкой сердцевиной обладает большей устойчивостью к ударам и вибрациям.

Нетеплостойкие стали

(материалы теплостойкие до температуры 200–240 °С)



а)



б)

а) инструмент для нарезания резьбы вручную (метчики и плашки);

б) набор бытовых инструментов

Нетеплостойкие стали

(материалы теплостойкие до температуры 200–240 °С)

- Достоинства – дешевизна, невысокая твердость после отжига (166–192 НВ) и хорошая обрабатываемость резанием и давлением в отожженном состоянии.
- Недостатки – узкий интервал закалочных температур и необходимость закалки с охлаждением в воде или в водных растворах щелочей (солей), что усиливает деформацию и коробление инструмента и способствует образованию трещин. Поэтому инструменты сложной формы с резкими переходами и большим соотношением длины к диаметру из углеродистых сталей не изготавливают. Термическая обработка для этих сталей - закалка и низкий отпуск (60-63 HRC).
- Углеродистые стали применяют для мелкого инструмента, работающего из-за низкой их теплостойкости с малыми скоростями резания, так как при нагреве выше 190–200 °С твердость инструмента значительно понижается.

Нетеплостойкие стали

(материалы теплостойкие до температуры 200–240 °С)



а)

б)

в)



Инструменты, изготовленные из стали У12А

а) метчик, б) сверло, покрытое нитридом титана, в) сверло

Нетеплостойкие стали

(материалы теплостойкие до температуры 200–240 °С)

- **Низколегированные инструментальные** стали меньше чувствительны к перегреву, имеют большую прокаливаемость и позволяют проводить охлаждение при закалке в масле, что уменьшает деформацию и коробление инструмента. Поэтому из легированных сталей изготавливают инструменты сложной формы с большим отношением длины к диаметру (например протяжки).
- Так, стали 9ХС и ХВСГ характеризуются повышенной закаливаемостью и прокаливаемостью, вследствие чего они получают высокую твердость (HRC 62–63) как при охлаждении в масле, так и при ступенчатой закалке. Кроме того, инструмент из этих сталей сохраняет высокую твердость режущей кромки при нагреве до 225–250 °С. При ступенчатой закалке деформация инструмента незначительна.
- Недостатком сталей 9ХС, ХВСГ является склонность к их обезуглероживанию при нагреве и повышенная твердость в отожженном состоянии (HV 1870–2410), что ухудшает обрабатываемость этих сталей резанием.

Нетеплостойкие стали

(материалы теплостойкие до температуры 200–240 °С)

- **Низколегированные инструментальные стали** используют для изготовления круглых плашек, разверток, зенкеров.
- Такие легированные инструментальные стали, как 9ХС и ХВСГ, не обладают высокой устойчивостью против отпуска и пригодны только для резания с небольшой скоростью.
- Легированные стали закаливают в масле и подвергают отпуску при 150–160 °С для сохранения твердости HRC 61–64

Инструментальные углеродистые стали обозначаются буквой **У**, за которой следует цифра, характеризующая массовое содержание углерода в стали в десятых долях процента

Марка стали	Область применения
У7, У7А	Зубила, стамески, пилы, керны, слесарный инструмент
У8, У8А	Ножницы, пилы, ролики накатные, пробойники, матрицы, ручные дереворежущие инструменты.
У10, У10А, У11, У11А	Мелкогабаритный режущий инструмент.
У12, У12А	Режущий инструмент, работающий при низких скоростях резания
У13, У13А *	Напильники, шаберы, резцы, гравировальный инструмент.

В инструментальных легированных сталях первая цифра, характеризует массовое содержание углерода в десятых долях процента (если цифра отсутствует, то содержание углерода в ней до одного процента).

Буквы в обозначении указывают на содержание соответствующих легирующих элементов:

Г - марганец, Х - хром, С - кремний,
В - вольфрам, Ф - ванадий, а цифры обозначают содержание элемента в процентах. Инструментальные легированные стали глубокой прокаливаемости марок 9ХС, ХВСГ, Х, 11Х, ХВГ отличаются малыми деформациями при термической обработке.

Инструментальные углеродистые (ГОСТ 1435-74) и легированные (ГОСТ 5950-73) стали

Эти материалы имеют ограниченные области применения: углеродистые идут, в основном, для изготовления слесарных инструментов, а легированные - для резьбообразующих, деревообрабатывающих и длинномерных инструментов (ХВГ)-протяжек, разверток и т.д.

Быстрорежущие стали

- Быстрорежущие стали обозначаются в соответствии с ГОСТ 19265 и содержат 0,7-1,5 %С, поставляются высококачественными.
- В марках стали буквы и цифры обозначают Р – быстрорежущая (от англ. слова “Rapid” – быстрый, скорый), цифра, следующая за буквой – среднюю массовую долю вольфрама, М – молибден, Ф – ванадий, К – кобальт, А – азот; цифры, следующие за буквами, означают соответственно массовую долю молибдена, ванадия, кобальта; Ш – электрошлаковый переплав.

Быстрорежущие стали

Марка стали	Примерное назначение и технологические особенности
P18	Может использоваться для всех видов режущего инструмента при обработке обычных конструкционных материалов. Обладает высокой технологичностью.
P12	Примерно для тех же целей, что и сталь P18. Хуже шлифуется.
P9	Для инструментов простой формы, не требующих большого объёма шлифовальных операций; применяется для обработки обычных конструкционных материалов; обладает повышенной пластичностью и может использоваться для изготовления инструментов методами пластической деформации; шлифуемость пониженная.
P6M5	Для всех видов режущих инструментов. Возможно использовать для инструментов, работающих с ударными нагрузками; более узкий, чем у стали P18 интервал закалочных температур, повышенная склонность к обезуглероживанию.
* P6M5Ф3	Чистовые и получистовые инструменты / фасонные резцы, развертки, протяжки и др. / при обработке конструкционных

Марка стали	Примерное назначение и технологические особенности
10P6M5	То же, что и сталь P6M5, но по сравнению со сталью P6M обладает несколько большей твёрдостью и меньшей прочностью.
P9Ф5, P14Ф4	Используются для изготовления инструментов простой формы, не требующих большого объёма шлифовальных операций_ рекомендуется для обработки материалов с повышенными абразивными свойствами / стеклопластики, пластмассы, эбонит и т.п. / для чистовых инструментов, работающих со средними скоростями резания и малыми сечениями среза; шлифуемость пониженная.
P12Ф3	Для чистовых и получистовых инструментов, работающих со средними скоростями резания; для материалов с повышенными абразивными свойствами; рекомендуется взамен сталей P6Ф5 и P14Ф4, как сталь лучшей шлифуемости при примерно одинаковых режущих свойствах.
P9M4K8 P6M5K5 *	Для обработки высокопрочных нержавеющей, жаропрочных сталей и сплавов в условиях повышенного разогрева режущей кромки; шлифуемость несколько понижена.

Марка стали	Примерное назначение и технологические особенности
P10K5Ф5 P12K5Ф5	Для обработки высокопрочных и твёрдых сталей и сплавов; материалов обладающих повышенными абразивными свойствами; шлифуемость низкая.
P9K5	Для обработки сталей и сплавов повышенной твёрдости; чистовая и получистовая обработка без вибраций; шлифуемость пониженная.
11P3AM3Ф2	Для инструментов простой формы при обработке углеродистых и легированных сталей с прочностью не более 800 МПа.
P6M5K5-МП P9M4K8-МП (порошковые)	Для тех же целей, что и стали P6M5K5 и P9M4K8; обладают лучшей шлифуемостью, менее деформируются при термообработке, обладают большей прочностью, показывают более стабильные эксплуатационные свойства.

Твердые сплавы

- Под *твердыми сплавами* понимают сплавы на основе высокотвердых и тугоплавких карбидов вольфрама, титана, тантала, соединенных металлической связкой, как правило, кобальтом. Твердые сплавы являются *металлокерамическими*.
- Твердые сплавы изготавливают методом порошковой металлургии. Порошки карбидов смешивают с порошком кобальта, прессуют эту смесь в изделия необходимой формы и подвергают спеканию при 1400–1550 °С в защитной атмосфере (водород) или в вакууме.
- При спекании кобальт плавится и растворяет часть карбидов, что позволяет получать плотный материал (пористость не превышает 2 %), состоящий на 80–97 % из карбидных частиц, соединенных связкой. Увеличение содержания связки вызывает снижение твердости, но *повышение прочности.

Физико-механические свойства одно-, двух- и трехкарбидных твердых сплавов

Марка сплава	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К)	Коэффициент удельной теплоемкости Дж/(кг·К)	Коэффициент линейного расширения, $\times 10^6 \text{ К}^{-1}$	Предел прочности при изгибе, МПа	Предел прочности при сжатии, МПа
ВК4	50,3	-	3,4-4,7	1270-1370	4030-4270
ВК6	38-80	175,9	3,6-5,0	1320-1660	4300-4900
ВК8	46-75	167,6	4,8-5,5	1370-1810	3235-4380
ВК10	54-71	-	3,8-6,0	1470-1910	4040-4605
ВК15	67-69	175,9	4,7-6,0	1615-2155	3775-3820
ВК20	41-66	171,8	4,7-6,0	1860-2330	3330-3430
ВК25	37,7	-	3,8-6,7	1765-2255	2970-3235
Т30К4	13-24	335,2	6,6-7,0	882-931	3230-3980
Т15К6	13-38	251,4	5,6-6,0	1127-1180	4120-4210
Т14К8	17-34	222,1	6,0-6,2	1130-1370	2940-4120
Т5К10	21-63	209,5	5,5	1270-1370	4410-4500
Т5К12	21	-	5,9	1620-1760	3140
ТТ8К6	-	-	-	1225	-
ТТ7К12	-	-	-	1372-1617	-
ТТ10К8В	-	-	-	1421	~20
ТТ20К9	-	-	-	1274	-

- Такие материалы обладают высокой твердостью HRA 80–92 (HRCэ 73–76), износостойкостью и высокой теплостойкостью (до 800–1000°С).
- Их недостатком является высокая хрупкость и сложность изготовления фасонных изделий.
- Скорость резания твердосплавным инструментом в 5–10 раз выше скорости резания быстрорежущим.

В металлообработке стандартом ISO выделены три группы применимости твердосплавного режущего инструмента:



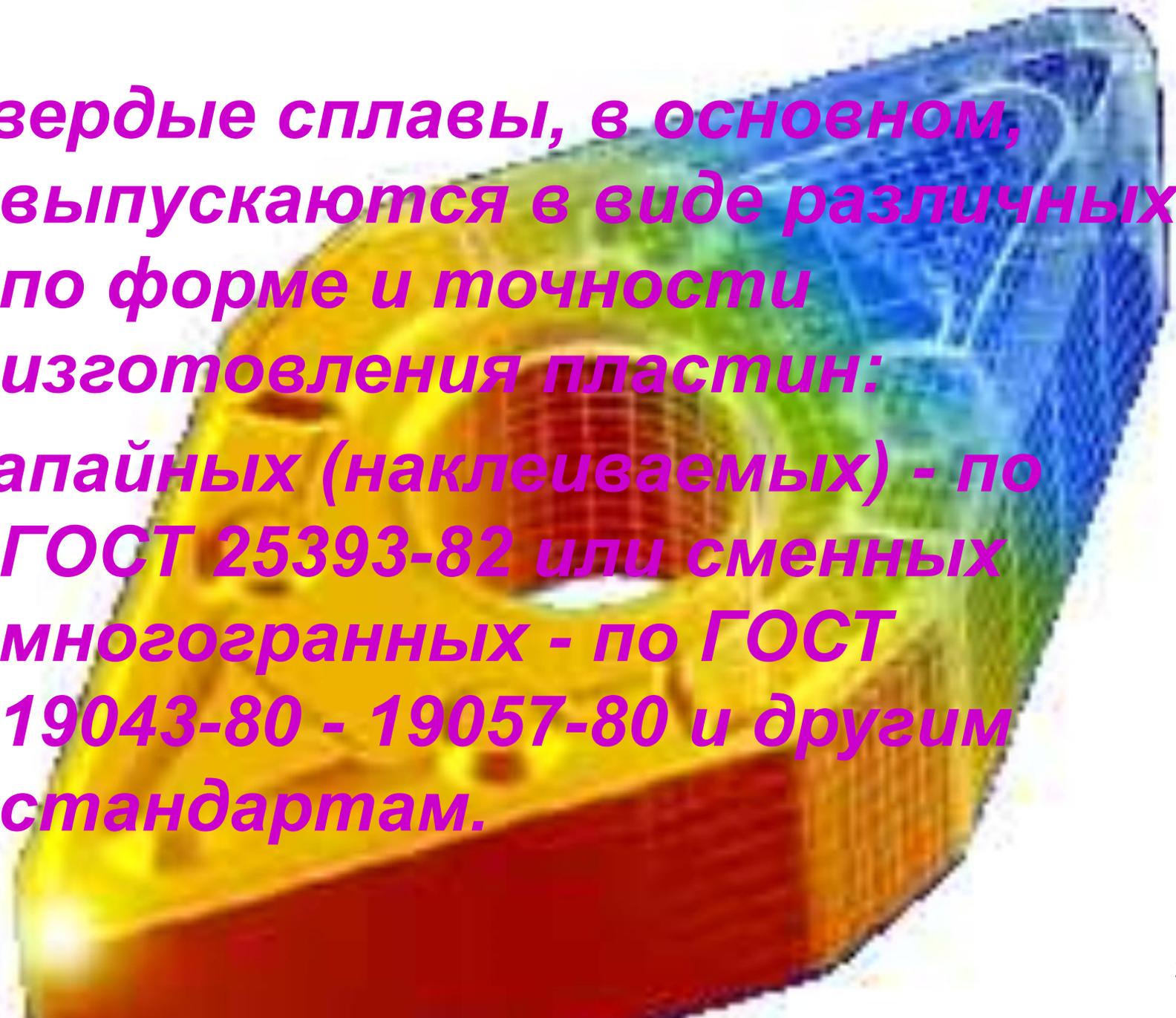
Сталь, стальное литьё, ферритная и мартенситная нержавеющая сталь, ковкий чугун, дающий сливную стружку.



Чугун, отбелённый чугун, ковкий чугун, дающий элементную стружку, закалённые стали, цветные металлы, пластмассы, дерево.



Аустенитные нержавеющие стали, стальное литьё, марганцовистые стали, легированный и ковкий чугун, автоматные стали, жаропрочные и титановые сплавы.

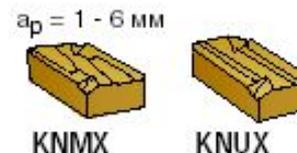


**Твердые сплавы, в основном, выпускаются в виде различных по форме и точности изготовления пластин:
напайных (наклеиваемых) - по ГОСТ 25393-82 или сменных многогранных - по ГОСТ 19043-80 - 19057-80 и другим стандартам.**

Пластины общего назначения



Для контурной обработки
 Острозубые пластины: $a_p < 4 \text{ мм}$



Зачистные пластины для больших подач



Для обработки алюминия



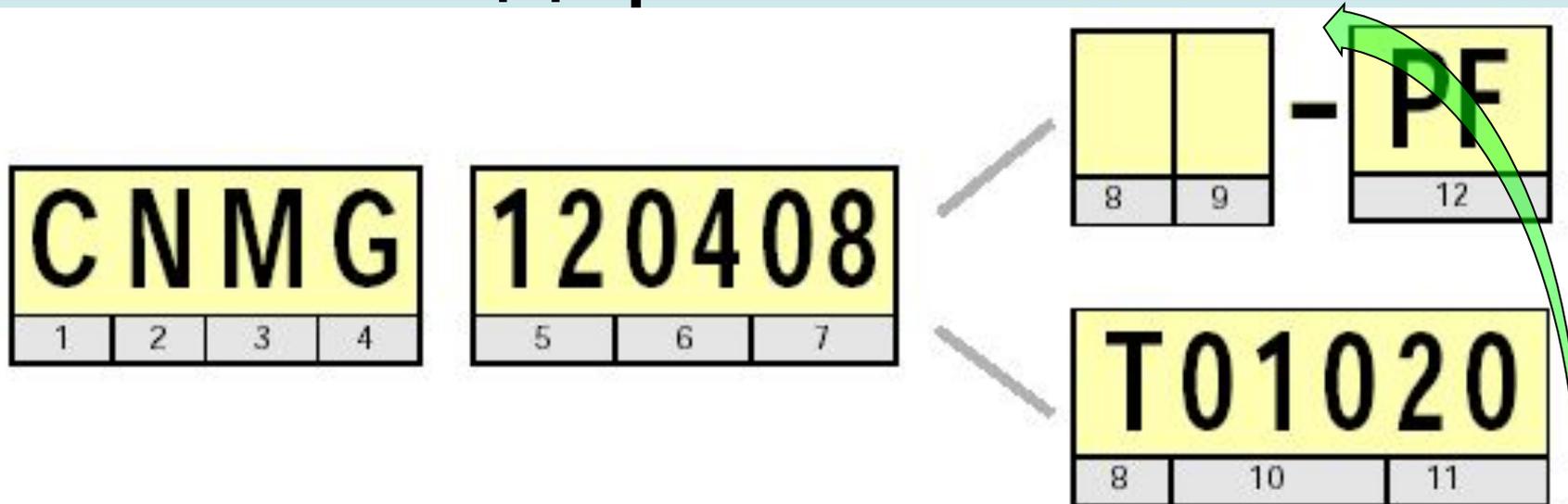
Из минералокерамики



С кубическим нитридом бора (CBN)



Схема кодирования пластин



1. Форма пластины
2. Задний угол
3. Допуски на s и iC / iW
4. Тип пластины
5. Длина режущей кромки, l мм
6. Толщина пластины, s мм

7. Радиус при вершине, r мм
8. Состояние режущей кромки
9. Исполнение
10. Ширина фаски, мм
11. Угол фаски
12. Обозначение изготовителя

Код ISO состоит из девяти полей,
* причём поля 8 и 9 используются при необходимости

1 Форма пластины

80°



C

55°



D

55°

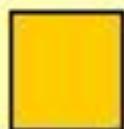


K

R



S



T



35°



V

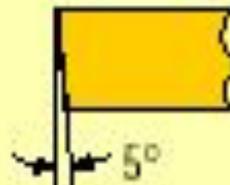
80°



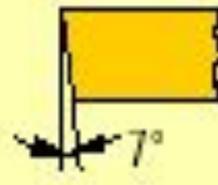
W

2 Задний угол

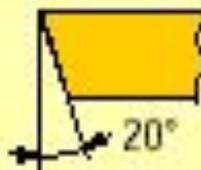
B



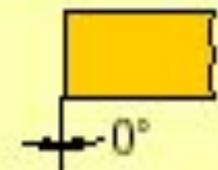
C



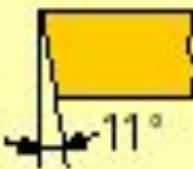
E



N

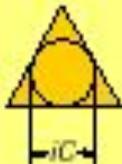
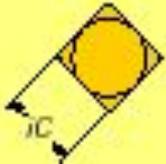
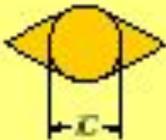


P



O

специальная

3 Допуски на s и iC/iW		Диаметр вписанной окружности,		Класс точности	
		iC mm		M	U
Класс s	iC / iW	3,97	±0,05	±0,08	
G	±0,025	5,0			
M ±0,13	±0,05 – ±0,15 ¹⁾	5,56			
U	±0,08 – ±0,25 ¹⁾	6,0			
		6,35			
		8,0			
		9,525			
		10,0	±0,08	±0,13	
		12,0			
		12,7	±0,10	±0,18	
		15,875			
		16,0			
		19,05			
		20,0	±0,13	±0,25	
		25,0			
		25,4	±0,15	±0,25	
		31,75			
		32,0			

¹⁾ Зависит от величины iC .
См. таблицу ниже.

Для пластин с задними углами значение iC дано для плоскости, проходящей через режущие кромки

4 Тип пластины

A



Q



G



R



M



T



N



W



X

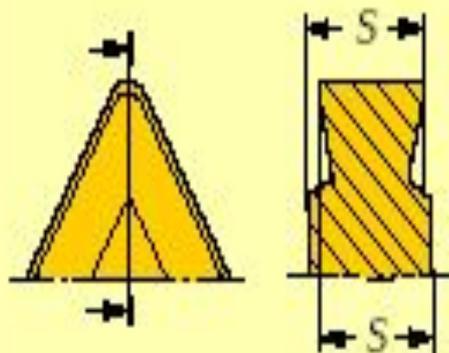
специальная конструкция

5 Длина режущей кромки, l мм

iC mm	iC дюйм	C	D	R	S	T	V	W	K
									
3,97	5,32"					06			
5,0				05					
5,56	7/32"					09			
6,0				06					
6,35	1/4"	06	07			11	11		
8,0				08					
9,525	3/8"	09	11	09	09	16	16	06	16 ^{*)}
10,0				10					
12,0				12					
12,7	1/2"	12	15	12	12	22	22	08	
15,875	5/8"	16		15	15	27			
16,0				16					
19,05	3/4"	19		19	19	33			
20,0				20					
25,0				25					
25,4	1"	25		25	25				
31,75				31					
32				32					

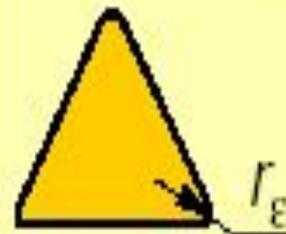
^{*)} Для пластин формы К (KNMX, KNUX) указана только длина стороны пластины

6 Толщина пластины, S мм



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

7 Радиус при вершине, r_e мм

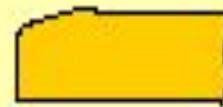


MO, 00	$r_e =$ круглая пластина
04	$r_e = 0,4$
08	$r_e = 0,8$
12	$r_e = 1,2$
16	$r_e = 1,6$
24	$r_e = 2,4$

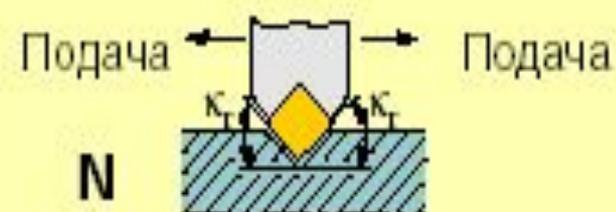
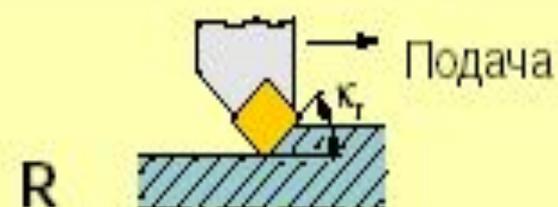
00 - значение iC
в дюймах.

MO - значение iC
в метрических
единицах.

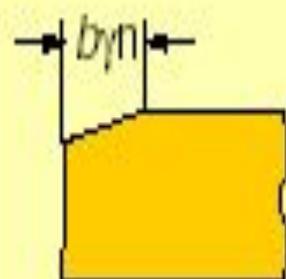
8 Состояние режущей кромки

F		Острая кромка
E		Округленная кромка
T		Кромка с отрицательной фаской
K		Кромка с двойной отрицательной фаской
S		Округленная кромка с отрицательной фаской

9 Исполнение

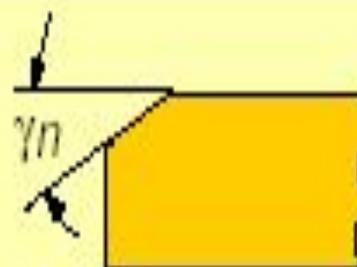


10 Ширина фаски, мм



010	$b_{\gamma n} = 0,10$
025	$b_{\gamma n} = 0,25$
070	$b_{\gamma n} = 0,70$
150	$b_{\gamma n} = 1,50$
200	$b_{\gamma n} = 2,00$

11 Угол фаски



15	$\gamma n = 15^\circ$
20	$\gamma n = 20^\circ$

Многогранные пластины выпускаются как из стандартных марок твердых сплавов, так и из этих же сплавов с однослойными или многослойными сверхтвердыми покрытиями из TiC, TiN, оксида алюминия и других химических соединений.

Пластины с покрытиями обладают повышенной стойкостью.

К обозначению пластин из стандартных марок твердых сплавов с покрытием нитридов титана добавляют - маркировку букв КИБ (ТУ 2-035-806-80), а к обозначению сплавов по ISO - букву С.

Марки	Применяется для
ВКЗ	Чистового точения с малым сечением среза, окончательного нарезания резьбы, развертывания отверстий и других аналогичных видов обработки серого чугуна, цветных металлов и их сплавов и неметаллических материалов (резины, фибры, пластмассы, стекла, стеклопластиков и т. д.). Резки листового стекла
ВКЗ-М	Чистовой обработки (точения, растачивания, нарезания резьбы, развертывания) твердых, легированных и отбеленных чугунов, цементированных и закаленных сталей, а также высокоабразивных неметаллических материалов.
ВК4	Чернового точения при неравномерном сечении среза черногового и чистового фрезерования, рассверливания и растачивания нормальных и глубоких отверстий, черногового зенкерования при обработке чугуна, цветных металлов и сплавов, титана и его сплавов.
ВК6-ОМ	Чистовой и получистовой обработки 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 (точения, растачивания, развертывания, нарезания резьбы, шабровки).
ВК6-М *	Получистовой обработки жаропрочных сталей и сплавов, нержавеющей сталей аустенитного класса, специальных твердых чугунов, закаленного чугуна, твердой бронзы, сплавов легких металлов, абразивных неметаллических материалов, пластмасс, бумаги, стекла. Обработки закаленных сталей, а также сырых углеродистых и легированных сталей при тонких сечениях

Марки	Применяется для
ТТ8К6	Чистового и получистового точения, растачивания, фрезерования и сверления серого и ковкого чугуна, а также отбеленного чугуна. Непрерывного точения с небольшими сечениями среза стального литья, высокопрочных, нержавеющей сталей, в том числе и закаленных. Обработки сплавов цветных металлов и некоторых марок титановых сплавов при резании с малыми и средними сечениями среза.
ВК6	Чернового и получернового точения, предварительного нарезания резьбы токарными резцами, получистового фрезерования сплошных поверхностей, рассверливания и растачивания отверстий, зенкерования серого чугуна, цветных металлов и их сплавов и неметаллических материалов.
ВК8	Чернового течения при неравномерном сечении среза и прерывистом резании, строгании, чернового фрезерования, сверления, чернового рассверливания, чернового зенкерования серого чугуна, цветных металлов и их сплавов и неметаллических материалов. Обработки нержавеющей, высокопрочных и жаропрочных труднообрабатываемых сталей и сплавов, в том числе сплавов титана.
ВК10-ОМ	Черновой и получерновой обработки твердых, легированных и отбеленных чугунов, некоторых марок нержавеющей, высокопрочных и жаропрочных сталей и сплавов, особенно сплавов на основе титана, вольфрама и молибдена. Изготовления некоторых видов монолитного инструмента.
ВК10-М	Сверления, зенкерования, развертывания, фрезерования и зубофрезерования стали, чугуна, некоторых труднообрабатываемых материалов и неметаллов цельнотвердосплавным, мелкогабаритным инструментом. Режущего инструмента для обработки дерева. Чистового точения с малым сечением среза (типа алмазной обработки); нарезания резьбы и развертывания отверстий незакаленных и закаленных углеродистых сталей.
* Т15К6	Получернового точения при непрерывном резании, чистового точения при прерывистом резании, нарезания резьбы токарными резцами и вращающимися головками, 36 получистового и чистового фрезерования сплошных поверхностей, рассверливания и растачивания предварительно обработанных отверстий, чистового зенкерования,

Марки	Применяется для
Т14К8	Чернового точения при неравномерном сечении среза и непрерывном резании, получистового и чистового точения при прерывистом резании; чернового фрезерования сплошных поверхностей; рассверливания литых и кованных отверстий, чернового зенкерования и других подобных видов обработки углеродистых и легированных сталей.
Т5К10	Чернового точения при неравномерном сечении среза и прерывистом резании, фасонного точения, отрезки токарными резцами; чистового строгания; чернового фрезерования прерывистые поверхностей и других видов обработки углеродистых и легированных сталей, преимущественно в виде поковок, штамповок и отливок по корке и окалине.
Т5К12	Тяжелого чернового точения 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.
ТТ7К12	Тяжелого чернового точения стальных поковок, штамповок и отливок по корке с раковинами при наличии песка, шлака и различных неметаллических включений при равномерном сечении среза и наличии ударов. Всех видов строгания углеродистых и легированных сталей. Тяжелого чернового фрезерования и углеродистых и легированных сталей.
ТТ10К8	Черновой и получистовой обработки некоторых марок труднообрабатываемых материалов, нержавеющей сталей аустенитного класса, маломагнитных сталей и жаропрочных сталей и сплавов, в том числе титановых.
* ТТ20К9	Фрезерования стали, особенно фрезерования глубоких пазов и других видов обработки, предъявляющих повышенные требования к сопротивлению сплава тепловыми механическим циклическим нагрузкам 37

Безвольфрамовые твердые сплавы

- Общим недостатком рассмотренных сплавов, помимо высокой хрупкости, является повышенная дефицитность исходного вольфрамового сырья — основного компонента, определяющего их повышенные физико-механические характеристики. Поэтому перспективно направление использования безвольфрамовых твердых сплавов. Хорошо себя зарекомендовали сплавы, в которых в качестве основы используется карбид титана, а в качестве связки — никель и молибден.
- Они маркируются буквами КТС и ТН. Твердые сплавы КТС-1 и КТС-2 содержат 15–17 % Ni и 7–9 % Mo соответственно, остальное — карбид титана. В твердых сплавах типа ТН-20, ТН-25, ТН-30 в качестве связующего металла применяют в основном никель в количестве 16–30 %. Концентрация молибдена составляет 5–9 %, остальное — также карбид титана. Твердость подобных твердых сплавов составляет 87–94 HRA, сплавы имеют высокую износо- и коррозионную стойкость. Их используют для изготовления режущего инструмента и быстроизнашивающихся деталей технологического оборудования.

Состав физико-механические свойства безвольфрамовых твердых сплавов

Марка сплава	TiC, %	Ni, %	Mo, %	$\sigma_{\text{u32'}}$, МПа	$\sigma_{\text{сж'}}$, МПа
ТН20	79	16	5	1080	3430
ТН25	74	20	6	1180	3380
ТН30	70	24	7	1270	3330
ТН50	50	37	13	1225	-
КНТ16	74	19.5	6,5	1180	-

Минералокерамика (ГОСТ 26630-75) и сверхтвердые материалы

- *Минералокерамические инструментальные материалы* обладают высокой твердостью, тепло- и износостойкостью.
- Их основой являются глинозем (оксид алюминия) - оксидная керамика или смесь оксида алюминия с карбидами, нитридами и другими соединениями металлов (керметы). Основные характеристики и области применения различных марок минералокерамики приведены в таблице.

Физико-механические свойства инструментальной керамики

Марка керамики	Предел прочности при изгибе, МПа	Предел прочности при сжатии, МПа	Теплостойкость, С ⁰
ЦМ-332	325	5000	1400
ВО13	475	2850	1100
ВШ75	550	-	-
ВЗ	600	-	1100
ВОК60	650	2400	1100
ВОК63	675	-	-
ОНТ-20	700	2250	1200
Силинит-Р	700	2500	1200

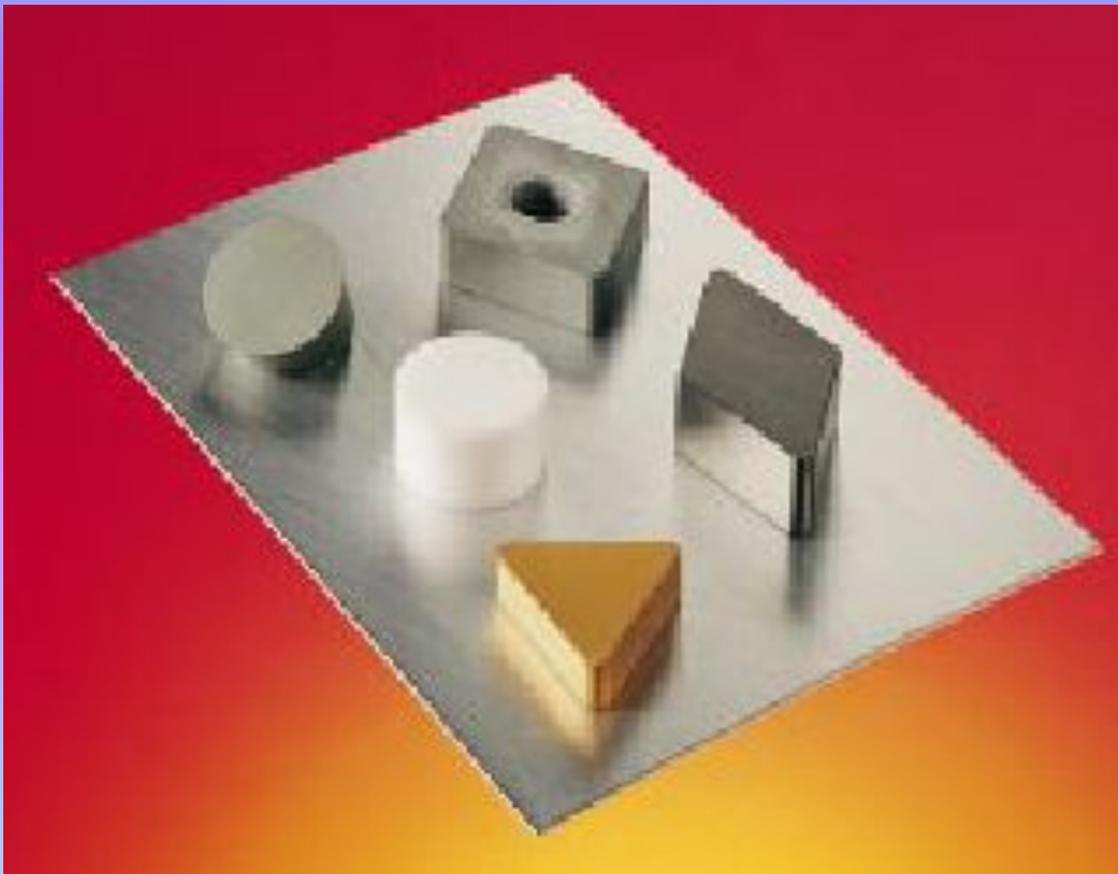
Рекомендации по выбору марки керамики

Обрабатываемый материал	Твёрдость	Марка керамики
<i>Чугун серый</i>	НВ 143-289	ВО-13, ВШ-75, ЦМ-332
<i>Чугун ковкий</i>	НВ 163-269	ВШ-75, ВО-13
<i>Чугун отбеленный</i>	НВ 400-650	ВОК-60, ОНТ-20, В-3
<i>Сталь конструкционная углеродистая</i>	НВ 160-229	ВО-13, ВШ-75, ЦМ-332
<i>Сталь конструкционная легированная</i>	НВ 179-229	ВО-13, ВШ-75, ЦМ-332
<i>Сталь улучшенная</i>	НВ 229-380	ВШ-75, ВО-13, ВОК-60 Силинит-Р
<i>Сталь цементируемая закалённая</i>	НRC 36-48	ВОК-60, ОНТ-20, В-3
	НRC 48-64	ВОК-60, В-3, ОНТ-20
<i>Медные сплавы</i>	НВ 60-120	В-3, ОНТ-20
<i>Никелевые сплавы</i>	-	Силинит-Р, ОНТ-20

Марки, физико-механические характеристики и области применения керамических инструментальных материалов (ГОСТ 26630–85)

Марка	Физико-механические свойства			Область применения
	Плотность, $(\text{кг}/\text{м}^3) \cdot 10^{-3}$	Предел прочности при изгибе, МПа $(\text{кгс}/\text{мм}^2)$ не менее	Твердость HRA, не менее	
В-3	4,50–4,70	637 (65)	93	Чистовая и получистовая обработка без ударов закаленных конструкционных сталей HRC_э 30–50, серых ковких и легированных чугунов HB 190–340, графита, цветных металлов на основе меди с высоким скоростями резания (в 2–3 раза большими, чем для наиболее износостойких марок твердых сплавов) с малыми сечениями среза
ВОК-60	4,20–4,30	637 (65)	93	Чистовая и получистовая токарная обработка закаленных конструкционных сталей HRC_э 45–60 и более серых, ковких, легированных чугунов с высокими скоростями резания, с малыми сечениями среза
ВО-13*	3,92–3,94	400 (40,8)	92	Токарная обработка чугуна и стали при получении чистовом и чистовом точении

КЕРАМИКА



Керамические материалы по сравнению с твердыми сплавами обладают меньшей прочностью, но более высокой твердостью (HRA 92–93).

Их преимуществом является доступность и низкая стоимость, благодаря чему они используются как замена вольфрамосодержащих твердых сплавов.

Синтетические сверхтвёрдые материалы

- изготавливаются либо на основе кубического нитрида бора - КНБ, либо на основе алмазов.
- Материалы группы КНБ обладают высокой твердостью, износостойкостью, низким коэффициентом трения и инертностью к железу. Основные характеристики и эффективные области использования приведены в таблице.

Физико-механические свойства СТМ на основе КНБ

Марка сплава	Коэффициент теплопроводности Вт/(м· К)	Предел Прочности при изгибе, МПа	Предел прочности при сжатии, МПа
<i>Композит 01</i>	60	-	2700
<i>Композит 02</i>	-	400-500	3000
<i>Композит 05</i>	-	470	2200
<i>Композит 09</i>	-	700-1000	5000
<i>Композит10</i>	25	1000-1500	2000-4000
<i>Киборит</i>	100	-	2900-3200
<i>Вюрцин</i>	28	800	-
<i>Боразон</i>	100-135	-	-
<i>Амборит</i>	100	570	2730
<i>Сумиборон</i>	38	-	-
*			47

В последнее время к этой группе относятся и материалы, содержащие композицию Si-Al-O-N (торговая марка "сиалон"), в основе которых - нитрид кремния Si_3N_4 .

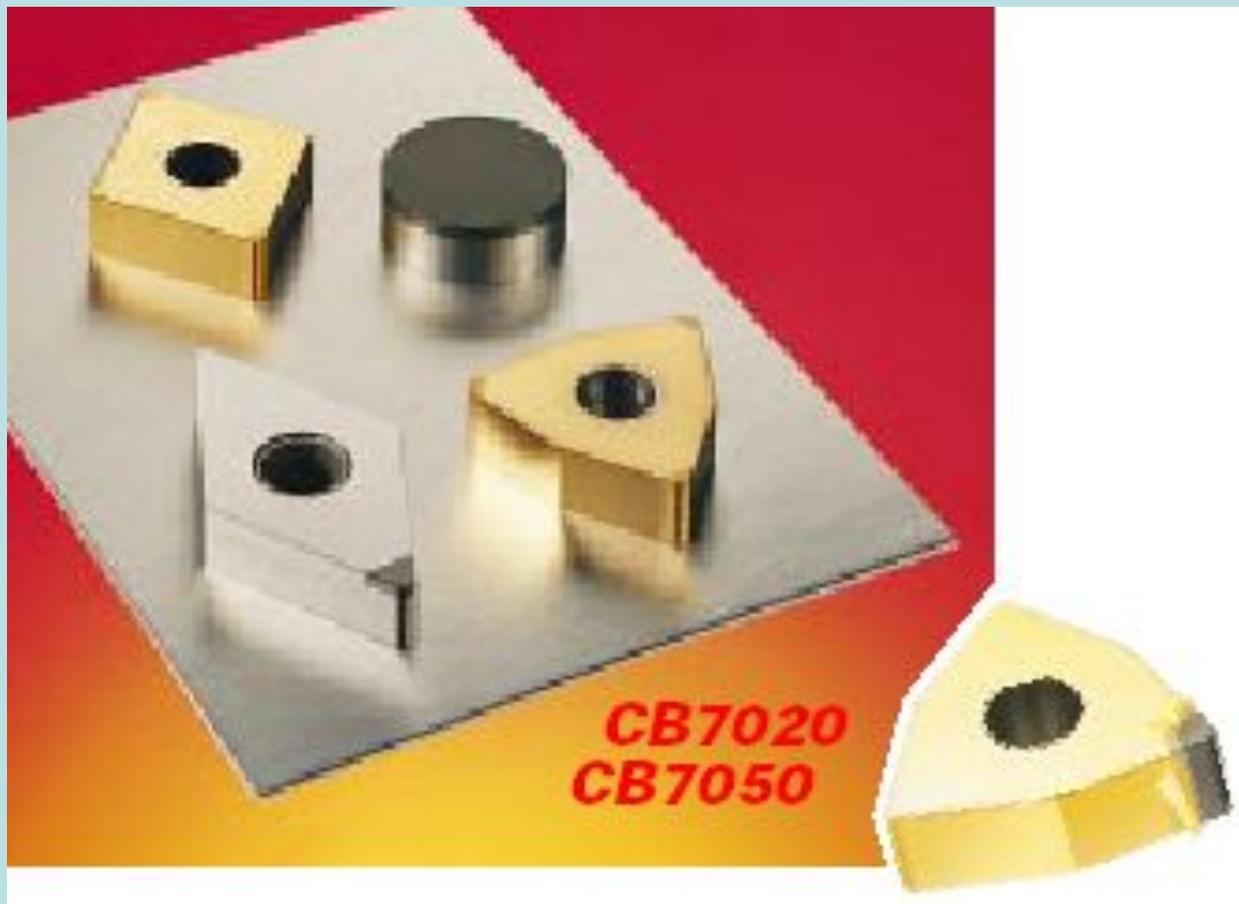
Синтетические материалы поставляются в виде заготовок или готовых сменных пластин.

На основе синтетических алмазов известны такие марки, как АСБ-алмаз синтетический "баллас", АСПК- алмаз синтетический "карбонадо" и другие. Достоинства этих материалов: высокая химическая и коррозионная стойкость, минимальные радиусы закругления лезвий и коэффициент трения с обрабатываемым материалом.

Однако, алмазы имеют существенные недостатки: низкая прочность на изгиб (210-480 МПа); химическая активность к некоторым жирам содержащимся в охлаждающей жидкости; растворение в железе при температурах 750-800 С, что практически исключает возможность их использования для обработки сталей и чугуна. В основном, поликристаллические искусственные алмазы применяются для обработки алюминия, меди и сплавов на их основе.

Нитрид бора (b-NB) по твердости (HV9000) почти не уступает алмазу, но превосходит его по теплостойкости (1200 °С) и химической инертности.

Применяется для обработки труднообрабатываемых материалов: закаленных, цементованных сталей (HRCэ >> 60), твердых сплавов, стеклопластиков и др.



*

Пластины с кубическим нитридом бора

Назначение СТМ на основе кубического нитрида бора

Марка материала	Область применения
Композит 01 (Эльбор Р)	Тонкое и чистовое точение без удара и торцовое фрезерование закалённых сталей и чугунов любой твёрдости, твёрдых сплавов ($Co \Rightarrow 15\%$)
Композит 03 (Исмит)	Чистовая и получистовая обработка закалённых сталей и чугунов любой твёрдости
Композит 05	Предварительное и окончательное точение без удара закалённых сталей ($HRC_{\text{с}} \leq 55$) и серого чугуна, торцовое фрезерование чугуна
Композит 06	Чистовое точение закалённых сталей ($HRC_{\text{с}} \leq 63$)
Композит 10 (Гексанит Р)	Предварительное и окончательное точение с ударом и без удара, торцовое фрезерование сталей и чугунов любой твёрдости, твёрдых сплавов ($Co \Rightarrow 15\%$), прерывистое точение, обработка наплавленных деталей.
Томал 10 Композит 10Д	Черновое, получерновое и чистовое точение и фрезерование чугунов любой твёрдости, точение и растачивание сталей и сплавов на основе меди, резание по литейной корке
* киборит	Предварительное и окончательное точение, в том числе с ударом, закалённых сталей и чугунов любой твёрдости, износостойких

Пластины с искусственным алмазом



CD10 – это пластина с поликристаллической вставкой из искусственного алмаза, а CD1810 – пластина с алмазным покрытием

Алмаз имеет твердость (HV10 000) в 6 раз выше твердости карбида вольфрама (HV1 700). Преимущественно применяют синтетические алмазы (борт, баласс, карбонадо) поликристаллического строения, отличающиеся меньшей хрупкостью и стоимостью, чем монокристаллы.

Алмазным инструментом обрабатывают цветные сплавы, стеклопластики, керамику, обеспечивая при этом низкую шероховатость.

При обработке сталей и чугунов применение алмаза ограничивается его высокой адгезией к железу и, как следствие, низкой износостойкостью.

Абразивные материалы

- Абразивные круги (от латинского *abrasio* — соскабливание) для машиностроения изготавливают из синтетических материалов, так как естественные материалы не обладают постоянством свойств.

Материалы на базе *окиси алюминия* и *карбида кремния* обозначаются цифрами:

нормальный электрокорунд	— 1,
белый электрокорунд	— 2,
хромистый и титанистый электрокорунд	— 3,
монокорунд	— 4,
карбид кремния черный	— 5,
зеленый карбид кремния	— 6.

Маркировка абразивного материала включает еще одну цифру, а также буквы А или С, обозначающие соответственно электрокорунд или карбид кремния.

Например, электрокорунды имеют маркировку 16А, 15А, 14А и др., 25А, 24А и др., 34А, 33А и др., 45А, 44А и др. Карбиды же кремния маркируются так: 64С, 65С и др., 55С, 54С и др.

- В качестве шлифующих материалов применяются также, *синтетические алмазы*, которые выпускают в виде порошков пяти марок АС (алмаза синтетического): АСО, АСР, АСВ, АСК и АСС и в виде микропорошков двух марок — АСМ и АСН. Алмаз АСО применяют для паст и порошков, алмаз АСР, имеющий повышенную прочность, применяют для инструментов на керамической, и металлической связках. Высокопрочный синтетический алмаз АСВ применяют для инструментов на металлической связке, работающих при повышенных ударных нагрузках. В особо тяжелых условиях работы применяют алмаз АСК. Самая высокая прочность у алмаза АСС, используемого для инструментов, правящих шлифовальные круги. Кроме синтетических алмазов, для абразивной обработки используют эльбор -Л, кубонит, а также дробленые естественные *алмазы* типа карбонадо и баласс.

*

Новые инструментальные материалы

- Порошковые быстрорежущие стали
- Высоколегированные сплавы системы Fe—Co—W—Mo с интерметаллидным упрочнением
- Карбидостали

Порошковая технология

- Исходная шихта, состоящая из порошка или тонко измельченной стружки быстрорежущей стали, подвергается холодной формовке и последующему твердофазному спеканию заготовок.
- Спекание производят при 1180 °С в вакууме в течение 3–5 ч. Для уменьшения пористости заготовки подвергают горячей штамповке или прессованию. После этого заготовки подвергаются полному отжигу в защитной среде. Твердость после отжига составляет 269–285 НВ в зависимости от марки стали

- Применение порошковых быстрорежущих сталей для изготовления инструмента не отличается от полученных по традиционной технологии.

примеры применения порошковой быстрорежущей стали (ГОСТ 28393–89)

Марка стали	Стойкость инструмента		Назначение
	Коэффициент стойкости	По сравнению со сталью марки	
P6M5Ф3-МП	1,3–1,8	P6M5Ф3	Фасонные резцы, сверла, развертки, зенкеры, метчики, протяжки, фрезы, долбяки, шеверы для обработки низко- и среднелегированных сталей
	2,0–5,0	X12МФ	Инструменты для холодного и полугорячего выдавливания легированных сталей и сплавов
P7M2Ф6-МП	1,3–3,0	P18	Протяжки, метчики, концевые фрезы, развертки, фасонные резцы для чистовой обработки, среднелегированных конструкционных, коррозионностойких сталей и жаропрочных сталей и сплавов
* P7M2Ф6-МП	3,0–5,0	X12МФ	Инструменты для холодного деформирования (вырубки, высадки, выдавливания) углеродистых и

примеры применения порошковой быстрорежущей стали (ГОСТ 28393–89)

Марка стали	Стойкость инструмента		Назначение
	Коэффициент стойкости	По сравнению со сталью марки	
P6M5K5-МП	1,5–2,0	P6M5K5	Фасонные резцы, сверла, развертки, зенкеры, фрезы долбяки, шеверы для обработки среднелегированных, легированных, коррозионностойких сталей, жаропрочных сталей и сплавов
P9M4K8-МП	1,5–2,0	P9M4K8	Фасонные резцы, сверла, развертки, зенкеры, фрезы (червячные, концевые, дисковые, специальные), долбяки, шеверы для обработки высокопрочных сталей и жаропрочных сталей и сплавов
P12M3K5Ф2-МП *	1,5–2,0	P12M3K5Ф2	Фасонные резцы, сверла, развертки, зенкеры, метчики, протяжки, фрезы (червячные, дисковые, концевые, специальные), долбяки, шеверы для обработки высокопрочных сталей, жаропрочных сталей и сплавов

Высоколегированные сплавы с интерметаллидным упрочнением

- Структура сталей с карбидным упрочнением (стали типа «Р») примерно одинакова для всех групп. После окончательной термообработки (закалка + отпуск) их структура состоит из мартенсита с выделением дисперсных частиц легированных карбидов в основном типа M_6C и MC . Такая структура обеспечивает теплостойкость инструмента до 600–640 °С.

Наиболее высокую теплостойкость (до 700–720 °С) имеют высоколегированные сплавы системы Fe—Co—W—Mo с интерметаллидным упрочнением (марки В4М12К23 и В11М7К23). После окончательной термообработки структура этих сплавов состоит из безуглеродистого (или малоуглеродистого) мартенсита с невысокой твердостью (30–40 HRCэ) и мелкодисперсных интерметаллидов $(Fe,Co)_7(W,Mo)_6$, $Fe_3W_2(Fe_3Mo_2)$, $(Fe,Co,Ni)_7(W,Mo)_6$.

Высокие твердость (HRCэ 68–70) и
теплостойкость (720 °С) обеспечиваются:

- а) более высокими температурами (900–950 °С) начала фазовых превращений, что на 100 °С выше, чем у стали с карбидным упрочнением;
- б) большими количествами упрочняющих фаз, отличающихся высокой дисперсностью (до 2–3 мкм) и равномерностью распределения в основной матрице

Марки и химический состав (масс. %) высоколегированных сплавов с интерметаллидным упрочнением

Марка	Углерод	Хром	Вольфрам	Ванадий	Кобальт	Молибден	Азот	Ниобий
B11M7K23	0,05–0,15	< 0,5	10,5–2,5	0,4–0,8	22,5–24,0	7,00–8,00	–	–
B4M12K23	0,05–0,15	< 0,5	3,8–4,4	0,4–0,8	22,5–24,0	12,00–13,00	–	–

Карбидостали

- Это материалы, состоящие из легированной матрицы и карбидов с массовой долей от 20 до 70 % (преимущественно карбид титана).
- В настоящее время разработаны карбидостали инструментального назначения, содержащие около 30 об. % карбидов или карбонитридов титана, равномерно распределенных в матрице из инструментальной стали. Компактирование их осуществляется методами горячего изостатического прессования и экструзии при температурах твердофазного спекания, не превышающих 1180 °С

Карбидостали после закалки и отпуска обладают высокой твердостью (HRA 86–88) и износостойкостью.

По комплексу свойств они занимают промежуточное положение между твердыми сплавами и быстрорежущими сталями.

Применяются для изготовления режущего инструмента (протяжки, концевые фрезы и др.), а также штампового инструмента.

Режимы термической обработки и основные свойства карбидосталей

Марка стали	Твердость HRC _э после отжига	$T_3, ^\circ\text{C}$	$T_{\text{отп}}, ^\circ\text{C}$	Твердость HRA	$\sigma_{\text{изг}}, \text{МПа}$	Теплостойкость $T, ^\circ\text{C}$
Р6М5К5-КТ20 (КСТ-1)	40–44	1190–1210	540–560	88–89	1400–1700	660–670
6Х3В3МФС-КТ20 (КСТ-2)	38–42	1060–1075	перв. 550–560 втор. 480–520	86–88	2000–2500	640–650