



Учебники КузГТУ

А. А. ХОРЕШОК Л. Е. МАМЕТЬЕВ

А. М. ЦЕХИН А. Ю. БОРИСОВ



**ГОРНЫЕ МАШИНЫ И ОБОРУДОВАНИЕ  
ПОДЗЕМНЫХ ГОРНЫХ РАБОТ**

**РЕЖУЩИЙ ИНСТРУМЕНТ ГОРНЫХ МАШИН**

Кемерово 2012

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего профессионального образования  
“Кузбасский государственный технический университет  
имени Т. Ф. Горбачева”

А. А. ХОРЕШОК Л. Е. МАМЕТЬЕВ  
А. М. ЦЕХИН А. Ю. БОРИСОВ

## **ГОРНЫЕ МАШИНЫ И ОБОРУДОВАНИЕ ПОДЗЕМНЫХ ГОРНЫХ РАБОТ**

### **РЕЖУЩИЙ ИНСТРУМЕНТ ГОРНЫХ МАШИН**

Допущено Учебно-методическим объединением вузов Российской Федерации по образованию в области горного дела в качестве учебного пособия для студентов вузов, обучающихся по специальности “Горное дело” направления подготовки “Горное дело” и по специальности “Физические процессы горного или нефтегазового производства” направления подготовки “Физические процессы горного или нефтегазового производства”

Кемерово 2012

УДК 622.232.72/83.054.54(075.8)

Рецензенты:

Заведующий лабораторией угольной геотехники ИУ СО РАН доктор технических наук В. В. Аксенов

Кафедра “Горно-шахтное оборудование” Юргинского технологического института (филиал) Национального исследовательского Томского политехнического университета (зав. кафедрой, кандидат технических наук А. А. Казанцев)

Горные машины и оборудование подземных горных работ. Режущий инструмент горных машин : учеб. пособие / А. А. Хорешок, Л. Е. Маметьев, А. М. Цехин, А. Ю. Борисов ; КузГТУ. – Кемерово, 2012. – 288 с.

ISBN 978-5-89070-853-3

Рассматриваются требования к конструкции рабочих инструментов, условия и область их применения, вопросы моделирования процесса разрушения горных пород. Даются понятия о механизме изнашивания режущего инструмента при эксплуатации выемочных горных машин, приводятся сведения о технологии изготовления и проведения приемо-сдаточных испытаний.

Учебное пособие подготовлено для студентов специальности 130400.65 “Горное дело”, специализации № 9 “Горные машины и оборудование”, по дисциплинам: “Горные машины и оборудование подземных горных работ”, “Конструирование горных машин и оборудования”, “Эксплуатация горных машин и оборудования” и по дисциплине “Горные машины и оборудование” для специализаций: № 1 “Подземная разработка пластовых месторождений”, № 3 “Открытые горные работы”, № 4 “Маркшейдерское дело”, № 5 “Шахтное и подземное строительство”, № 6 “Обогащение полезных ископаемых”, № 12 “Технологическая безопасность и горно-спасательное дело”.

УДК 622.232.72/83.054.54(075.8)

© Хорешок А. А., Маметьев Л. Е.,  
Цехин А. М., Борисов А. Ю., 2012

ISBN 978-5-89070-853-3

© КузГТУ, 2012

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Современная горнодобывающая промышленность остро нуждается в высокопроизводительных, надежных и безотказных машинах, агрегатах и комплексах, характеризующихся большим сроком службы, простотой и легкостью управления, малой продолжительностью ремонта и быстротой восстановления рабочих функций.

Производительность горной машины обуславливается двумя основными параметрами – ее энерговооруженностью и удельными энергозатратами процесса разрушения породы (угля). За последние 30 лет энерговооруженность горных машин существенно возросла. Например, для очистных комбайнов, работающих на мощных и средней мощности пластах, она увеличилась в 15–20 раз. Решив техническую задачу с первым параметром, конструкторы вынуждены были обратить особое внимание на снижение энергозатрат процесса разрушения породы.

Это, естественно, вызвало необходимость разработки новых конструкций режущих инструментов, материалов для их изготовления, обоснования рациональных параметров резцов, позволяющих снизить удельные энергозатраты, повысить их прочность и стойкость. Например, параметр “вылет резца” для радиальных резцов изменялся вслед за ростом энерговооруженности очистных комбайнов вначале с 65 до 80 мм, а в последние годы уже с 80 до 100 мм.

Правильный выбор режущего инструмента, схемы его расстановки и крепления на исполнительном органе позволяет увеличить производительность горной машины, обеспечивает снижение расхода резцов, сокращает время на их замену. Новый режущий инструмент имеет более широкую область применения: резцы очистных комбайнов до  $f = 6$ , резцы проходческих комбайнов и бурильных машин  $f \leq 8$ .

При проектировании режущего инструмента в последнее время учтен многолетний опыт эксплуатации этого вида инструмента на горных машинах.

Современные резцы имеют рациональные параметры, что обеспечивает значительное уменьшение удельных энергозатрат процесса разрушения породы (угля).

Материал учебного пособия базируется на отечественных стандартах для горного режущего инструмента и твердосплавных материалов, содержит подробное описание современных конструк-

ций режущего инструмента горных машин. Рассмотрены вопросы взаимодействия инструмента с разрушаемым массивом и модели механического разрушения породы, описывающие этот процесс. Приведены конструктивные, геометрические элементы и параметры современного режущего инструмента, поставляемого на горные предприятия РФ ведущими отечественными и зарубежными заводами, фирмами, концернами.

Рассмотрены механизм, формы износа инструмента, а также технические решения, позволяющие повысить его стойкость. Приведены методики испытания горного режущего инструмента на прочность и перспективные технологические процессы его изготовления, позволяющие повысить его надежность.

На основе общепринятых методик дана оценка удельного расхода режущего инструмента горных машин и условий его эксплуатации в конкретных горно-геологических условиях.

Учебное пособие подготовлено в соответствии с новой редакцией Федерального государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования, составлено в соответствии с рабочими программами дисциплин: “Горные машины и оборудование подземных горных работ”, “Конструирование горных машин и оборудования”, “Эксплуатация горных машин и оборудования”, “Горные машины и оборудование”, поможет студенту правильно выбрать режущий инструмент при курсовом и дипломном проектировании.

## **1. НАЗНАЧЕНИЕ РАБОЧИХ ИНСТРУМЕНТОВ И ТРЕБОВАНИЯ К НИМ**

Рабочий инструмент непосредственно выполняет ту работу, для которой создана горная машина и ее исполнительный орган – разрушает уголь или горную породу.

От рабочего инструмента в значительной степени зависит производительность горных машин и труда рабочих, износ и долговечность машин, расход энергии, качество и себестоимость добываемой продукции.

Рабочие инструменты горных машин эксплуатируются в тяжелых условиях: переменные по характеру и величине нагрузки, пиковые значения которых в 5–10 раз превышают средние значения; из-

менчивые свойства разрушаемых углей и пород; повышенные температуры и др. Повышение производительности и энерговооруженности горных машин ведет к увеличению нагрузок на рабочие инструменты, что предъявляет все возрастающие требования к их прочности и стойкости.

Контроль и наблюдение за состоянием рабочих инструментов во время работы, как правило, затруднительны. Поэтому рабочие инструменты горных машин должны удовлетворять следующим требованиям:

- эффективно разрушать уголь и горную породу с наименьшими затратами энергии;
- обладать достаточной прочностью и износостойкостью;
- обеспечивать высокую сортность добываемого полезного ископаемого (угля) и минимальное пылеобразование;
- иметь форму, размеры и геометрические параметры, соответствующие механике разрушения пород, конструкции исполнительного органа и кинематике его работы;
- иметь простое и надежное закрепление на исполнительном органе, исключая потерю рабочего инструмента и обеспечивающее быструю замену его при износе;
- быть технологичными в изготовлении и восстановлении;
- иметь невысокую стоимость изготовления и эксплуатации.

## **2. УСЛОВИЯ И ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ГОРНОГО РАБОЧЕГО ИНСТРУМЕНТА**

В угольной отрасли при добыче полезных ископаемых основные технологические процессы связаны с разрушением горного массива. В настоящее время одним из основных способов разрушения горного массива при проведении подготовительных выработок является механический способ. Область его применения с каждым годом расширяется в связи с созданием более совершенных угледобывающих [1, 2, 3] и проходческих машин [4], а также механизированных комплексов [5]. Поэтому правильная оценка эффективности разрушения углей [6, 7, 8] и вмещающих пород [9] рабочими инструментами является необходимым звеном в решении задач горного производства, в частности определения таких параметров, как производительность и нагруженность горных машин.

В настоящее время в Кузнецком угольном бассейне разрабатываемые пласты распределяются по мощности следующим образом [9]:

- 73 % – средней мощности (1,8–3,5 м);
- 17 % – мощностью 3,51–5,0 м;
- 10 % – мощностью более 5,0 м.

Анализ строения угольных пластов Кузбасса показал, что 38,4 % пластов – это чисто угольные или угольные с присечками аргиллитов, соизмеримых по разрушаемости с углем. Отработка этих пластов не вызывает осложнений при эксплуатации горного инструмента. Около 35 % пластов включают прослойки алевролитов и песчаников. Остальные пласты насыщены твердыми включениями. То есть 61,6 % пластов относятся к трудноразрушаемым. При отработке этих угольных пластов удельный расход резцов (шт./1000 т) в 10–13 раз [10, 11] превышает этот параметр – средний по Кузбассу. Большой удельный расход резцов значительно увеличивает себестоимость 1 тонны угля, снижает производительность горной машины из-за вынужденных простоев по замене инструмента.

По пределу прочности на сжатие углевмещающие породы могут быть разделены на шесть классов (табл. 2.1) [9]. В среднем по Кузбассу коэффициент крепости присекаемых пород составляет  $f = 4-7$  (по шкале М. М. Протодяконова).

Таблица 2.1

Классификация горных пород Кузнецкого бассейна  
по пределу прочности при сжатии

Класс	Характеристика породы по прочности	Предел прочности при сжатии $\sigma_{сж}$ , МПа	Доля в исследованных массивах, %
I	Весьма прочные	> 150	4
II	Прочные	90–150	10
III	Выше средней прочности	70–90	20
IV	Средней прочности	40–70	41
V	Слабые	20–40	18
VI	Очень слабые	< 20	7

Большая часть угольных пластов Кузбасса характеризуется сложным строением, обусловленным наличием прослоек горных пород, которые представлены аргиллитами, алевролитами и песча-

никами. Алевролиты А1, А2 имеют крупнозернистую структуру со слюдистокремнистоглинистым цементом между зернами. А3 – мелкозернистую, а А4 – тонкозернистую структуру с преобладанием глинистого цемента [12]. В табл. 2.2 показана прогнозная характеристика пласта Толмачевского и вмещающих пород.

Таблица 2.2

## Характеристика пласта Толмачевского

Литологическая колонка	№ слоя	Описание пород	Сопротивляемость		Объемная масса, т/м <sup>3</sup>	Коэффициент	
			сжатию $\sigma_{сж}$ , МПа	растяжению $\sigma_p$ , МПа		разрыхления $K_p$	крепости $f$
	1	Основная кровля: песчаник. $m = 6-8$ м	60	6,9	2,5	2,2	6,0
	2	Непосредственная кровля: алевролит. $m = 2-6$ м	35-40	3,5	2,5	2,0	3,5-4,0
	3	Ложная кровля: алевролит. $m = 0,1$ м	15-20	1,0	1,8	1,8	1,5-2,0
	4,6	Уголь $m$ : 4 = 1,15 м; 6 = 0,95 м	13	0,9	1,28	1,4	1,3
	5	Прослойка алевролита. $m = 0,30$ м	20-30	3,0	2,3	1,8	3,0
	7	Ложная почва: алевролит. $m = 0,05$ м	15-25	1,0	2,0	1,7	1-1,5
	8	Почва пласта: алевролит. $m = 4-6$ м	35-50	3,7-4	2,5	1,8	3,5-4,0

Установлено, что аргиллиты имеют размер зерен  $d = 0,001–0,06$  м, алевролиты –  $d = 0,01–0,08$  мм, мелко- и среднезернистый песчаник –  $d = 0,01–0,6$  мм, крупнозернистый песчаник –  $d = 0,6–1$  мм, а также колчедан –  $d = 0,3–3$  мм [13, 14]. То есть увеличение размера зерен приводит к возрастанию прочностных показателей горных пород, а увеличение процентного содержания цементного заполнителя, наоборот, уменьшает эти показатели. Средние показатели физико-механических свойств присечек и включений приведены в табл. 2.3.

Таблица 2.3

## Физико-механические свойства присечек и включений

Прослойки, включения	Предел прочности на сжатие $\sigma_{сж}$ , МПа	Предел прочности на растяжение $\sigma_r$ , МПа
Аргиллиты	20,5–30,1	2,9–3,6
Алевролиты	25,5–46,5	3,9–5,8
Песчаники	53,0–80,6	5,6–8,2
Твердые включения	57,0–70,0	6,0–7,3

В этом плане на кафедре горных машин и комплексов Кузбасского государственного технического университета имени Т. Ф. Горбачева (КузГТУ) выполнен цикл научно-исследовательских работ, позволяющих описать механику и установить критерии хрупкого разрушения как присечек, так и твердых включений инструментом горных машин. Без знания механизма взаимодействия инструмента с породой невозможно обоснованно выбирать рациональные геометрические параметры как инструмента, так и исполнительного органа горной машины.

### 3. МЕХАНИКА РАЗРУШЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД РАБОЧИМ ИНСТРУМЕНТОМ ГОРНЫХ МАШИН

На кафедре горных машин и комплексов КузГТУ проведен анализ современных теорий разрушения горных пород инструментом очистных, проходческих комбайнов и разработаны новые математические модели процесса взаимодействия рабочего инструмента с разрушенным массивом. Эти модели рассматривают процессы с позиций зарождения и развития трещин под лезвием горных инструментов, приводящих к разрушению породы. При этом порода в моделях представлена структурой, состоящей из зерен, связанных

между собой “цементирующим” веществом. Разработанные модели зернистых пород позволили исследовать процессы зарождения, прорастания, слияния микротрещин по границам зерен и установить влияние геометрических параметров горных пород инструментов на процесс взаимодействия инструмента и породы.

Так как горная порода имеет зернистую структуру, то развитие микротрещин происходит по границам зерен породы. Исследования показали [13], что разрушение горных пород осуществляется по “цементирующему” веществу, связывающему зерна горных пород. Чтобы убедиться в этом, достаточно взглянуть на поверхность разрушения породы. Она имеет шероховатый вид с углублениями и выступами. Это подтверждает тот факт, что разрушение происходит именно по связующему зерна материалу, причем при любом типе инструмента.

Анализ результатов моделирования контактного взаимодействия инструментов различной геометрической формы с горными зернистыми породами показал, что геометрическая форма инструментов, упругие характеристики цемента, скрепляющего зерна, материал и размеры зерен оказывают существенное влияние на формирование микротрещин по границам зерен породы. Чем больше размер зерна, тем больше прочность породы.

### **3.1. Моделирование методами разрывных смещений и фотоупругости**

Раскрытие и развитие микротрещин в горных породах от внешних усилий, создаваемых горными инструментами, моделировалось на основе методов: фиктивных нагрузок и разрывных смещений. Эти методы позволяют определить раскрытие, смещение берегов макротрещины и установить напряжения у вершины трещины в зависимости от воздействия инструментов на горную породу.

Схемы начала процесса трещинообразования [13] при упруго-пластическом внедрении острого (рис. 3.1, *а, б*) и тупого (рис. 3.1, *в, г*) инструментов показывают, что под их лезвием образуется ядро 1, зона пластической деформации породы и система микротрещин: конических, осевых 2, радиальных 3 и боковых 4.

Инструмент (рис. 3.1, *а, б*) с небольшим углом заострения  $\varphi = 30\text{--}45^\circ$  при нагружении формирует в породе осевую трещину 2 вглубь породы, при этом ее направление совпадает с направлением

движения инструмента. При внедрении в породу острого инструмента под режущей кромкой зона пластической деформации (ядро) имеет небольшие размеры  $1$ , поэтому микротрещина формируется практически под лезвием инструмента. Увеличение нагрузки приводит к устойчивому росту этой трещины. При снятии нагрузки (рис. 3.1, б) осевая трещина закрывается и возникают боковые трещины, которые выходят на поверхность и приводят к сколу породы. При внедрении в породу тупого инструмента ядро  $1$  имеет большие размеры, поэтому осевая трещина  $2$  начинает формироваться на границе ядра и ненарушенной зернистой горной породы (рис. 3.1, в).

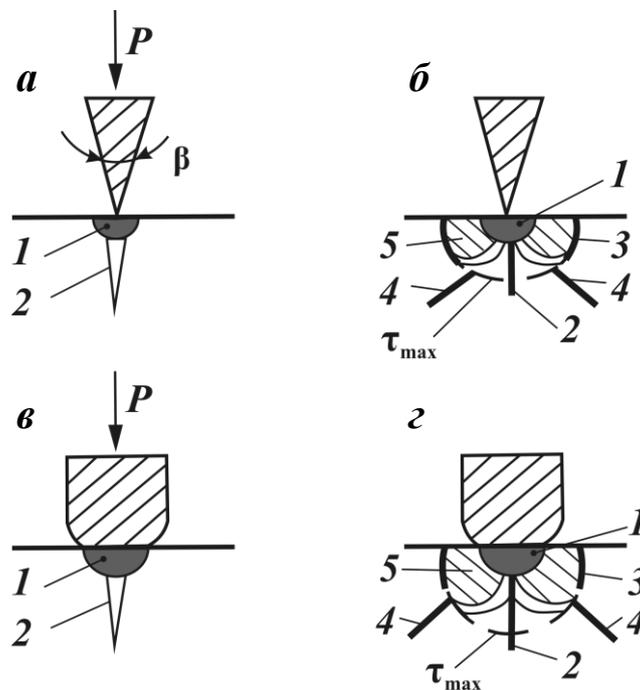


Рис. 3.1. Схемы трещинообразования:  
а, в – при нагружении; б, г – при разгрузке

При снятии нагрузки (рис. 3.1, г) осевая трещина  $2$  закрывается и образуются боковые  $3$  и радиальные  $4$  трещины. Так как под лезвием напряжения в породе достигают большой величины, материал породы дробится, уплотняется. Ядро уплотнения является механическим продолжением горного инструмента. Объем ядра после разрушения больше, чем объем до разрушения. В этой связи материал ядра давит в стороны, образуются боковые трещины и порода в зонах  $5$  скалывается.

Исследования методом фотоупругости, проведенные на кафедре горных машин и комплексов КузГТУ, показали, что боковые трещины (рис. 3.1) совпадают по траекториям с максимальными ка-

сательными напряжениями ( $\tau_{\max}$ ). На рис. 3.2 [15, 16, 17] цифры соответствуют порядковому номеру полосы изохромы, который пропорционален  $\tau_{\max}$ . Из рисунка видно, что чем ближе изохрома к лезвию инструмента, тем больше  $\tau_{\max}$ , и в результате под режущей кромкой инструмента в породе образуется ядро, состоящее из мелкодисперсных фракций. Как показывают результаты исследований, до 95 % пыли, которую необходимо подавлять, формируется именно в ядрах при взаимодействии горного инструмента с породой. Поэтому на всех современных горных машинах, разрушающих породу, форсунки для подавления пыли водой устанавливаются как можно ближе к инструменту, к месту зарождения ядра.

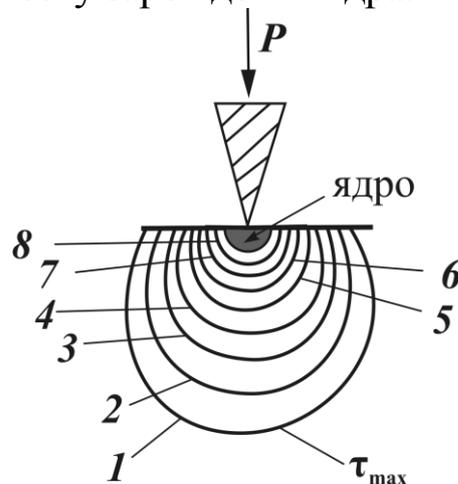


Рис. 3.2. Изохромы максимальных касательных напряжений ( $\tau_{\max}$ )

Исследования взаимодействия тангенциальных поворотных резцов (ТПР) с породой, выполненные в Кузбассе [17], подтверждают результаты моделирования. Разрушение породы под “конусом” начинается на глубинах гораздо меньших, чем под “эллипсоидом”, и соответственно за одно нагружение под “конусом” будут разрушаться меньшие объемы породы. Однако необходимо учитывать, что для разрушения породы “эллипсоидами” требуются большие усилия и затраты энергии (рис. 3.3, 3.4).

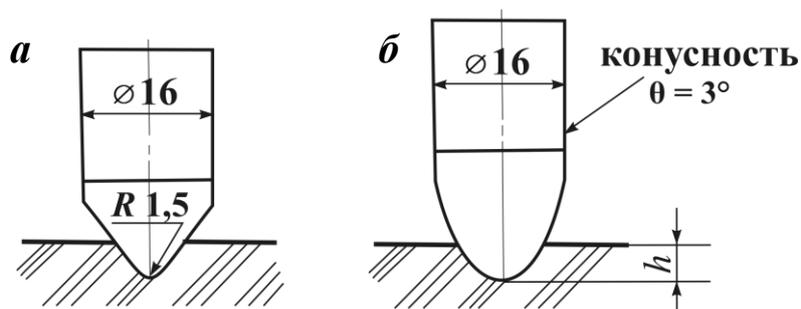


Рис. 3.3. Конусная (а) и эллипсоидная (б) твердосплавные вставки

Вместе с этим “эллипсоидные” вставки имеют большую длину дуги контакта с породой, что позволяет “пропустить” через границу вставка – порода значительно большую энергию. В связи с ростом энерговооруженности современных очистных и проходческих комбайнов конструкторы инструмента изменили свои взгляды на процесс взаимодействия инструмента с породой. В настоящее время предпочтение отдается именно “тупому” инструменту как более прочному и надежному.

Анализ полученных в результате моделирования зависимостей показывает, что:

- чем острее инструмент, то есть чем меньше угол заострения  $\beta$ , тем меньше необходимо приложить усилие для роста устойчивой трещины;

- зависимость  $P = f(\beta)$  имеет параболический характер распределения (рис. 3.5). Возрастание угла заострения инструмента  $\beta$  от  $25^\circ$  до  $45^\circ$  увеличивает нагруженность инструмента  $P$  в 2,18–3,49 раза.

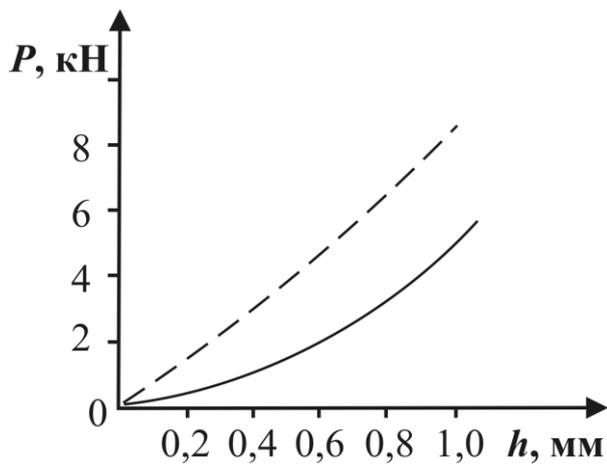


Рис. 3.4. Зависимость усилия внедрения  $P$  от глубины  $h$  для вставок в форме:  
— конуса; -- эллипсоида

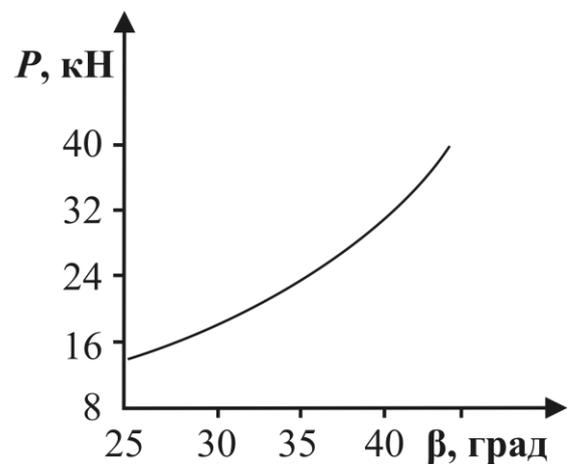


Рис. 3.5. Зависимость усилия внедрения  $P$  от угла заострения инструмента  $\beta$

При разрушении хрупких пород процесс резания начинается с образования, как было отмечено выше, уплотненного ядра (рис. 3.6).

Далее формируется система микротрещин, что сопровождается скалыванием мелких элементов породы 1, 2, 3. Заканчивается цикл формированием, раскрытием макротрещины и скалыванием крупного элемента породы 4 в направлении свободной поверхности 1. Макро- и микротрещины показаны на рис. 3.6 пунктирными линия-

ми. Заштрихованная часть диаграммы характеризует энергию, затраченную на процесс резания, а незаштрихованная – ту часть энергии, которая израсходована ранее на напряженно-деформированное состояние породы [17].

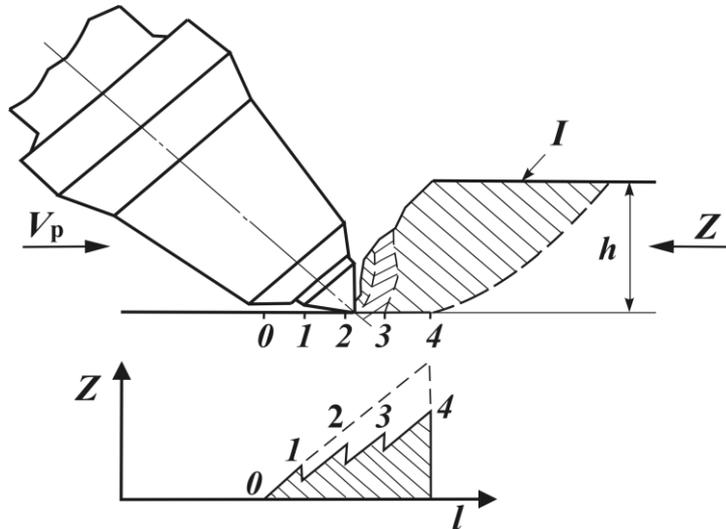


Рис. 3.6. Схема резания породы режущим инструментом:  $Z$  – усилие резания;  $h$  – глубина резания;  $l$  – расстояние, пройденное резцом за цикл скалывания породы

На основе экспериментальных данных [17] оценен энергетический баланс, например, процесса резания угля:

- 50–78 % – образование ядра;
- 20–46 % – трение резца об уголь;
- 1 % – образование трещины.

Таким образом, подавляющая часть энергии при резании углей и пород расходуется на образование ядра. Уменьшение размера ядра, естественно, уменьшает затраты энергии и повышает эффективность процесса резания.

Как видно из рис. 3.7, с увеличением угла резания  $\delta$  радиального резца происходит увеличение объемов уплотненных ядер, так как при  $\delta > 90^\circ$  макротрещина направлена вглубь породы, что затрудняет ее выход на свободную поверхность и скалывание породы. Поэтому по ГОСТ Р 51047-97 [18] радиальные резцы РО-40, РО-65, РО-80, РО-100, РПП имеют угол резания  $\delta = 80\text{--}90^\circ$  и армируются пластинками твердого сплава с клиновидной формой передней грани.

Опыт эксплуатации резцов с клиновидной передней гранью показал, что этот инструмент разрушает присечки породы с меньшими энергоемкостью и пылеобразованием, а также обеспечивает большую

стойкость и меньший износ инструмента. Эти ощутимые преимущества объясняются отличием в механике разрушения породы резцов, существовавших ранее, с плоской передней гранью, и резцов с клиновидной формой грани. Клиновидная передняя поверхность замещает часть объема ядра, улучшает формирование макротрещины, скалывание породы.

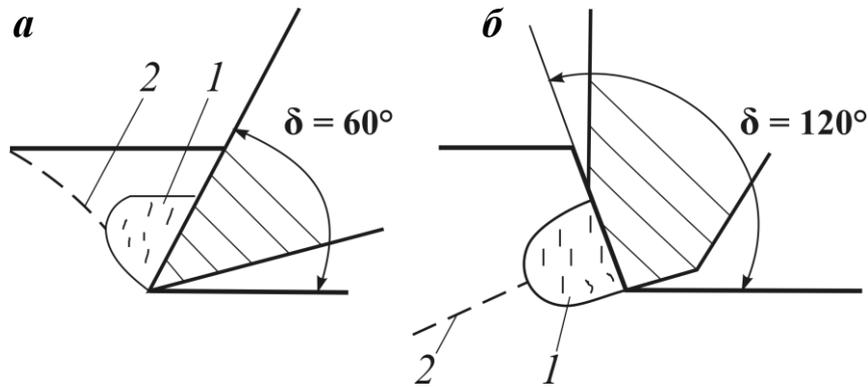


Рис. 3.7. Влияние угла резания на формирование ядра:  
1 – ядро; 2 – макротрещина

Анализ результатов моделирования [14] показал, что перед лезвием инструмента в породе по границам зерен образуется вертикальная сеть микротрещин, расположенных параллельно направлению движения инструмента (рис. 3.8, а, б).

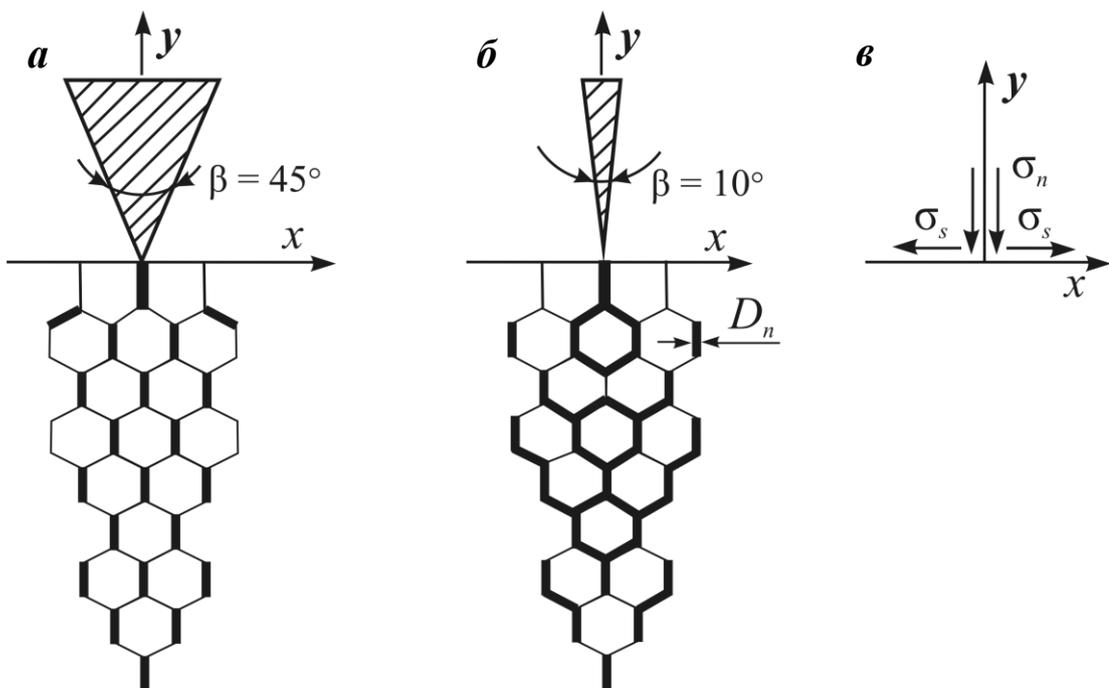


Рис. 3.8. Раскрытие микротрещин по границам зерен породы

Данные микротрещины формируют осевую трещину. Характер и величина раскрытия микротрещин по границам зерен зависят от соотношения нормальных  $\sigma_n$  и касательных  $\sigma_s$  составляющих напряжений на границе контакта инструмента с породой (рис. 3.8, в).

Если  $\sigma_n > \sigma_s$ , то зерна смещаются вглубь породы и раскрытие микротрещин по границам зерен происходит на некотором расстоянии от свободной поверхности ( $x$ ). Если  $\sigma_n < \sigma_s$ , то раскрытие микротрещин осуществляется непосредственно от свободной поверхности. При  $\sigma_n = 0$ , а  $\sigma_s > 0$  происходит полное раскрытие микротрещин по границам зерен. Как показали результаты расчетов, при размере зерен  $d = 1$  мм, ширине цемента между зернами  $h = 0,1d$  и при углах заострения инструментов  $\beta = 5-45^\circ$  раскрытие микротрещин по нормали  $D_n$  было в диапазоне от  $3,5448 \cdot 10^{-3}$  до  $4,0247 \cdot 10^{-9}$  см.

Величина раскрытия микротрещин по границам зерен зависит от упругих свойств цементного заполнителя и размера зерна. Увеличение размера зерен увеличивает раскрытие микротрещин. Моделирование показало, что чем меньше угол заострения инструмента, тем больше длина осевой трещины. При внедрении в породу тупого инструмента (рис. 3.8, а)  $\sigma_n > \sigma_s$ , микротрещины образуются только слева и справа от зерен и смещаются вглубь породы, что сопровождается образованием ядер больших размеров. Если инструмент острый то, как видно из рис. 3.8, б, происходит полное раскрытие микротрещин по всему периметру зерна. При этом длина осевой трещины (при  $\beta = 5-10^\circ$ ) достигает максимальных значений  $l = (7-9) d$ . Естественно, что использование инструментов с углами заострения  $\beta = 5-20^\circ$  чревато поломкой лезвия инструмента. Поэтому на практике для разрушения породы используются инструменты с углом  $\beta > 30^\circ$ . Схема взаимодействия лезвия инструмента с породой, изображенная на рис. 3.8, а, имеет следующие недостатки:

- имеется только одна свободная поверхность ( $x$ ), куда можно скалывать породу, поэтому происходит только поверхностное разрушение;
- процесс разрушения породы сопровождается образованием больших по объемам ядер, что вызывает повышенное пылеобразование;
- с увеличением угла заострения  $\beta$  возрастает энергоемкость процесса  $H_w$  и усилие  $P$ , требуемое для внедрения инструмента в породу (рис. 3.9), а также уменьшается длина микротрещин ( $l = 2,5 d$  при  $\beta = 30^\circ$  и  $l = 0,6 d$  при  $\beta = 45^\circ$ ) [13, 14].

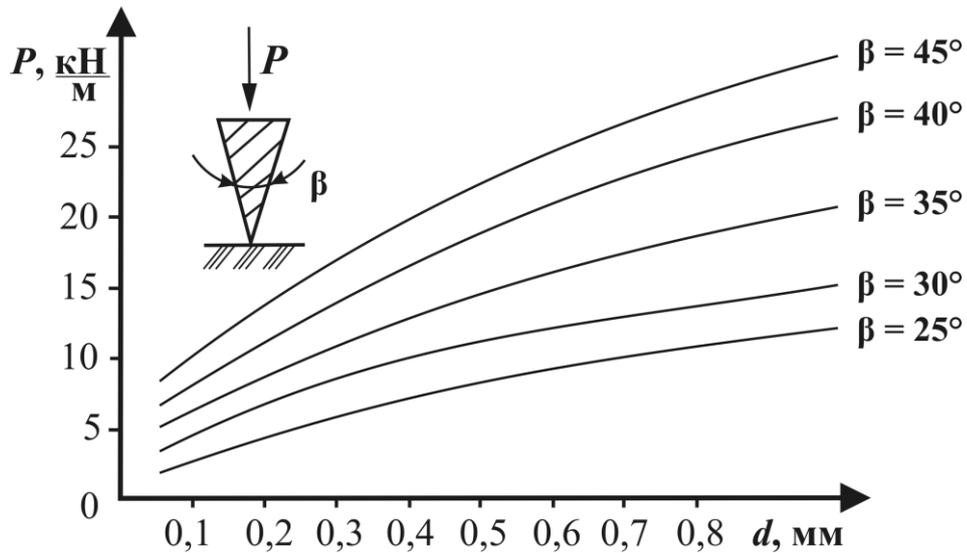


Рис. 3.9. Зависимость усилия на лезвии инструмента от размера зерна  $d$  и угла заострения инструмента  $\beta$

Моделирование разрушения горных пород рабочим инструментом горных машин показало, что для устранения этих недостатков необходимо, чтобы сеть микротрещин, формируемая перед лезвием инструмента, “имела выход” на вторую, дополнительную, свободную поверхность. Это позволяет интенсифицировать процесс раскрытия микротрещин по границам зерен породы.

### 3.2. Моделирование методом теории упругости

Для расчета траекторий развития макротрещин под лезвием инструмента использовался метод фиктивных нагрузок граничных интегральных уравнений теории упругости [13, 14]. Для хрупких материалов, находящихся в сложном напряженном состоянии с разными пределами прочности на растяжение и сжатие, наилучшее описание разрушения осуществляется с применением обобщенного критерия прочности  $\chi\sigma_i + (1 - \chi)\sigma_1 \leq \sigma_p$  (Писаренко – Лебедева), где  $\chi = \sigma_p/\sigma_{сж}$  – показатель хрупкости;  $\sigma_i$  – интенсивность напряжений;  $\sigma_1$  – главные напряжения;  $\sigma_p$  и  $\sigma_{сж}$  – пределы прочности породы на одноосное растяжение и сжатие. Этот критерий позволяет описывать такие механизмы разрушения, как: отрыв, сдвиг, сочетание отрыва и сдвига.

На кафедре горных машин и комплексов КузГТУ разработаны модели, позволяющие подробно описать картину формирования напряженного состояния разрушаемой породы под лезвием инструмента горных машин, выявить при этом зоны главных напряжений в

породе и закономерности развития системы микротрещин в макротрещину, которая, в конечном итоге, приводит к разрушению породы.

На рис. 3.10, *а*, *б* показаны распределения интенсивности  $\sigma_i$  напряжений в породе при воздействии на ее поверхность лезвия инструмента, без его проникновения в породу. Анализ напряженного состояния породы показывает, что:

- под лезвием расположено ядро сжатия ( $\sigma_1 < 0, \sigma_2 < 0, \sigma_3 < 0$ );
- зона чистого растяжения ( $\sigma_1 > 0, \sigma_2 > 0, \sigma_3 > 0$ ) под лезвием отсутствует;
- порода под лезвием разрушается в первую очередь в зонах, сочетающих растяжение ( $\sigma_1 > 0, \sigma_2 > 0$ ) и сжатие ( $\sigma_3 < 0$ );
- макротрещина формируется при условии  $\sigma_1 > 0, \sigma_2 < 0$ .

На рис. 3.10, *а*, *б* приведены траектории прорастания макротрещин в сторону свободных поверхностей (*I* и *II*), штриховой линией показано направление роста трещины, а разрушенная часть породы представлена заштрихованной областью [13, 14].

Как видно из рис. 3.10, *а*, при наличии только одной свободной поверхности скалывается лишь небольшой объем породы, ограниченный макротрещиной и открытой свободной поверхностью (*I*). При этом процесс дробления породы явно преобладает над скалыванием, что сопровождается большой энергоемкостью  $H_w$ , интенсивным пылеобразованием  $\omega_{-1}$  и требует более высоких усилий ( $P$ ) на внедрение инструмента в породу.

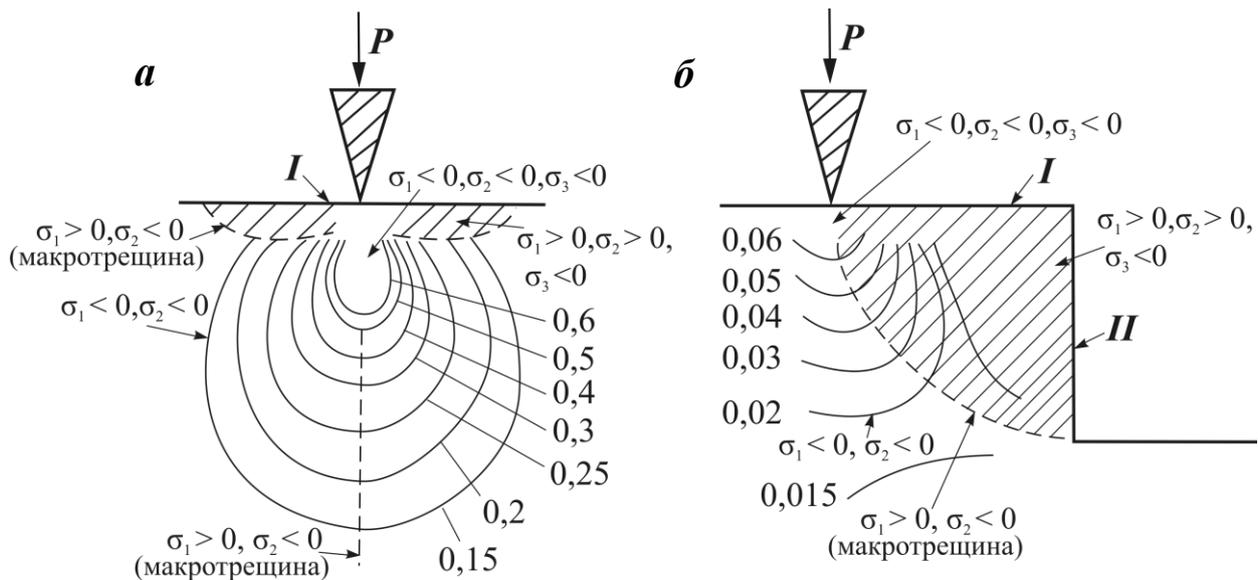


Рис. 3.10. Направление роста макротрещин: *а* – с одной свободной поверхностью (*I*); *б* – с двумя свободными поверхностями (*I* и *II*)

Как видно из рис. 3.10, б, при наличии второй свободной поверхности (II) изолинии  $\sigma_i$  “разворачиваются” в ее направлении, макротрещина выходит на ее поверхность. При этом объем разрушенной породы существенно возрастает. Заштрихованная разрушаемая область ограничена с одной стороны макротрещиной, а с другой – свободными поверхностями I и II.

Таким образом, наличие второй свободной поверхности ускоряет процесс развития системы микротрещин в макротрещину, который сопровождается меньшими энергоемкостью  $H_w$ , усилием  $P$  и пылеобразованием  $\omega_{-1}$ .

#### 4. КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

До 70-х годов прошлого столетия шнеки очистных комбайнов, коронки проходческих комбайнов, расширители бурильных машин оснащались только радиальными резцами.

Первый тангенциальный поворотный резец (ТПР) запатентован в 1967 г. в США (“Clode Krekeler”) [19] по поданной заявке в 1965 г. (рис. 4.1).

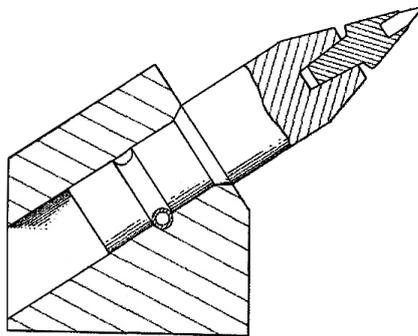


Рис. 4.1. Тангенциальный поворотный резец

На момент создания конструкция резцов значительно отличалась от производимых в настоящее время.

Исследования, выполненные в 70-х в ИГД им. А. А. Скочинского и КузПИ, показали, что применение тангенциальных резцов является более эффективным с точки зрения энергоемкости разрушения и надежности по сравнению с радиальными.

ИГД им. А. А. Скочинского, ЦНИИподземмашем совместно с заводами угольного машиностроения был разработан типоразмерный ряд тангенциальных резцов. В 1976 г. на Копейском и Краснолучском машзаводах освоен выпуск первых моделей резцов такого типа: РКС-1 и РКС-2, выполненных в виде цилиндров, что обеспечи-

вало возможность вращения инструмента в процессе резания и получение эффекта его “самозатачивания” о разрушаемую породу.

#### 4.1. Определения, обозначения по конструкциям резцов

Согласно ГОСТ Р 51047-97 [18] применяют следующие термины с соответствующими определениями и обозначениями:

Резец – рабочий инструмент очистных и проходческих комбайнов, состоящий из державки и закрепленной в ней (на ней) армирующей вставки или пластины (твердосплавных изделий).

Твердосплавные вставки – изделия, изготовленные из твердых сплавов различных марок по специальной технологии.

Радиальный резец (обозначение типа – Р) – резец, державка которого установлена перпендикулярно к поверхности резания (перпендикулярно к плоскости, проходящей через вектор скорости резания). Типовые признаки описаны ниже.

Тангенциальный резец (обозначение типа – Т) – резец, державка которого установлена наклонно к поверхности резания (наклонно к плоскости, проходящей через вектор скорости резания). Типовые признаки описаны ниже.

Тангенциальный неповоротный резец (обозначение исполнения – ТН) – резец, в процессе работы неподвижный относительно продольной оси державки.

Тангенциальный поворотный резец (обозначение исполнения – ТП) – резец, в процессе работы подвижный относительно продольной оси державки (продольной оси гнезда резцедержателя).

Конструктивный вылет резца  $l$  – расстояние от опорной поверхности или места заделки резца в резцедержатель до перпендикуляра к продольной оси резца, проведенного через вершину режущей кромки.

Тангенциальный вылет резца  $m$  – расстояние от вершины режущей кромки до продольной оси державки.

Длина хвостовика  $l_1$  – длина части резца, закрепленной в гнезде резцедержателя.

Прямоугольный хвостовик – хвостовик, имеющий прямоугольное сечение шириной  $H$  и толщиной  $B$ .

Круглый хвостовик – хвостовик, имеющий круглое сечение, определяемое диаметром  $D$ .

Угол заострения резца  $\beta$  – угол между передней и задней поверхностями режущей части резца в продольной плоскости его симметрии.

Задний конструктивный угол  $\alpha$  – угол между задней поверхностью режущей части резца и перпендикуляром к продольной оси резца в продольной плоскости его симметрии.

Режущая способность резца  $H_w$  – удельная энергия резания эталонной породы или эталонного искусственного материала в регламентированном режиме. Параметры регламентированного режима резания – толщина  $h$  и ширина  $t$  стружки после прохода резца.

Прочность соединения армирующей вставки с державкой – сила сдвига (отрыва), установленная при разрушении соединения.

Прочность резца – сила разрушения хотя бы одного элемента резца, установленная при нагружении резца нагрузкой, указанной в технических условиях (ТУ).

Относительная взрывобезопасность резца – длина пути резания испытуемым резцом эталонной породы в заданном режиме до взрыва эталонной метановоздушной среды.

#### 4.2. Классификация, основные параметры и размеры резцов

Резцы в соответствии с их конструктивными признаками (табл. 4.1) изготавливают следующих типов ГОСТ Р 51047-97 [18]:

Р – радиальные (рис. 4.2, а); Т – тангенциальные.

Таблица 4.1

Конструктивные признаки типа резца

Тип резца	Задний конструктивный угол	Отношение $m/l$
Радиальный	Не более 20	Не менее 0,4
Тангенциальный	Не менее 45	Не более 0,2

Тангенциальные резцы изготавливают двух исполнений: ТН – неповоротные (рис. 4.2, б); ТП – поворотные (рис. 4.2, в).

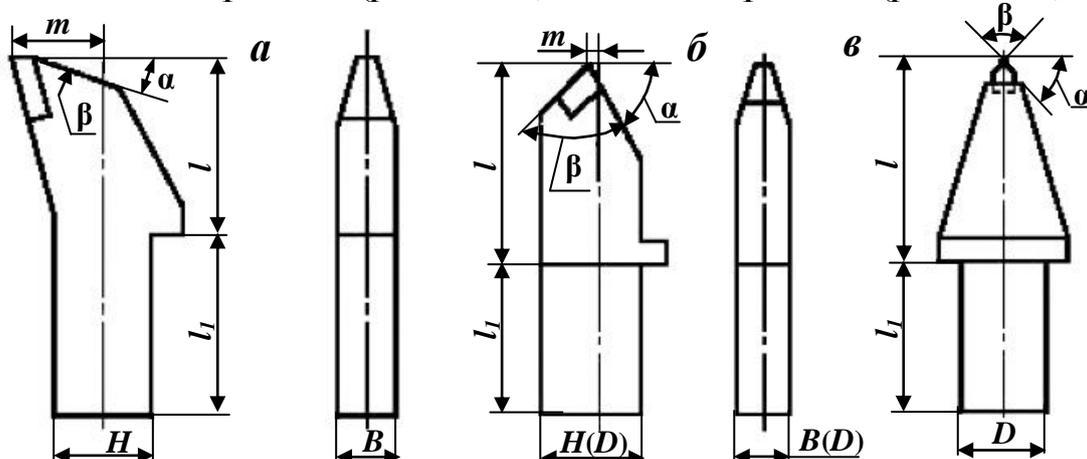


Рис. 4.2. Резцы: а – типа Р; б – исполнения ТН; в – исполнения ТП

Радиальные резцы изготавливают следующих типоразмеров: Р40, Р65, Р80, Р100. Основные параметры и размеры для типоразмеров радиальных резцов – по ОСТ 12.44.165–80 [20] в соответствии с данными, приведенными в табл. 4.2.

Таблица 4.2

## Основные параметры и размеры радиальных резцов

Наименование параметра	Значения для типоразмеров			
	Р40	Р65	Р80	Р100
Конструктивный вылет резца $l$ , мм	40	65	80	100
Отношение длины хвостовика к конструктивному вылету резца $l_1/l$	1,3–1,4	0,8–1,0	0,8–1,0	0,8–1,0
Размеры сечения прямоугольного хвостовика $B \times H$ , мм	13×26	22×38	22×38; 25×41	25×41; 30×50

Тангенциальные неповоротные резцы изготавливают следующих типоразмеров: ТН100, ТН125, ТН160. Основные параметры и размеры для типоразмеров тангенциальных неповоротных резцов по ОСТ 12.44.165–80 [20] в соответствии с данными, приведенными в табл. 4.3.

Таблица 4.3

## Основные параметры и размеры тангенциальных неповоротных резцов

Наименование параметра	Значения для типоразмеров		
	ТН100	ТН125	ТН160
Конструктивный вылет резца $l$ , мм	100	125	160
Отношение длины хвостовика к конструктивному вылету резца $l_1/l$	0,75–1,0	0,75–1,0	0,8–1,0
Размеры сечения прямоугольного хвостовика $B \times H$ , мм	–	25×41	30×50
Диаметр хвостовика $D$ , мм	34; 38	38	38; 42

Тангенциальные поворотные резцы изготавливают следующих типоразмеров: ТП25, ТП32, ТП38. Основные параметры и размеры для типоразмеров тангенциальных поворотных резцов – в соответствии с данными, приведенными в табл. 4.4.

Таблица 4.4

## Основные параметры и размеры тангенциальных поворотных резцов

Наименование параметра	Значения для типоразмеров		
	ТП25	ТП32	ТП38
Диаметр хвостовика $D$ , мм	25	32	38
Конструктивный вылет резца $l$ , мм	60–90	60–90	60–90
Длина хвостовика к конструктивному вылету резца $l_1$ , мм	65–75	65–75	65–75

Допускается изготавливать резцы с хвостовиками диаметром 30 мм и ступенчатый хвостовик диаметром 38/30 мм для использования в исполнительных органах импортных очистных и проходческих комбайнов.

### 4.3. Элементы и параметры резцов

Режущие инструменты отличаются многообразием, обусловленным как различием горных машин и исполнительных органов, для которых они предназначены, так и разным конструктивным их исполнением.

Режущие инструменты горных машин подразделяют на радиальные, тангенциальные, радиально-торцевые (рис. 4.3) и буровые резцы (рис. 4.4) [21–24]. Ось державки радиальных и радиально-торцевых резцов перпендикулярна к линии резания, а ось державки тангенциальных составляет острый угол  $\theta$  с линией резания. Несмотря на разнообразие резцов, все они имеют следующие основные элементы: хвостовик 1 и корпус 2, армированный твердосплавной вставкой 3.

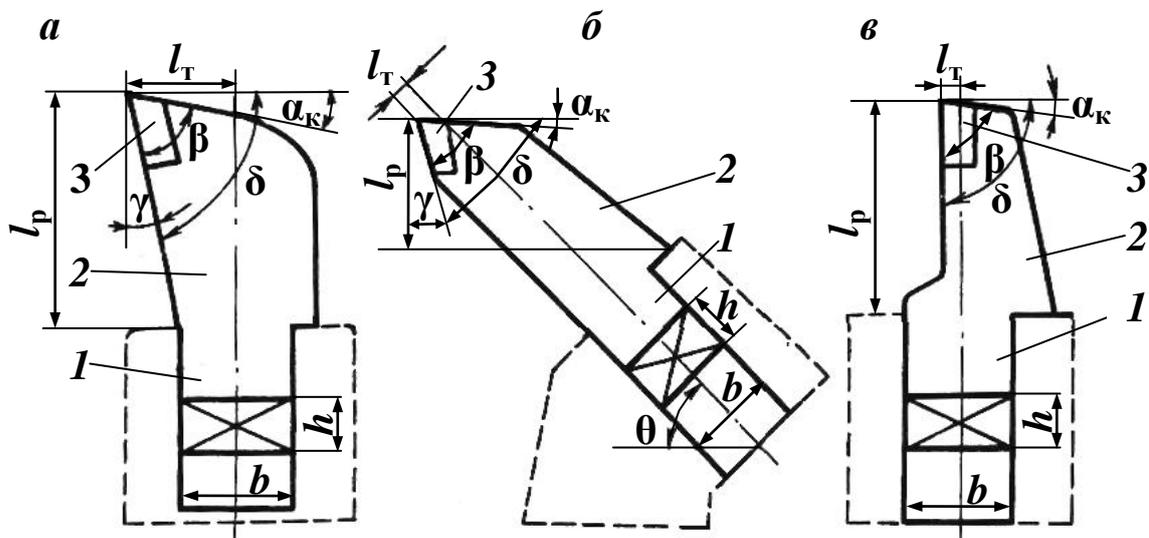


Рис. 4.3. Параметры резцов: а – радиальный; б – тангенциальный; в – радиально-торцевой

Различают три вида параметров резцов: конструктивные, установочные и рабочие (кинематические). Конструктивные параметры – это линейные и угловые размеры резца, в соответствии с которыми он изготовлен. В качестве главного параметра принят конструктивный вылет  $l_p$  – расстояние от опорной поверхности или места заделки резца в резцедержатель до перпендикуляра к продольной оси резца, проведенного через вершину режущей кромки. К основным кон-

структивным параметрам относят: задний конструктивный угол  $\alpha_k$ , угол заострения  $\beta$ , передний угол  $\gamma$ , угол резания  $\delta$ , боковой задний угол  $\alpha_b$  и угол наклона боковых граней  $\psi$ . Некоторые параметры связаны между собой зависимостями:  $\delta = \alpha_k + \beta$  и  $\gamma = 90^\circ - \delta$  (см. рис. 4.3).

Установочные параметры – это параметры, характеризующие резец, установленный на исполнительном органе. Главным установочным параметром является радиальный вылет резца  $l_p = l$ . Для тангенциальных резцов, которые устанавливаются к поверхности резания под углом  $\theta$ ,  $l_p = l \sin \theta$ .

Параметр  $l_p$  имеет важное значение, так как определяет максимально возможную толщину среза, допустимые скорость перемещения и производительность машины.

$l_T$  – расстояние от режущей кромки пластинки твердого сплава до оси симметрии хвостовика резца.

Буровые резцы для вращательного бурения предназначены для бурения шпуров в углях любой крепости и породах с коэффициентом крепости  $f \leq 8$  по шкале проф. М. М. Протодяконова при использовании электрических, пневматических и гидравлических бурильных установок. По назначению резцы подразделяют на: угольные, углепородные и породные.

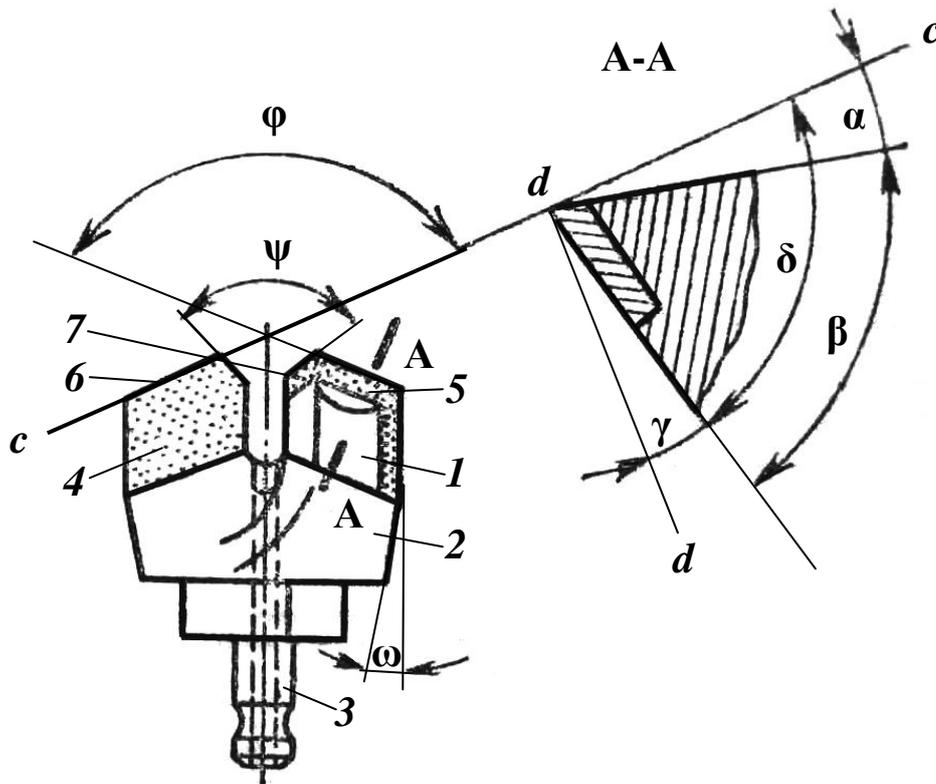


Рис. 4.4. Параметры бурового резца

Резец (рис. 4.4) [24] состоит из перьев  $1$  с режущими кромками, корпуса  $2$  и хвостовика  $3$  для крепления резца в головке буровой штанги. Имеется передняя грань  $4$  и задняя  $5$ , пересечение которых образует главную режущую кромку  $6$  и кромку  $7$  рассечки.

Геометрические параметры резца см. на рис. 4.4. Углы заточки резца определяются положениями плоскости резания “ $cc$ ”, которая является касательной к поверхности резания и проходит через главную режущую кромку, и основной плоскости “ $dd$ ”, которая перпендикулярна к плоскости резания.

Задний угол  $\alpha$  – это угол, образуемый плоскостью резания и задней гранью резца. Наличие угла  $\alpha$  предотвращает трение задней грани резца о плоскость забоя. Задний угол обычно принимают в пределах  $10$ – $30^\circ$ .

Угол заострения  $\beta$  – это угол, образованный пересечением передней и задней граней резца. В результате этого образуется режущая кромка. С уменьшением угла заострения улучшается внедрение резца в уголь или породу, но прочность резца при этом уменьшается.

Угол резания  $\delta = \alpha + \beta$  – это угол между передней гранью и плоскостью резания.

Передний угол  $\gamma$  образуется между передней гранью и основной плоскостью “ $dd$ ”. Передний угол  $\gamma$  может быть положительным, равным нулю или отрицательным (при бурении по крепким породам). В последнем случае угол заострения  $\beta$  принимается  $\geq 90^\circ$ , в результате чего передний угол становится отрицательным. Соотношение  $\alpha + \beta + (\pm\gamma) = 90^\circ$ .

Угол конусности  $\omega$  придается резцу для уменьшения трения о стенки шпура. Обычно угол конусности принимается равным  $1$ – $2^\circ$ .

В результате рассечки пера резца образуются вспомогательные углы:

- внутренний угол рассечки  $\psi$  – пересечением вспомогательных режущих кромок резца;

- внешний угол  $\phi$  при вершине резца – пересечением главных режущих кромок резца.

При работе по углю резцы характеризуются большим углом рассечки (до  $100^\circ$ ) и положительными или нулевыми передними углами; при работе по породе – меньшими углами рассечки, более короткими перьями и обычно нулевыми или отрицательными передними углами.

*Резцы угольные (РУ)* предназначены для ручных сверл при работе по углю любой крепости и породам с коэффициентом крепости до  $f = 3$  по шкале проф. М. М. Протодьяконова.

*Резцы углепородные (РУП)* – для ручных и колонковых сверл при работе по углю любой крепости и породе с коэффициентом крепости  $f = 2-6$ .

*Резцы породные (РП)* – для колонковых сверл и бурильных установок при бурении пород с коэффициентом крепости  $f = 6-8$ .

Резцы типа РП предназначены для использования в комплекте с шестигранными штангами типа ШБ.

#### **4.4. Основные типы и конструктивные особенности резцов**

В настоящее время на основе разработанного ИГД им. А. А. Скочинского параметрического ряда резцов утвержден и действует отраслевой стандарт ОСТ 12.44.165-80 [20] на параметры резцов (табл. 4.5) [21]. Из таблицы видно, что *радиальные резцы* (типа Р) имеют два исполнения: однолезвийные (РО) и двухлезвийные (РД).

*Тангенциальные резцы* (типа Т) в зависимости от формы сечения хвостовика имеют также два исполнения: ТП – прямоугольной формы и ТК – круглой формы. *Радиально-торцевые резцы* (типа РТ) также в зависимости от формы сечения хвостовика имеют три исполнения: РТП – прямоугольной формы, РТК – круглой формы и РТО – овальной формы. На рис. 4.3 приведены конструкции основных резцов. По принципу действия резцы подразделяются на неповоротные и поворотные. Поворотные резцы при работе вращаются в резцедержателе относительно продольной оси державки. Режущая часть их, представляющая собой тело вращения (конус, цилиндр или их сочетание), равномерно притупляется, площадка затупления не образуется, резец как бы самозатачивается.

При одинаковом радиальном вылете радиальные резцы имеют меньшую длину режущей части, что обеспечивает большую продольную жесткость и меньшее плечо изгибающего момента от боковых сил.

К достоинствам тангенциальных резцов относится то, что у тангенциальных резцов направление суммарного усилия близко к направлению оси резца, что снижает величину изгибающего момента от сил резания и подачи и улучшает условия работы твердосплавной армировки. Применение тангенциальных резцов в значительной степени снижает передраблывание отбитого угля корпусом резцедержателя.

Таблица 4.5

## Параметры резцов

Тип резца по ОСТ 12.44.165–80 [20]	Исполнение	Типоразмер	Конструктивный вылет $l_p$ , см	Длина хвостовика $l_{хв}$ , см	Обозначение резцов, выпускаемых по техническим условиям	Характеристика режущей части				Максимальная толщина твердого сплава по задней грани резцов, мм	
						Ширина конструктивная $b_k$ , см	Форма режущей кромки	Форма передней поверхности	Углы <sup>*3</sup> (конструктивные), град		
									резания $\delta$		задний $\alpha$
Р	РО	РО40	4	5,5	ЗНЗ	0,9	Овальная	Плоская	85	5	5
		РО65	65* <sup>1</sup>	5,5	И90МБ* <sup>1</sup>	1,1			80	5	7
			6,5	6,5	РО65	1,4			83	8	9
		РО80	8	6,5	ЗР2.80	2,5	Треугольная	Клиновидная	83	15	13
			8	6,5	ЗР4.80	1,4			83	8	9,5
	РО100* <sup>5</sup>	10	–	–	–	–	–	–	–		
	РД	РД45	4,5	4,5	УМК90	1,1	Овальная	Плоская	85	10	7
		РД65	6,5	7,5	МК-1-4-14А	1,1			85	10	7
Т	ТП	ТП100	10	9,5	–	–	Прямоугольная	Плоскоклинновидная	–	–	–
		ТП125	12,5	9,5	ИТ-125	2,0			69	15	9,5
		ТП160* <sup>5</sup>	16	–	–	–			–	–	–
	ТК	ТК65	6,5	6,5	РКС-1	0,9* <sup>2</sup>	Треугольная	Овальная	90	0	9
		ТК80	8	7,0	РКС-2	1,2* <sup>2</sup>			98* <sup>4</sup>	8* <sup>4</sup>	12
РТ	РТП РТО РТК	РТ80	8* <sup>1</sup>	8,0	И79Б* <sup>1</sup>	1,1	Овальная	Плоская	85	10	7
		РТО65	6,3* <sup>1</sup>	5,4	КБ01* <sup>1</sup>	1,1			85	10	7
		РТК34	3,3	6,3	ШБМ2С-1-1-04	0,8	Трапециевидная		90	10	7

В табл. 4.5 представлены следующие пояснения: \*1 – в новых конструкциях машин не применяется; \*2 – диаметр штыря; \*3 – при угле установки резца  $45^\circ$ ; \*4 – при угле установки резца  $53^\circ$ ; \*5 – резцы, не включенные в ОСТ 12.44.165–80 [20].

По конструктивному исполнению резцы бывают цельными или составными. Радиальные резцы и тангенциальные небольших типоразмеров изготавливаются обычно цельными. Тангенциальные резцы больших типоразмеров целесообразно изготавливать составными, что помимо экономии металла позволяет иметь вставки с различными параметрами режущей части.

Выпускаемые и применяемые в настоящее время резцы отличаются и по конструкции режущей части. Так, режущая кромка их бывает трапециевидной, овальной, прямоугольной, треугольной, а форма передней грани – плоской, овальной, клиновидной. Выбор формы режущей кромки и передней грани обуславливается эффективностью процесса резания, прочностью и формоустойчивостью режущей части и прочностью пластинки твердого сплава.

Кроме того, конструкции резцов отличаются по форме твердосплавных вставок: призматические, пирамидальные, цилиндрические, конические; по расположению паза под вставки в режущей части: открытый, полузакрытый, шлицевой, отверстие под керн; по способу крепления вставки: паяное соединение, запрессовка, механическое крепление.

В настоящее время существует большое количество отечественных и зарубежных заводов-изготовителей, фирм, которые производят и поставляют широкий спектр режущего инструмента на горнодобывающие предприятия России. В связи с этим в данном учебном пособии в **приложениях 1–10** в помощь студенту приводится информация по конструкциям, параметрам и типоразмерным рядам режущих инструментов [25–29], что позволит студенту сократить время на поиск и выбор рационального режущего инструмента для исполнительных органов горных машин при курсовом и дипломном проектировании.

*В качестве дополнительной информации для самостоятельного изучения студент может ориентироваться как на список **рекомендуемой литературы и интернет-ресурсы**, приведенные в данном учебном пособии, так и на специальные учебные издания, каталоги-справочники и научно-технические журналы.*

## 5. КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ РАДИАЛЬНЫХ РЕЗЦОВ

В этой главе приводятся сведения по конструктивным особенностям радиальных резцов (см. рис. 5.1) [21, 22].

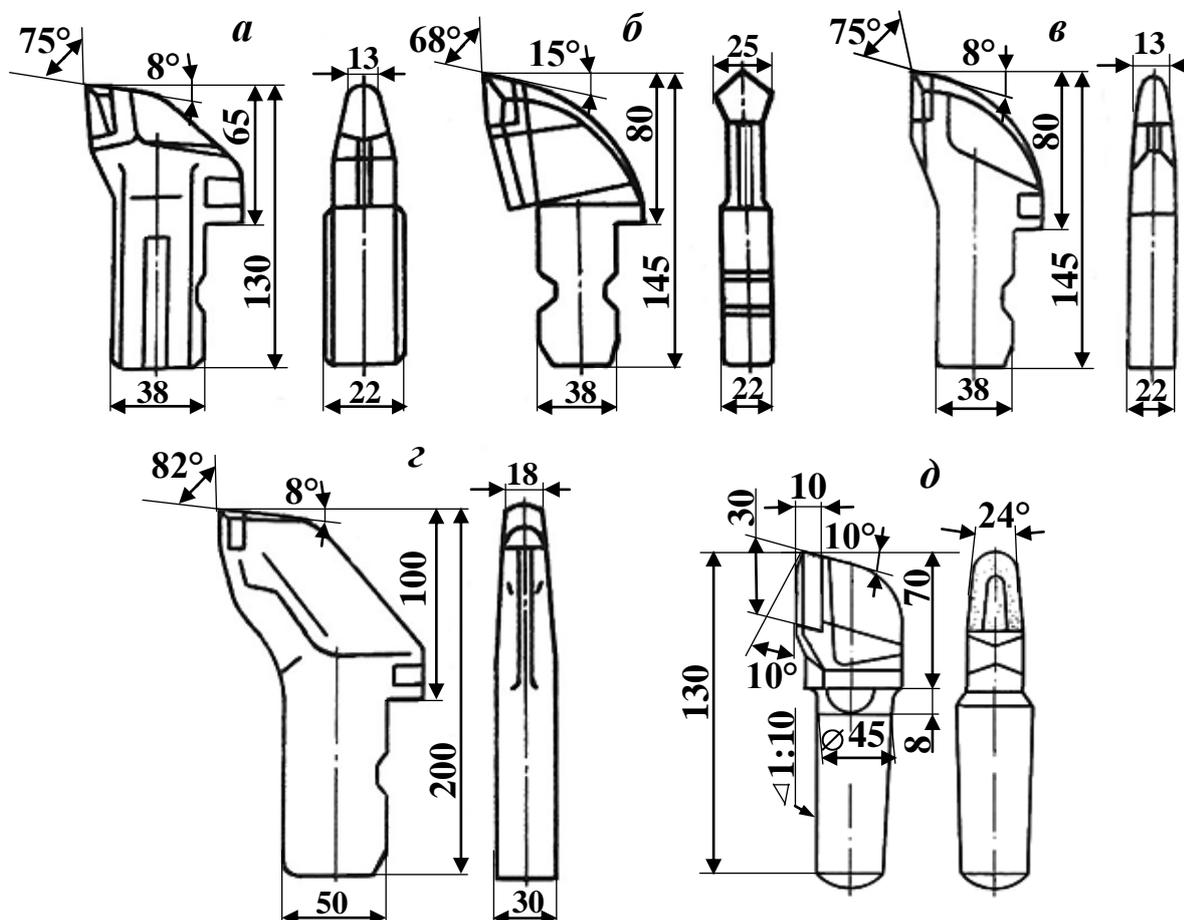


Рис. 5.1. Конструкция радиальных резцов

Резцы PO65 (рис. 5.1, а), выпускаемые взамен резцов И90МБ и И90В, предназначены для оснащения шнековых и барабанных исполнительных органов комбайнов типоразмеров ПУ5-ПУ10 при работе на пластах любой категории разрушаемости, содержащих породные прослойки мощностью более 0,15 м и крупные породные включения при суммарной их мощности до 5 % от мощности пласта. Особенностью резцов PO65 в сравнении с резцами И-90МБ и И90В является клиновидная форма передней грани, большие значения угла резания и заднего угла, большие значения толщины пластинки твердого сплава. Крепление резца безболтовое.

Резцы ЗР2.80 (PO80) (рис. 5.1, б) предназначены для очистных комбайнов, имеющих в качестве исполнительного органа барабаны с вертикальной осью вращения, на которых установлены поворот-

ные резцедержатели. Установка двух направленных в разные стороны резцов ЗР2.80 в резцедержателе и поворот его самого обеспечивают возможность реверсирования направления вращения барабана. Резцы ЗР2.80 применяются для выемки углей любой абразивности и сопротивляемостью резанию до 300 Н/мм, содержащих породные прослойки и включения крепостью  $f \leq 3$ . Вставки твердого сплава имеют клиновидные переднюю и заднюю грани, а ее боковые режущие кромки сужаются в сторону меньшего основания. Крепление резца – безболтовое. В настоящее время эти резцы применяются в конвейеростругах агрегатов типа АНЩ и на барабанах комбайнов “Поиск-2”.

Резцы ЗР4.80 (РО80) (рис. 5.1, в) являются наиболее распространенным режущим инструментом и применяются практически на всех выпускаемых в настоящее время шнековых очистных комбайнах (2ГШ-68Б, РКУ-16, 1КШЭ и др.). Предназначаются резцы ЗР4.80 для выемки углей любой абразивности с сопротивляемостью резанию до 300 Н/мм, крепостью возможных породных включений и их суммарной мощностью не более 10 % от вынимаемой мощности пласта. Резец армируется вставкой твердого сплава с клиновидной формой передней поверхности. Со стороны задней поверхности хвостовика резец имеет упор, предназначенный для установки всех резцов на шнеке с одинаковым вылетом и уменьшения изгибающего момента от усилий резания и подачи в опасном сечении хвостовика. На боковых поверхностях упора имеются углубления для извлечения резца из резцедержателя. Крепление резца в кулаке безболтовое.

Резцы РО100 (рис. 5.1, г) предназначены для оснащения шнековых исполнительных органов новых шнековых очистных комбайнов типоразмеров ПУ16–ПУ35, обеспечивающих разрушение угольных пластов с толщиной стружки 7–8 см. Режущая часть резца оснащена вставкой твердого сплава, имеющей овально-плоскую переднюю поверхность, чем обеспечивается высокая прочность главной режущей кромки и режущей части резца в целом. Резцы применяются на пластах любой категории разрушаемости. Крепление резца безболтовое.

Радиальный резец РПП (рис. 5.1, д) [22] предназначен для исполнительных органов комбайнов 4ПП2 и 4ПП5 при проведении выработок по смешанным и породным забоям с коэффициентом крепо-

сти  $f < 6$ . Режущая часть образована вставкой твердого сплава, имеющей увеличенную площадь пайки, что повышает прочность резца.

Дополнительная информация по радиальным резцам различных заводов-изготовителей (фирм) представлена в прил. 1, 3, 4, 5, 7, 9, 10.

Компания “Sandvik Mining and Construction” (Швеция) выпускает радиальные резцы серий RIBA, RIVA, RIRP (прил. 9). Все резцы армируются вставкой твердого сплава с клиновидной передней гранью. Основным параметром радиального инструмента – вылет резцов – составляет: 58,8 мм (RIBA); 73,6 мм (RIVA); 110 мм (RIRP). Для фиксации резцов в резцедержателях используются резиново-стальные штифты. Для повышения прочности корпуса резцов имеется большая опорная (на резцедержателе) поверхность и нет острых граней.

## 6. РЕЖУЩИЙ ИНСТРУМЕНТ СТРУГОВЫХ СТАНОВОК

Инструментом струговых установок является комплект резцов и вставок, конструкции и расчет сил на которых определяются их положением на исполнительном органе из условия обеспечения наиболее эффективного разрушения угольного пласта [2, 3, 21, 23, 30].

Главные конструктивные углы (рис. 6.1) режущего инструмента, устанавливаемые относительно плоскости резания, следующие:

*Угол заострения*  $\beta$  – угол между передней и задней гранями резца. Чем меньше этот угол, тем острее режущие кромки, но меньше прочность резца. Этот угол принимают в пределах  $65\text{--}90^\circ$ .

*Задний угол*  $\alpha$  – угол между плоскостью резания и задней гранью резца. Его величина находится в пределах  $5\text{--}15^\circ$ .

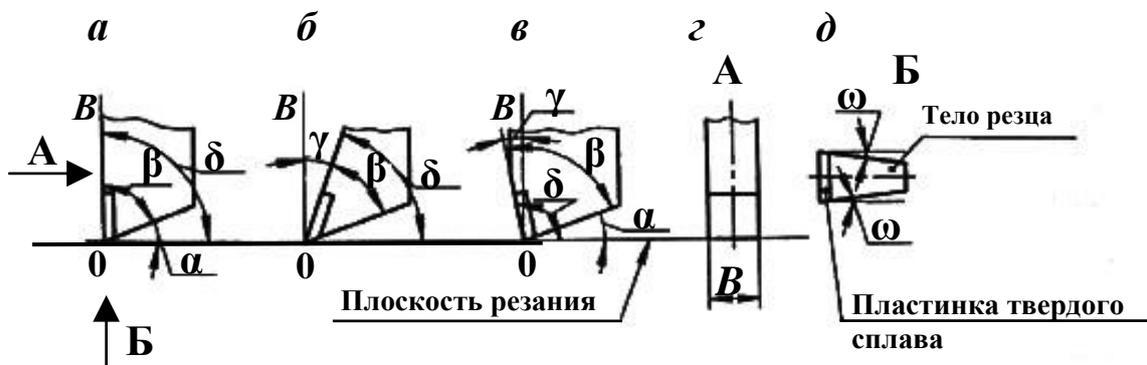


Рис. 6.1. Конструктивные углы режущего инструмента

*Угол резания*  $\delta$  – угол между плоскостью резания и передней гранью резца. Он равен сумме углов заострения  $\beta$  и заднего  $\alpha$ .

С увеличением этого угла усилие резания и энергозатраты увеличиваются, но резцы можно применять и при более значительном сопротивлении угля резанию.

*Передний угол  $\gamma$*  – угол между передней гранью резца и плоскостью, проходящей через режущую кромку перпендикулярно к плоскости резания. Передний угол может быть равен нулю (рис. 6.1, *a*), иметь положительное (рис. 6.1, *б*) или отрицательное значение (рис. 6.1, *в*). Резцы струговых установок обычно имеют положительное значение переднего угла  $\gamma$  (от 0 до 10°).

Кроме этих главных углов резец характеризуется боковыми задними углами  $\omega$  (рис. 6.1, *д*). Боковой задний угол во избежание трения боковых граней резца об уголь принимают 4–12°. Резец характеризуется также (рис. 6.1, *з*) шириной главной режущей кромки  $B$  и вылетом  $l_p$  (рис. 6.2, *в*, *з*), т. е. расстоянием от режущей кромки до опорной поверхности резцедержателя. Вылет определяет максимально возможную толщину среза.

Режущие инструменты струговых установок бывают линейные и почвенные. Конструкции и технические характеристики струговых резцов представлены на рис. 6.2–6.4 и в табл. 6.1, 6.2.

*Резцы линейные* производят отделение угля в одной плоскости от угольного забоя.

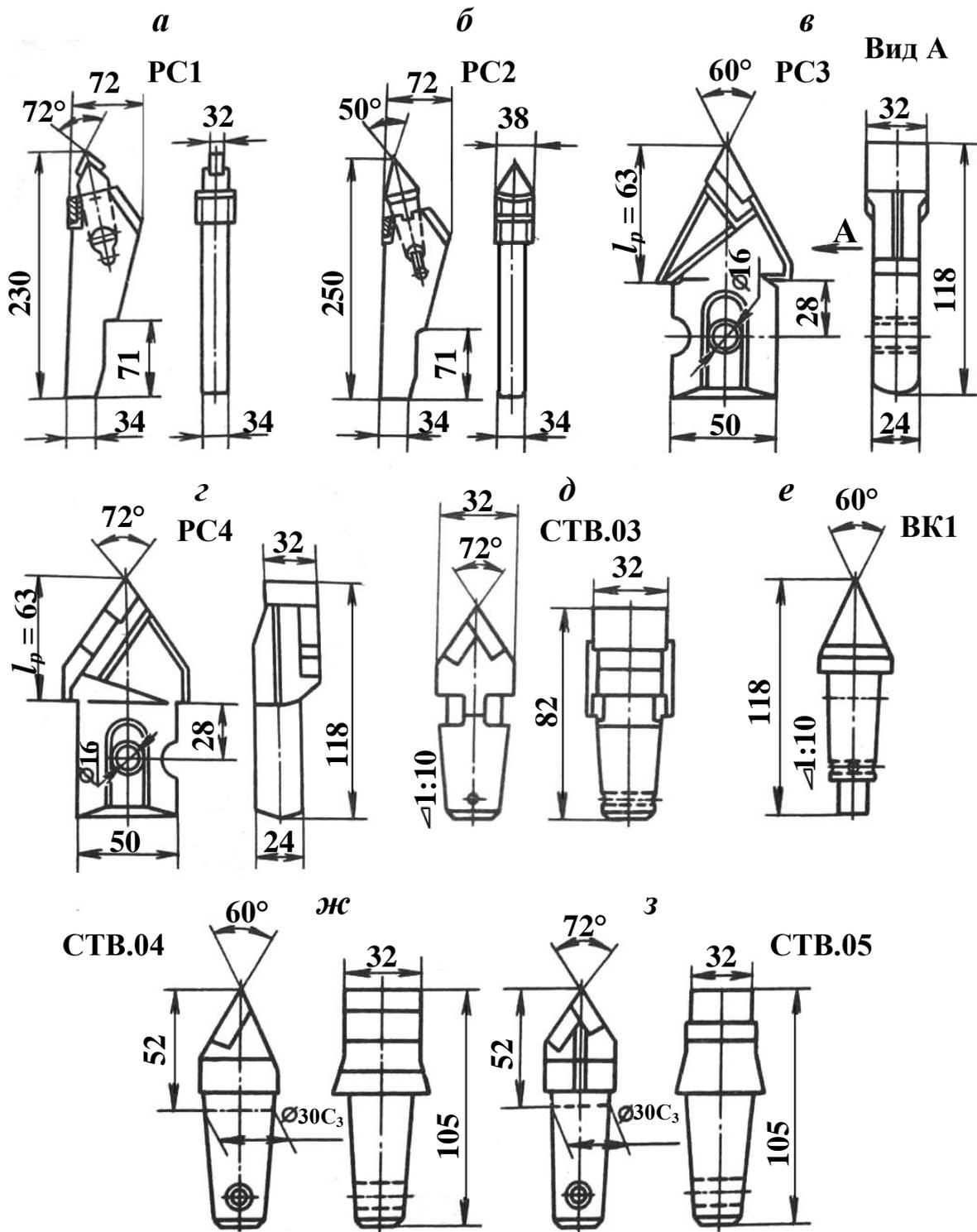
*Резцы почвенные* производят отделение угля в двух плоскостях – от угольного забоя и почвы, работают в наиболее тяжелых условиях. Поэтому резцы почвенные выполнены с твердосплавной армировкой и режущими кромками, ориентированными относительно забоя и почвы.

Для изготовления корпусов режущего инструмента применяют стали 35ХГСА, 30ХГСА, которые обладают высокой прочностью и достаточной вязкостью; высокой износостойкостью; высокой теплопроводностью и минимальным коэффициентом теплового линейного расширения; широким интерваломковки, хорошей закаливаемостью; хорошей смачиваемостью припоями.

С целью повышения износостойкости резцов струговых установок их рабочую часть армируют твердыми сплавами, в основном применяют металлокерамические твердые сплавы группы ВК (карбид вольфрама и кобальта).

Резцы РС1 (рис. 6.2, *a*) и РС2 (рис. 6.2, *б*) предназначены для стругов типа УСТ при выемке углей с сопротивляемостью резанию в

неотжатой зоне до 230 кН/м и состоят из стального корпуса и сменной режущей части, что позволяет многократно использовать корпуса резцов. Корпуса изготавливаются из стали марки Ст. 45 с последующей термообработкой. Поверхности корпусов, подверженные в процессе эксплуатации абразивному износу, наплавляются электродами Т-590. В качестве режущей части используются: в резцах РС1 – вставки СТВ.03 (рис. 6.2, д), в резцах РС2 – вставки ВК1 (рис. 6.2, е).



### Рис. 6.2. Конструкции резцов и вставок струговых установок

Корпуса вставок изготавливаются из стали марки 35ХГСА и после напайки пластинок твердого сплава высокопрочным припоем АНМЦ06-04-2 подвергаются закалке. Режущая часть вставок СТВ.03 армируется двумя пластинками твердого сплава: рабочей (ВК15), защитной (ВК8). Режущая часть вставки ВК1 армируется твердым сплавом в виде конуса с углом заострения  $60^\circ$ .

Струговые резцы РС3 (рис. 6.2, в) и РС4 (рис. 6.2, г) предназначены для струговых установок СН75 при выемке углей с сопротивляемостью резанию до 300 кН/м. Резцы РС4 изготавливаются двух исполнений: правого и левого и служат в качестве почвенных резцов, резцы РС3 устанавливаются в линейной части струга.

Сечение хвостовиков резцов РС3 и РС4 прямоугольное со скругленными меньшими сторонами. Крепление резцов в резцедержателях на корпусе струга осуществляется шариком, для чего на одной из боковых сторон хвостовика имеется углубление.

Вставки СТВ.04 (рис. 6.2, ж) и СТВ.05 (рис. 6.2, з) предназначены для стругов СН75 и С075. Корпуса этих вставок выполнены из стали марки 35ХГСА и после напайки пластинок твердого сплава подвергаются закалке. Хвостовики вставок выполнены с конусностью 1:10, что обеспечивает их прочное соединение с корпусами резцов.

*Линейные резцы РС3, РС6, РС9 и РС10* входят в состав линейной (средней) группы резцов. *Почвенные резцы РС4, РС8, РС11* входят в состав кровельной (верхней) и почвенной (нижней) групп резцов, работающих в наиболее тяжелых условиях.

Для отечественных струговых установок УСТ, С075, СН75, С090, СН96 были созданы и освоено серийное производство резцов РС3, РС4, РС6 и РС7, предназначенных для работы по углям сопротивляемостью резанию до 300 кН/м (рис. 6.2 и 6.3), а для импортных струговых установок фирмы DBT – резцы РЛ110 и РЛ155 (рис. 6.4), которые не уступают импортным резцам по эксплуатационным показателям.

Применяемые на отечественных струговых установках резцы РС3, РС4, РС6, РС7 и РС8 (рис. 6.3) имеют одинаковую конструкцию хвостовиков. Такая унификация хвостовиков позволяет использовать разную комбинацию набора резцов на струге в зависимости от структуры пласта и крепости угля.

Отличие резцов PC9, PC10 и PC11 (рис. 6.3) от серийно выпускаемых PC3, PC4, PC6 заключается в усовершенствовании конструкции хвостовиков и элементов их крепления.

На современных стругах применяются модернизированные струговые резцедержатели CO75.11.00.033, предназначенные для крепления унифицированных струговых резцов без центрального отверстия.

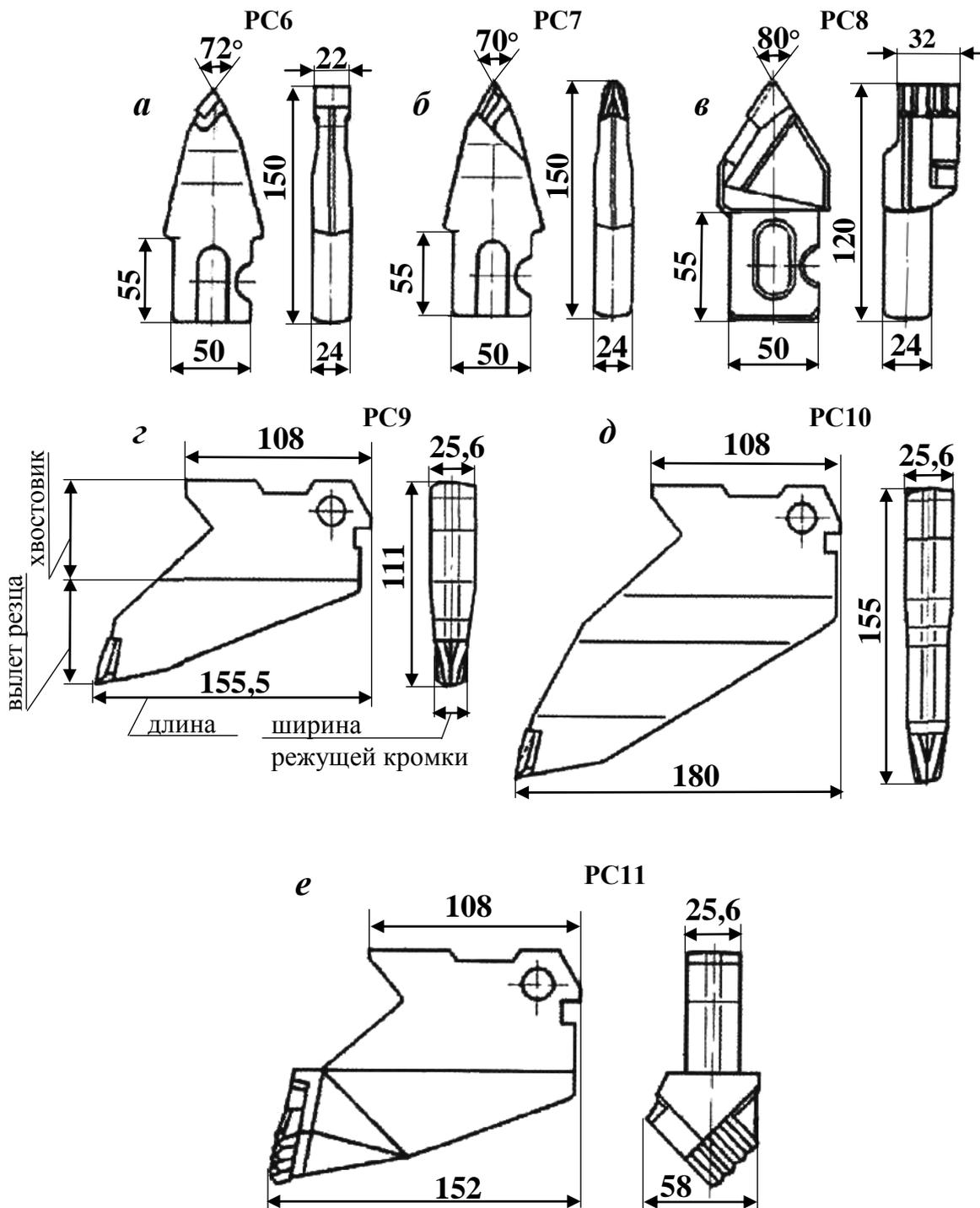


Рис. 6.3. Конструкции резцов струговых установок

Таблица 6.1

## Техническая характеристика резцов типа РС и их вставок

Параметры	Резец средний		Вставка	
	РС1	РС2	СТВ.04	СТВ.05
Длина, мм	230	250	105	105
Вылет, мм	60 (отн. корпуса струга)	75	52	52
Тип вставки	СТВ.03	ВК1	–	–
Ширина режущей части, мм	32	50	32	32
Угол заострения, град	72	60	60	72
Форма передней поверхности	Плоская	Овальная	–	–
Масса пластинок тверд. сплава, г	100	100	86	152
Масса резца, кг	3,5	3,5	0,7	0,7
Марка твердого сплава	–	–	ВК15	

Таблица 6.2

## Техническая характеристика резцов типа РС и РЛ

Параметры	Тип резца									
	РС3	РС4	РС6	РС7	РС8	РС9	РС10	РС11	РЛ110	РЛ155
Длина резца, мм	118	118	150	150	120	155	180	152	150	175
Ширина режущей кромки, мм	32	32	22	13	32	13	13	58	22	22
Форма сечения хвостовика	плоская со скругленными меньшими сторонами					прямоугольная				
Угол заострения, град	60	72	72	70	80	75	75	80	72	72
Форма передней поверхности	плоская			плоскоклиновая	гребенчатая	плоскоклинная		гребенчатая	плоская	
Масса пластинок тв. сплава, г	86	116	32	36	155	36	36	155	32	32
Марка тверд. сплава	ВК15				ВК11 ВК	ВК15		ВК11 ВК	ВК15	
Марка стали державки	35ХГСА									
Масса, кг	1,0	1,1	1,15	1,15	1,14	1,7	2,65	3,27	1,5	2,5

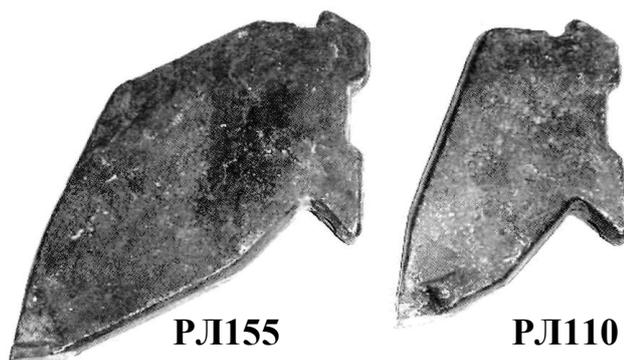


Рис. 6.4. Резцы для струговых установок фирмы DBT

К резцам предъявляются следующие требования:

- эффективное резание угля с меньшим расходом электроэнергии;
- прочность и износостойкость;
- соответствие формы, размеров и геометрических параметров свойствам обрабатываемого угля, конструкции струга и кинематике его работы;
- простое, надежное и жесткое закрепление в державках;
- возможность быстрой замены при износе;
- минимальное число типов в комплекте;
- невысокая стоимость изготовления и эксплуатации.

Особенности работы режущего инструмента стругов заключаются в следующем:

- разрушение угольного массива осуществляется с поверхности, где он в большинстве случаев подвержен интенсивному отжиму;
- удельный путь трения (отношение фактического пути трения резца с массивом к общей длине прохода струга) зависит от состояния массива;
- непрерывное резание (когда пласт не отжат) происходит с циклом, равным длине лавы;
- контактирование отдельных резцов с массивом происходит по определенным слоям, характеристики разрушаемости которых могут существенно отличаться;
- разделение резцов в зависимости от положения на струге на почвенные, средние и верхние определяют разные условия их работы.

## 7. КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ТАНГЕНЦИАЛЬНЫХ РЕЗЦОВ

### 7.1. История развития тангенциального инструмента

История проектирования тангенциальных резцов [17, 21–24] состоит из трех этапов: I – рис. 7.1; II – рис. 7.2; III – резец ТПР.

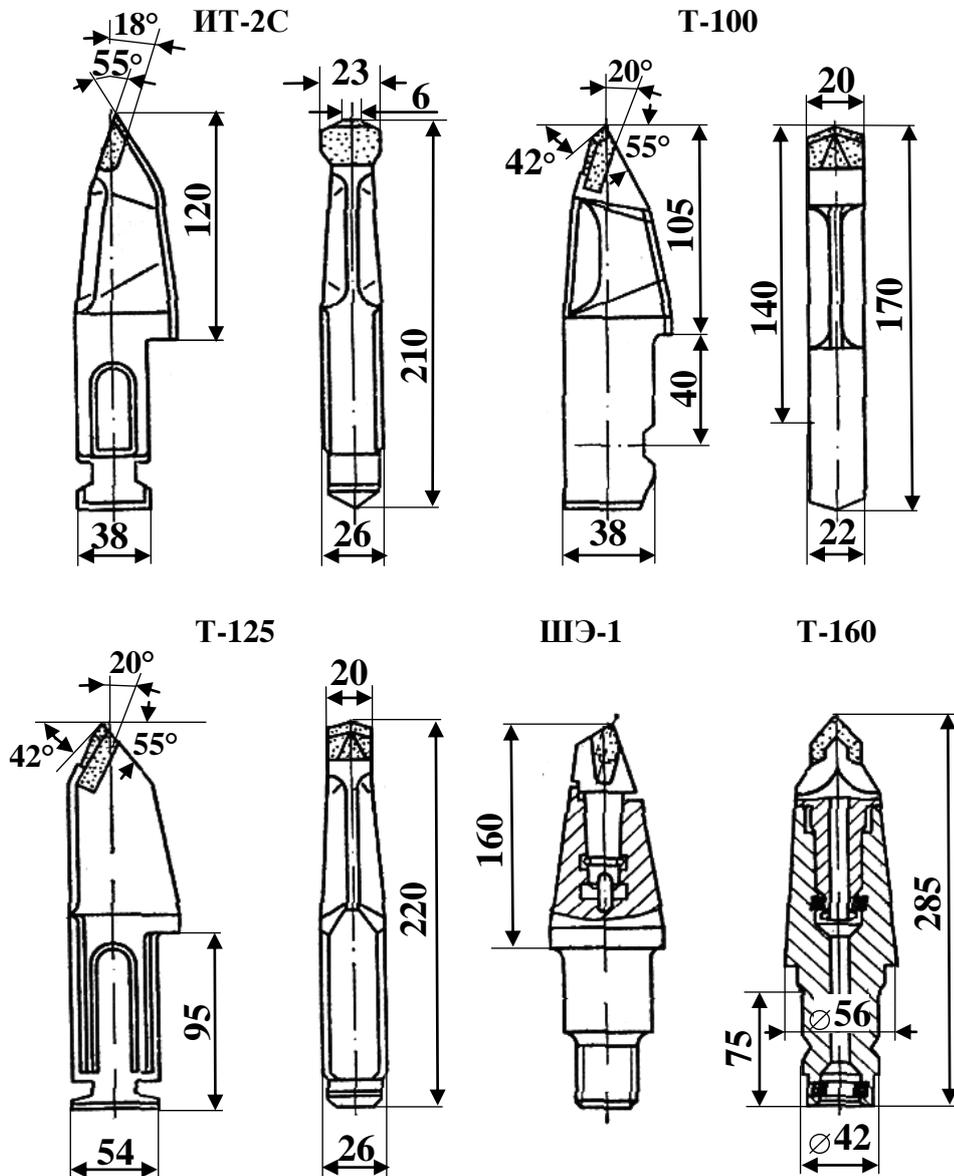


Рис. 7.1. Тангенциальные резцы для шнековых органов угольных комбайнов

Первый этап. Тангенциальный резец ИТ-2С (рис. 7.1) использовался на шнековых исполнительных органах комбайнов 2К-52, 1К-101 и 1ГШ-68 при работе по чистым углям с сопротивляемостью резанию до 150 Н/мм, легко отделяющимся от кровли и почвы. Благодаря увеличенным до 30° переднему углу и до 80 мм

шагу резания такие резцы обеспечивали снижение выхода мелких классов угля. Резцы комплектовались эластичной рамкой для безболтового крепления.

Тангенциальные резцы Т-100 (см. рис. 7.1) были разработаны ВНИИПТуглемашем и ИГД им. А. А. Скочинского. Резцы армировались вставкой из твердого сплава ВК8В специальной формы, предложенной кафедрой горных машин НПИ, ВНИИТС и Краснолучским машиностроительным заводом. Форма вставки (трехгранная передняя поверхность, наличие фаски и вершины на режущей кромке), выявленная в результате научных исследований, обеспечивала высокую прочность армировки. Резцы прошли успешные испытания на крепких и вязких углях с крупными включениями колчедана.

Тангенциальные резцы Т-125, разработанные Гипроуглемашем, предназначались для углей любой абразивности с сопротивляемостью резанию до 200 Н/мм. Они армировались вставкой от резца Т-100 и имели в сравнении с последним увеличенный вылет.

Составные тангенциальные резцы Т-160 и ШЭ-1 были рассчитаны на работу по углям с сопротивляемостью резанию до 240 Н/мм и предельной толщиной стружки до 100 мм. В процессе эксплуатации у них заменялась относительно легкая и недорогая головка, а державка использовалась многократно. Резцы ШЭ-1 успешно прошли производственные испытания.

Второй этап. Тангенциальные резцы Т100 (ТП100) (рис. 7.2, а) и ИТ-125С (ТП125) (рис. 7.2, б), имеющие прямоугольное сечение хвостовика, предназначены для шнековых исполнительных органов угольных и сланцедобывающих комбайнов (при выемке сланцев сопротивляемостью резанию до 360 Н/мм, угля – до 300 Н/мм при наличии в угольном пласте породных включений с  $f \leq 3$ ).

Эти резцы имеют большую конструктивную ширину режущей части, устанавливаются на шнеке с большим шагом и позволяют улучшить сортовой состав добываемых сланцев и углей, уменьшить энергозатраты на выемку и снизить пылеобразование. Крепление резцов Т100 в резцедержателе – безболтовое. Резцы ИТ-125С в резцедержателях закрепляются специальным резиновым кольцом, помещаемым в двух углублениях со стороны торца хвостовика. При работе комбайна резиновое кольцо препятствует перемещению резцов в резцедержателе в направлении продольной оси, что исключает потери резцов и повышает срок службы резцедержателей.

Тангенциальные поворотные резцы РКС1 (ТК65) (рис. 7.2, *в*) и РКС2 (ТК80) (рис. 7.2, *г*) имеют аналогичную конструкцию и отличаются только размерами. Создавались эти резцы для рабочих органов проходческих комбайнов избирательного действия. Однако благодаря высоким эксплуатационным свойствам они широко применяются и на шнековых исполнительных органах очистных комбайнов. Основные их достоинства следующие: простота конструкции самого резца, простота и надежность крепления в резцедержателе, простота конструкции твердосплавной вставки в виде цилиндрического штыря и надежное закрепление его в цилиндрическом отверстии.

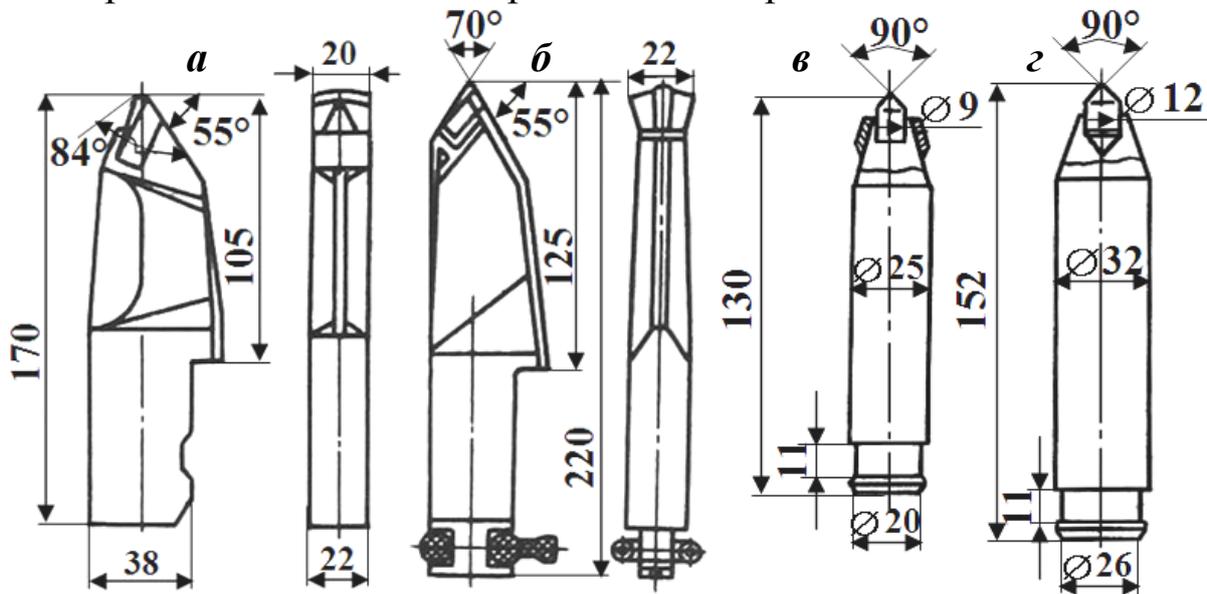


Рис. 7.2. Тангенциальные резцы

Резцы являются изделиями массового производства, поэтому, несмотря на многообразие их конструкций, основные параметры стандартизируются, а конструкции элементов крепления унифицируются.

Во времена Советского Союза разработкой режущего инструмента для горных комбайнов занимался ряд заводов и научных объединений: резцы типов РКС, РКС-1И, РКС-2 и РКС-3 созданы на основании типоразмерного ряда для поворотных резцов, разработанного ИГД им. А. А. Скочинского и институтом «ЦНИИподземмаш» совместно с заводами угольного машиностроения [17, 21–24, 31].

Резцы РКС-1И разработаны и изготовлены в двух исполнениях: РКС-1И01 – основание под наплавку выполнено в форме вогнутой криволинейной поверхности (конструкция резца разработана Копейским машзаводом); РКС-1И02 – основание под наплавку вы-

полнено в форме усеченного конуса – конструкция разработана Краснолучским машзаводом.

Особенность конструкции резцов типа РКС заключается в том, что они выполняются в виде тел вращения, благодаря чему при контакте с углепородным массивом обеспечивается их самозатачивание [17, 32]. При работе такой резец опирается на торцевую поверхность, что, как показала практика, не обеспечивает ему требуемой прочности.

Третий этап. Создание резцов для горных комбайнов в последние годы ведется в соответствии с параметрическими типоразмерными рядами, а также в соответствии с нормативной документацией [20].

В последние годы в РФ и в Кузбассе, в частности, был принят к использованию типоразмерный ряд тангенциальных поворотных резцов (ТПР) применительно к основным типам проходческих и очистных комбайнов [17, 33–40].

Проведенные испытания ТПР позволили определить удельный расход резцов на ряде угледобывающих предприятий, выработать рекомендации по их применению в конкретных горно-геологических условиях и сформулировать два направления по их совершенствованию: конструктивное и технологическое [35].

*Первое направление* включает в себя создание ТПР с наилучшими показателями прочности (прочность корпуса, вставки, закрепления вставки в корпусе), износостойкости (как вставки, так и корпуса резца), работоспособности (вращение в резцедержателе, закрепление в резцедержателе) и надежности [41]. Это направление отражено, например, в патентах РФ: № 2212535 и № 44744 [42, 43].

*Второе направление* заключается в исследовании и использовании новых материалов для корпуса и режущей вставки ТПР и методов их обработки. Например, патент РФ № 54628 [44].

Учитывая особенности эксплуатации горных машин и их значительный рост по энерговооруженности [1, 4, 35], необходимо также принимать во внимание параметры их исполнительных органов и схем набора режущего инструмента [1, 3, 45–49].

В качестве примера следует отметить, что опыт эксплуатации ТПР в условиях ОАО “СУЭК-Кузбасс” показывает, что схемы расстановки резцов на исполнительных органах комбайнов не учитывают структуру угольного пласта. При работе комбайна оба исполнительных органа (шнеки или коронки) оснащаются, как правило,

резцами одной серии, что приводит к интенсивному износу режущего инструмента, контактирующего с прослойком породы. Шаг расстановки резцов на исполнительных органах, как известно, при разрушении угля должен быть больше, чем при разрушении прослоев алевrolита или песчаника. На практике схема расстановки резцов на шнеках очистного комбайна рассчитана на резание угля, а на коронках проходческого комбайна – на разрушение породы.

На кафедре горных машин и комплексов КузГТУ и на предприятиях Кузбасса проектируются и разрабатываются исполнительные органы, конструкция которых позволяет устанавливать на них ТПР разных серий, а также дисковые инструменты (рис. 7.3, *а*) [35], и регулировать шаг их расстановки непосредственно в очистном или проходческом забоях в зависимости от изменяющихся во время работы комбайна горно-геологических условий.

Для примера, ОАО “Завод Гидромаш”, г. Новокузнецк (<http://gidromash.ru>), спроектировал коронки КПГ 58.000 (рис. 7.3, *б*) и КПГ72.000 для проходческих комбайнов 1ГПКС и КСП-32. Коронки оснащены резцедержателями: РШ 501.01 (диаметр хвостовика резца 32 мм) и РШ 481.000 (диаметр хвостовика резца 32 мм). Как видно из рис. 7.3, *б*, в одном резцедержателе можно устанавливать несколько резцов.

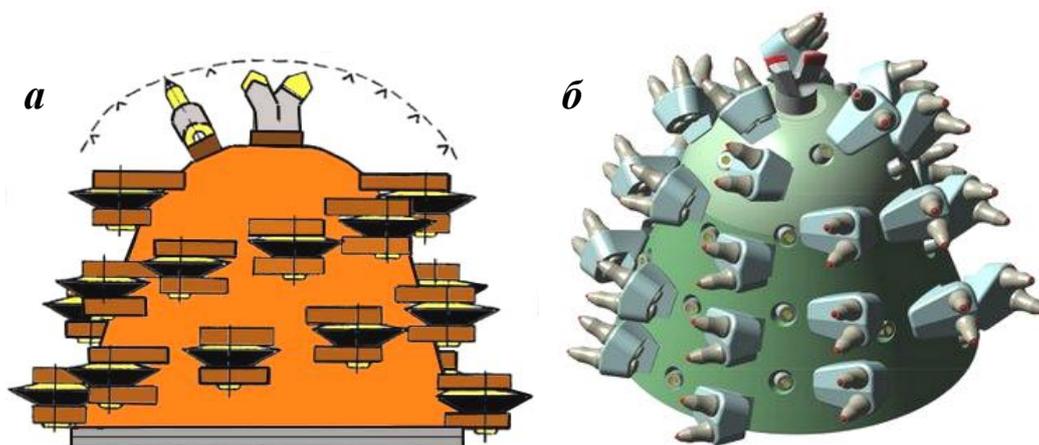


Рис. 7.3. Коронки проходческого комбайна

В качестве примера в табл. 7.1 приведены параметры резцов типа РШ и их использование на различных горных комбайнах [17]. Дополнительные сведения по применимости этих резцов с учетом горно-геологических условий представлены в табл. 7.4.

Таблица основных размеров ТПР и применимость их  
к определенным типам комбайнов

№ п/п	Тип резца	Диаметр хвостовой части, мм	Длина хвостовой части, мм	Длина головной части, мм	Диаметр вставки, мм	Тип комбайна
1	РШ 25-65/12	25	65	58	12	1ГПКС, 12СМ18, 14СМ15, КШЗМ
2	РШ 25-65/16 SK	25	65	63	16	
3	РН25-65L68/16SK	25	65	68	16	
4	РШ30-72L80/16SK	30	72	80	16	АВМ-20, ЕL3000, 4LS20
5	РШ30-72L90/17.5	30	72	90	16	
6	РШ130-75L90/16SK	30	75	90	16	S-200, КСW- 460,475,500,620 SM-130
7	РШ 30-75/16	30	75	70	16	
8	РШ 30-75/17.5	30	75	90	17.5	
9	РШ 30-75/25	30	75	70	25	
10	РШ 30-78/16 SK	30	78	75	16	12СМ15
11	РШ 30-80/16	30	80	75	16	ЕТ-120(210)
12	РШ132-70/16SK	32	70	75	16	КП-21,К-500, 2ГШ68,1КШЭ, КШЗМ, МВ12, КСW-500
13	РШ 32-70/16	32	70	75	16	
14	РШ32-70L90/16SK	32	70	90	16	4LS5,МВ12, KGS, 4ПП2М, LH-1300
15	РШ 32-75/16	32	75	80	16	
16	РШ 32-78/16	32	78	80	16	KGS,КСW-460
17	РШ132-78L90/16SK	32	78	90	16	
18	РШ132-80L90/16SK	32	80	90	16	
19	РШ 32-80/16	32	80	85	16	
20	РШ32-85L90/16SK	32	85	90	16	П-110,220
21	РШ 33-85/16	33	85	70	16	КСП-32
22	РШ 35-95/16	35	95	102	16	6LS5
23	РШ 38-110/16	38	110	92	16	SL300(500)

Примечание: SK – обозначение соответствует “грибковой” форме твердосплавной вставки.

Тангенциальные поворотные резцы (ТПР) различаются в зависимости от конструктивных параметров, которые в свою очередь зависят от разрушаемой среды:

1. легкие – уголь ( $f = 0,8-2$ ), применение резцов с твердосплавными вставками диаметром 8–16 мм цилиндрической, грибообразной формы с вогнутой поверхностью и конструктивным вылетом до 110 мм;

2. средние – уголь с прослойками породы ( $f = 2-5$ ), применение резцов с твердосплавными вставками диаметром 16–25 мм грибообразной и цилиндрической формы диаметром 12–16 мм и конструктивным вылетом до 102 мм;

3. тяжелые – уголь с прослойками породы ( $f = 2-5$ ) и твердыми включениями ( $f = 5-8$ ), применение резцов с твердосплавными вставками диаметром 16–22 мм цилиндрической формы и конструктивным вылетом до 92 мм;

4. сверхтяжелые – уголь с прослойками породы ( $f = 2-7$ ) и твердыми включениями ( $f = 7-10$ ) большой протяженности, применение резцов с твердосплавными вставками диаметром 22–35 мм цилиндрической формы и конструктивным вылетом до 70 мм.

Зарубежные производители, например “Kennametal”, распределяют горно-геологические условия аналогичным образом, т. е. на light (легкие), medium (средние), heavy (тяжелые), severe (сверхтяжелые) [29]. В табл. 7.2 приведены параметры некоторых резцов и их использование на различных горных комбайнах [17]. Более подробно см. прил. 10.

Таблица 7.2

Параметры зарубежных резцов

Тип резца	Диаметр хвостовой части, мм	Длина хвостовой части, мм	Длина головной части, мм	Диаметр вставки, мм	Тип комбайна
U765K 2.5.63	25	65	64	16	1ГПКС, 12СМ18, 14СМ15, КШЗМ
U85AUS I6NB	30	72	85	16	АВМ-20, EL3000, 4LS20
AM510FG	30	75	75	16	S-200, KSW-460,475,500,620; SM-130
U94KHD	35	94	89	19	6LS5

Гамма изменяемых параметров резца включает возможность изменения формы и состава режущей вставки, способа закрепления в корпусе резца, геометрии головной части, применения составного резца и закрепляющего устройства иной конструкции.

Для армирования тангенциальных поворотных резцов главных образом применяют твердосплавные вставки: цилиндрической и грибковой форм. Цилиндрический (рис. 7.4, *а*) твердый сплав используют при прочных породах и небольшом заглублении резца. Грибковый (рис. 7.5, *б*) твердый сплав применяется при достаточно непрочных породах, в связи с тем, что благодаря зауженной посадочной части твердосплавной вставки более широкая ее часть защищает паяную поверхность, тем самым предотвращая вылом вставки при абразивном износе корпуса резца вокруг нее.

Также используют в качестве формы поверхности режущей вставки – тела вращения, не содержащие концентраторов напряжений в вершине.

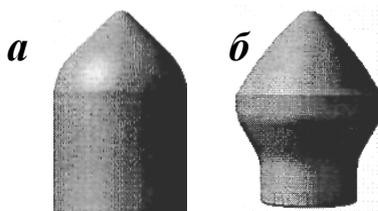


Рис. 7.4. Твердосплавные вставки:  
*а* – цилиндрической формы; *б* – грибковой формы

Таким образом, несмотря на наличие ГОСТов на конструкции резцов и огромный опыт их эксплуатации (несколько десятков лет), нет оснований утверждать, что возможности их исчерпаны. Напротив, именно в совершенствовании конструктивных элементов резцов заложены серьезные резервы увеличения их стойкости и, как следствие, производительности комбайнов.

В настоящее время тангенциальные поворотные резцы (ТПР) для очистных и проходческих комбайнов выпускают: ООО “Горный инструмент” (серия РШ), ООО “Кузнецкий машиностроительный завод” (серия РКС, РС, РП, РУ), ОАО “Гидромаш” (серия РГ, РП), ОАО “Копейский машзавод” (серия РС, РКС, ПС), ЗАО “Белтехнология и М” (серия РКС, ПС, UZ), ЗАО СП “Пигма-Кеннаметал” (серия РГ и G), фирма “РУМ-Сервис” (серия RG), ОАО “Кировоградский завод твердых сплавов” (серий D, G, J, K, M, N, P, Q, R, Z, Y, X), фирма “Kennametal” (серия U и AM и др.), компания “Sandvik Mining

and Construction” Швеция (серии P, Q, W, T). Подробнее конструктивные особенности перечисленных ТПР приводятся в прил. 1–10.

Фирма “Kennametal” (США) выпускает тангенциальные поворотные резцы (ТПР) для легких (light), средних (medium), тяжелых (heavy) и сверхтяжелых (severe) условий эксплуатации серий AM, K, KSM, MR, C, TS, U, YB, UC (см. прил. 10). Анализ геометрических параметров резцов показывает, что для легких и средних условий их головные части имеют вогнутую или коническую, а для тяжелых и сверхтяжелых, как правило, выпуклую поверхности. Твердосплавные вставки для Light и Medium имеют цилиндрическую форму и диаметр 12; 16; 17,5; 18; 19 мм. Для условий Heavy и Severe используются вставки цилиндрической и грибовой форм диаметром 19,5; 22 и 25 мм. ТПР фирмы “Kennametal” имеют хвостовики диаметром 25; 29; 30; 31; 32; 33; 35; 38; 51; 52; 76 мм, а также двухступенчатые хвостовики диаметрами 30×38 мм; 31×33 мм и конические 40×52 мм. Для легких и средних условий эксплуатации фирма выпускает резцы с головной частью, имеющей ребра жесткости (например, резец AM511PFGK357), а для тяжелых условий поверхность головной части резцов имеет упрочняющее покрытие (U200HF2.217,5; U200TSHF32.74; AM962HF).

Компания “Sandvik Mining and Construction” (Швеция) серийно выпускает тангенциальные поворотные резцы серий P, Q, W, T. Примеры конструкций этих резцов, резцедержателя и переходной втулки приведены на рис. 7.5.

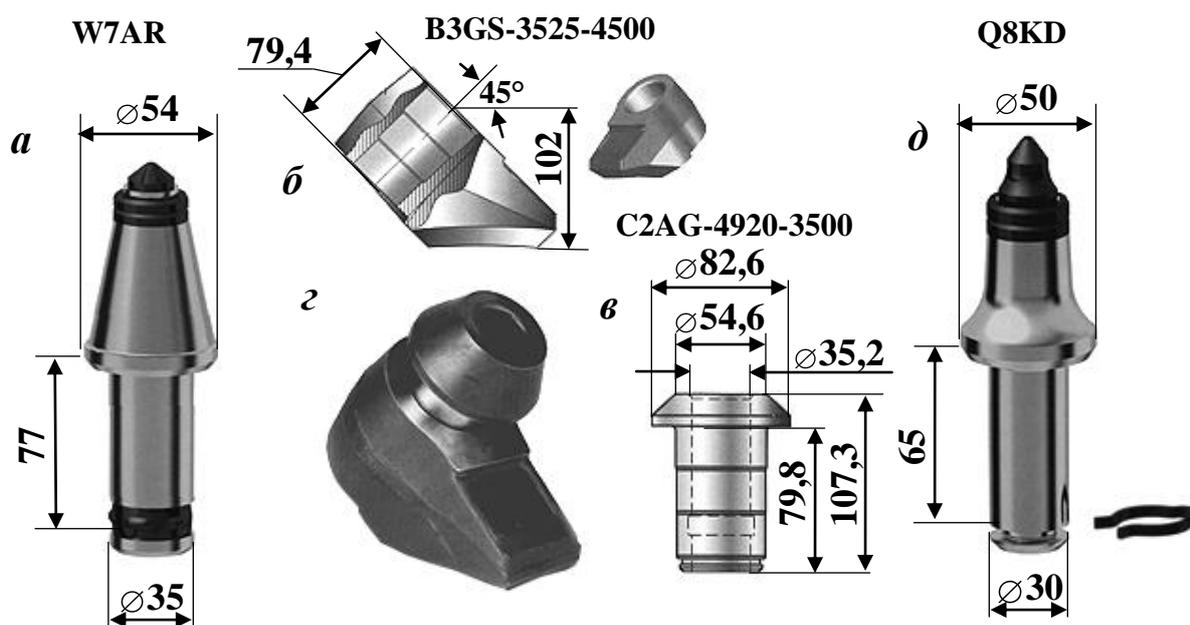


Рис. 7.5. Конструкции резцов, резцедержателя, переходной втулки

Для повышения стойкости резцедержателей хвостовики ТПР вставляются в них посредством переходной втулки, защищающей резцедержатель и исполнительный орган горной машины от износа. Резцедержатели “Sandvik” поставляются с вращающимися, невращающимися и запрессованными втулками, которые изготавливаются из высокопрочных сплавов, прошедших термообработку и высокочастотную закалку. Для улучшения вращения резцов внутри втулки их головная часть выполняется ребристой (Q7MF, Q8KF, Q8AF, T8AF). Резцы компании “Sandvik” выполняются с хвостовиками диаметрами 25, 30, 35, 38, 38×30, 43×35 и 50 мм. Для защиты головной части резцов от износа за твердосплавной вставкой устанавливаются карбидные кольца (W3AR, W3XA, W3XD, W6JX, W7AR, W7AX, T8AF, W8KD) – рис. 7.5, *а*. Карбидные кольца “Trispec TM” устойчивы к искрению, что особенно важно при работе на шахтах, опасных по газу и пыли. Для повышения прочности резцов их головные части имеют большую опорную поверхность диаметрами 35, 40, 41, 46, 48, 50, 51, 52, 54, 55, 58, 60, 62, 65, 67 мм. Этой поверхностью резец опирается на переходную втулку, а последняя – на резцедержатель. На рис. 7.5, *б* показан резцедержатель серии B3GC и переходная втулка C2AG – на рис. 7.5, *в* (серий C2AG, C2LG, C3BV, C4AS, C4BV, C4PA, C3PH, C4BU), а на рис. 7.5, *г* представлен резцедержатель в сборе. Компания “Sandvik” выпускает резцы как с наружными – рис. 7.5, *д* (K60, K76, K37, K30, K86, K104, K102, M8C-0033), так и с внутренними – рис. 7.5, *а* (K35, K36, K47SLV, K93, K80, K96, K90, M8C, K66) фиксаторами.

Твердосплавные вставки компании “Sandvik” (см. прил. 9) выпускаются коническо-цилиндрической рис. 7.6, *а* и грибковой форм рис. 7.6, *б* и 7.6, *в*.

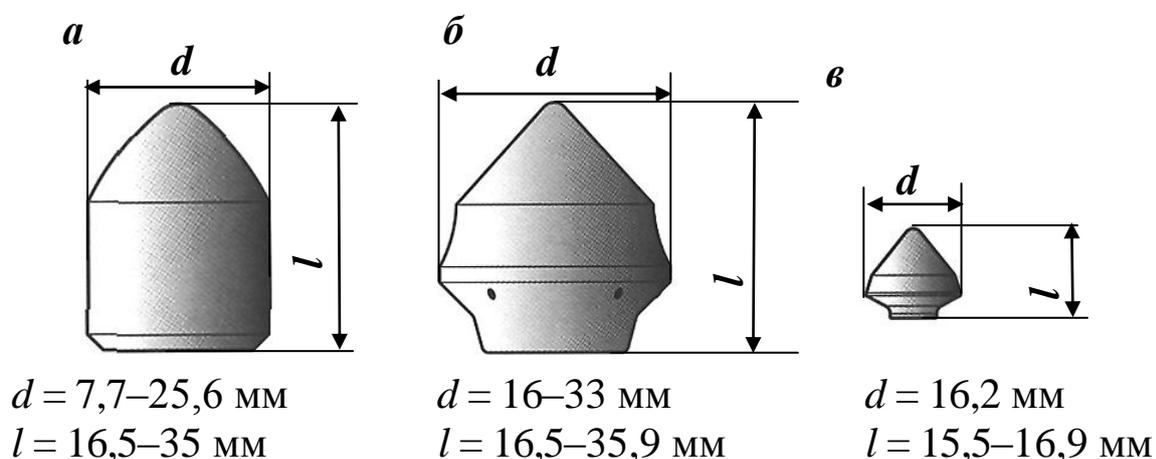


Рис. 7.6. Конструкции твердосплавных вставок

При этом вставки коническо-цилиндрической формы (рис. 7.6, а) рекомендуются для крепких, а грибовой формы (рис. 7.6, б и 7.6, в) для мягких и средней крепости пород. Твердосплавные вставки имеют омедненную посадочную поверхность, которая увеличивает прочность их соединения с головной частью резца.

Общий вид и основные размеры твердосплавных вставок производства ЗАО СП «Пигма-Кеннаметал», ОАО «Кировоградский завод твердых сплавов» представлены в прил. 4, 8.

ОАО «Завод Гидромаш» производит горный инструмент повышенной стойкости – поворотные ступенчатые резцы РГ401-12, РГ401-12С, РГ501-16, РГ501-16С (рис. 7.7) [36]. Резцы предназначены для оснащения исполнительных органов проходческих и очистных комбайнов. Дополнительно см. в прил. 2.

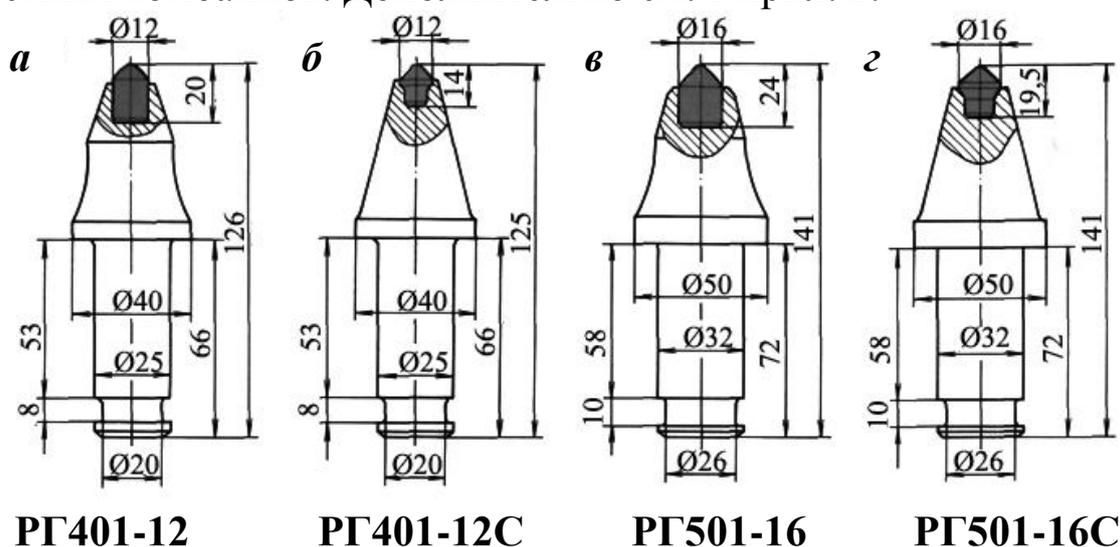


Рис. 7.7. Резцы серии РГ

При разрушении горных пород с пределом прочности на одноосное сжатие  $\sigma_{сж} \leq 50$  МПа и показателем абразивности  $a \leq 10-18$  мг рабочими органами проходческих комбайнов 1ГПКС стойкость резцов РГ401 в 6–8 раз превышает стойкость резцов РКС1.

При разрушении горных пород с пределом прочности на одноосное сжатие  $\sigma_{сж} \leq 70$  МПа и показателем абразивности  $a \leq 12-18$  мг рабочими органами проходческих комбайнов 4ПП-2М, 1ГПКС и очистных комбайнов К500 стойкость резцов РГ501 в 6–8 раз превышает стойкость РКС2.

*Преимущества резцов типа РГ:*

- высокая механическая прочность державки резца за счет применения высокопрочных сталей с последующей термообработ-

кой и надежное закрепление твердого сплава в державке методом пайки;

- низкая вероятность заклинивания резца в кулаке, что обеспечивает его самозатачивание и снижает динамику работы комбайна;

- повышенный срок службы за счет увеличения диаметра выступающей части резца и переноса его опоры на кольцевую часть в средней части резца;

- снижение удельного расхода резцов в 6–8 раз по сравнению с серийными РКС1, РКС2 и ЗР4.80;

- повышение производительности комбайна на 10–15 %.

Тангенциальные поворотные резцы типа РКС, РС, ПС различных заводов-изготовителей представлены в прил. 5, 6, 7. Расшифровка обозначений резцов типа РС, РШ представлена на рис. 7.8 и 7.9.

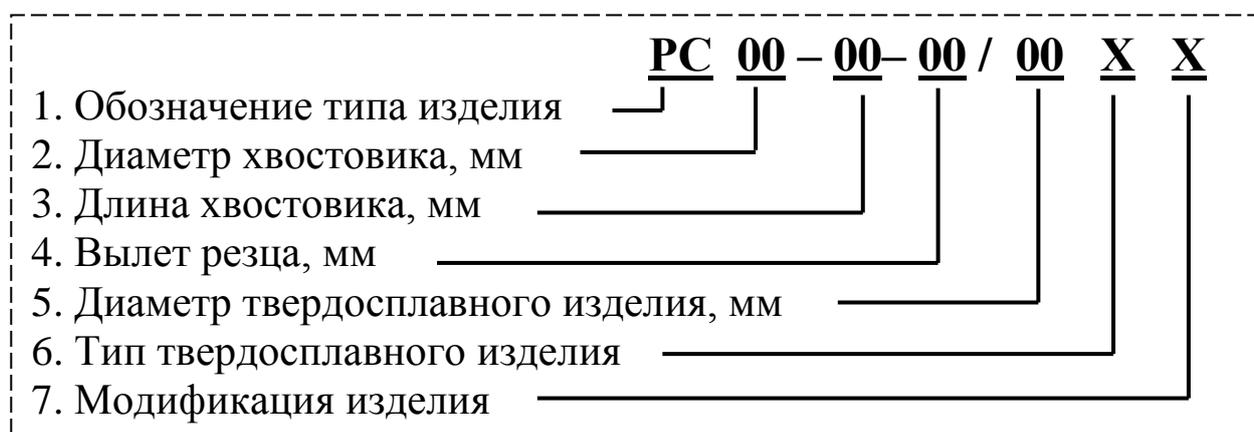


Рис. 7.8. Расшифровка обозначения резцов типа РС

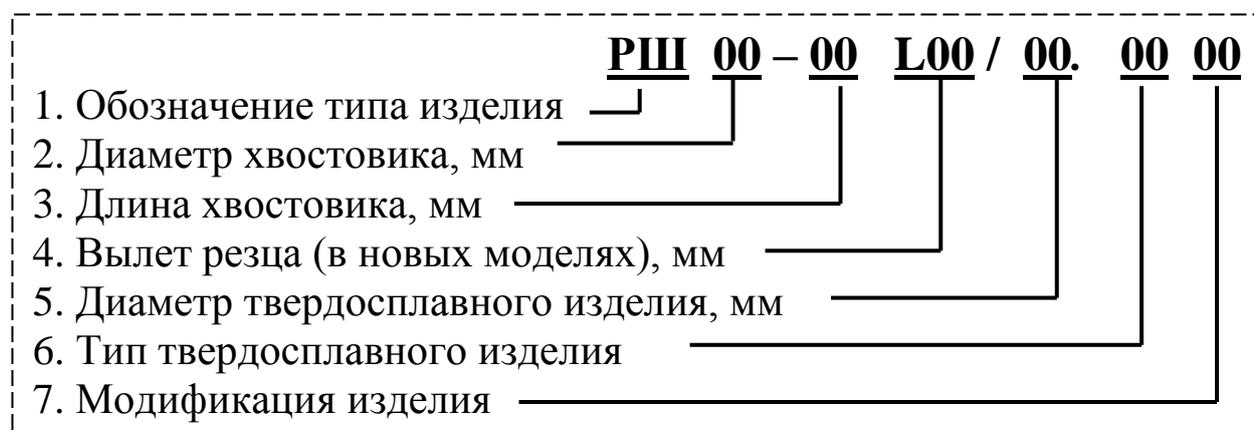


Рис. 7.9. Расшифровка обозначения резцов типа РШ

Тангенциальные поворотные резцы типа РШ для очистных и проходческих комбайнов производства ООО “Горный инструмент” (см. прил. 1) имеют двухступенчатую конструкцию, что позволяет перенести упор в резцедержателе с торцевой части хвостовика на кольцевую часть головки. Данное обстоятельство улучшает вращение резца, обеспечивает более равномерный износ цилиндроконических твердосплавных вставок и увеличивает эксплуатационную стойкость резцов в несколько раз по сравнению с резцами типа РКС-1 и РКС-2. Корпуса резцов типа РШ изготавливаются из высоколегированной стали и после термической обработки полностью обеспечивают требуемое сопротивление их стержней изгибу и срезу.

Тангенциальные резцы типа РШ разрабатываются специалистами завода ООО “Горный инструмент” под конкретные горно-геологические условия (табл. 7.3).

Таблица 7.3

Условия работы резцов РШ ООО “Горный инструмент”

Наименование условий	Легкие	Средние	Тяжелые	Сверхтяжелые
Обозначение условий	⊙ Л	⊙ С	⊙ Т	⊙ СТ
Характеристика массивов	Уголь ( $f = 0,8-2$ )	Уголь с прослойками породы ( $f = 2-5$ )	Уголь с прослойками породы ( $f = 2-5$ ) и твердыми включениями ( $f = 5-8$ )	Уголь с прослойками породы ( $f = 2-7$ ) и твердыми включениями ( $f = 7-10$ ) большой протяженности

Для правильного подбора резцов типа РШ, в зависимости от горно-геологических условий и типа оборудования, рекомендуется придерживаться следующих данных ООО “Горный инструмент” (табл. 7.4). Дополнительные сведения по конструкции, применимости и износу этих резцов представлены в табл. 7.1, 9.6 и прил. 1.

Таблица 7.4

## Применяемость резцов типа РШ ООО "Горный инструмент"

Диаметр хвостовика, мм	Тип резца	Применяемость	Горно-геологические условия			
			легкие	средние	тяжелые	сверхтяжелые
25	РШ 25-65/12	1ГПКС, 12СМ18, 14СМ15, КШ3М	+			
	РШ С-25-65L70/13		+			
	РШ С-25-65L72/16SK			+		
	РШ 25-65/16SK				+	
	РШ С-25-65L68/16SK				+	
30	РШ 30-72L85/16SK	АВМ-20, ЕL3000, 4LS20	+			
	РШ 30-72L80/16SK			+		
	РШ 30-72L90/17,5				+	
	РШ С-30-75L90/16SK	S-200, KSW-460 (475, 500, 620),SM-130	+			
	РШ 30-75/16			+		
	РШ 30-75/17,5				+	
	РШ 30-75/25					+
	РШ С-30-78L90/16SK	12СМ15	+			
	РШ 30-78/16SK			+		
	РШ 30-80L85/16SK	ЕТ-120 (210)	+			
РШ 30-80/16			+			
32	РШ 32-70-L90/16SK	КП-21, К-500, 2ГШ68, 1КШЭ, KSW-500, МВ12, КШ3М	+			
	РШ С-32-70-L90/16SK		+			
	РШ 32-70/16SK			+		
	РШ 32-70/16.M1			+		
	РШ 32-75-L90/16SK	4LS5, МВ-12, KGS, 4ПП2М, LH-1300	+			
	РШ С-32-75-L90/16SK		+			
	РШ 32-75/16			+		
	РШ С-32-78L90/16SK	KGS, KSW-460	+			
	РШ 32-78/16			+		
	РШ 32-80-L90/16SK	KSW-460	+			
РШ С-32-80-L90/16SK	+					
РШ 32-80/16			+			

Продолжение табл. 7.4

Диаметр хвостовика, мм	Тип резца	Применяемость	Горно-геологические условия			
			легкие	средние	тяжелые	сверхтяжелые
32	РШ 32-85-L90/12SK	П110, П220, KGS	+			
	РШ 32-85-L90/16SK		+			
	РШ С-32-85-L90/16SK		+			
	РШ 32-85/16			+		
	РШ 32-85/18SK				+	
	РШ С-32-85-L80/18SK				+	
	РШ 32-85/17,5					+
	РШ 32-85/18SK.M2					+
33	РШ 33-85/16	КСП 32 (42,22)		+		
	РШ С-33-85-L90/18SK			+		
	РШ С-33-85-L80/18SK				+	
	РШ 33-85/17,5					+
35	РШ 35-95/16	6LS5	+			
38	РШ 38-75/12,5	АМ-65(75), МК-2В	+			
	РШ С-38-75-L102/16SK		+			
	РШ 38-75/17,5.M1			+		
	РШ 38-75/17,5				+	
	РШ 38-75/19.M2				+	
	РШ 38-75/19.M1				+	
	РШ 38-75/19				+	
	РШ 38-75/22					+
	РШ 38-120/22				+	
	РШ 38-80/18SK	KSW-1140	+			
	РШ 38-80/17,5			+		
	РШ 38-110/16	SL-300(500)		+		

## 7.2. Конструктивные особенности гидромеханических тангенциальных резцов, область их применения, параметры

В настоящее время для расширения области применения горных машин в различных научных школах и НИИ проводятся исследования по созданию новых видов инструментов, которые совмещают в себе комбинацию различных существующих способов разрушения углей и пород (например, механический, электрофизический, гидравлический и другие).

За последние 30 лет на кафедре горных машин и комплексов ТулГУ сложилось научное направление, связанное с разработкой и совершенствованием гидроструйных технологий, в том числе и для горной промышленности (очистные и проходческие комбайны, струговые установки и др.) [49–52].

Комбинированный гидромеханический инструмент является базой для создания гидромеханических органных горных машин. Гидромеханический способ по сравнению с механическим обеспечивает следующие преимущества [49]:

- уменьшается нагрузка;
- охлаждается инструмент и снижается его износ;
- уменьшается пылеобразование;
- подавляется искрообразование при разрушении абразивных пород.

В частности, в работах [50, 51] предложено оснащать струги комбинированным гидромеханическим инструментом, выполненным по схеме “струя через резец”, который реализует одновременное воздействие на массив высоконапорных струй воды и механических резцов.

Гидромеханический резец 1 (рис. 7.10) [50] имеет форму тела вращения. На рабочей головке резца закреплена твердосплавная вставка 2 с отверстием 7. Струеформирующее устройство выполнено в виде расположенной коаксиально с зазором в продольном канале 5 резца трубки 6 со струеформирующей насадкой 3. Один конец трубки жестко соединен с подводящим коллектором 4. На свободном конце трубки закреплена соосно с соплом насадка 3 с выходным отверстием. Скорость резания составляла 2 м/с.

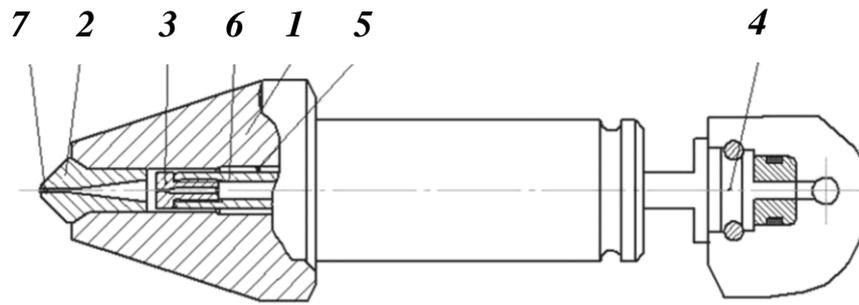


Рис. 7.10. Гидромеханический резец

При испытании этих резцов установлено, что изменение давления воды от 30 до 70 МПа приводит к снижению нагрузки на гидромеханических резцах до 47 % по сравнению с механическим инструментом.

Выявлено, что увеличение диаметра отверстия струеформирующей насадки существенно влияет на снижение нагрузки на гидромеханических резцах. Так, увеличение диаметра выходного отверстия насадки струеформирующего устройства от 0,4 до 0,8 мм приводит к уменьшению усилия резания в 1,9 раза.

Установлено рациональное отношение диаметра отверстия струеформирующей насадки к диаметру канала резца:  $d_o/d_k = 0,75$ , при котором обеспечиваются минимальная энергоёмкость процесса разрушения массива и максимальная интенсивность снижения нагрузки на резцах на единицу подводимой гидравлической мощности.

Использование гидромеханических тангенциальных резцов позволяет повысить производительность исполнительных органов горных машин, расширить область их применения без увеличения их габаритов.

С учетом достоинств и недостатков, выявленных при испытаниях гидромеханических исполнительных органов проходческих комбайнов КП-25 и 4ПП-2М, был создан и испытан в стендовых и промышленных условиях гидромеханический исполнительный орган ГМРО с встроенным в коронку источником воды высокого давления для проходческого комбайна 1ГПКС. Режущая коронка оснащалась 20 механическими резцами РГ401-16 и 20 струеформирующими устройствами с насадками диаметром 0,4 и 0,6 мм, расположенными в одной линии резания. Встроенный преобразователь обеспечивал давление воды у насадок диаметром 0,4 мм до

180 МПа с суммарным расходом воды 33 л/мин. Зонная система подачи высоконапорной воды обеспечивала одновременную работу 10 насадок [52].

Полученные результаты исследований (рис. 7.11) позволяют утверждать, что при использовании струй воды давлением 70–100 МПа и при наличии двигателя исполнительного органа мощностью 55 кВт (комбайн 1ГПКС) область применения гидромеханического комбайна может быть расширена на смешанные забои с прочностью пород с пределом прочности  $\sigma_{сж}$  до 70–80 МПа.

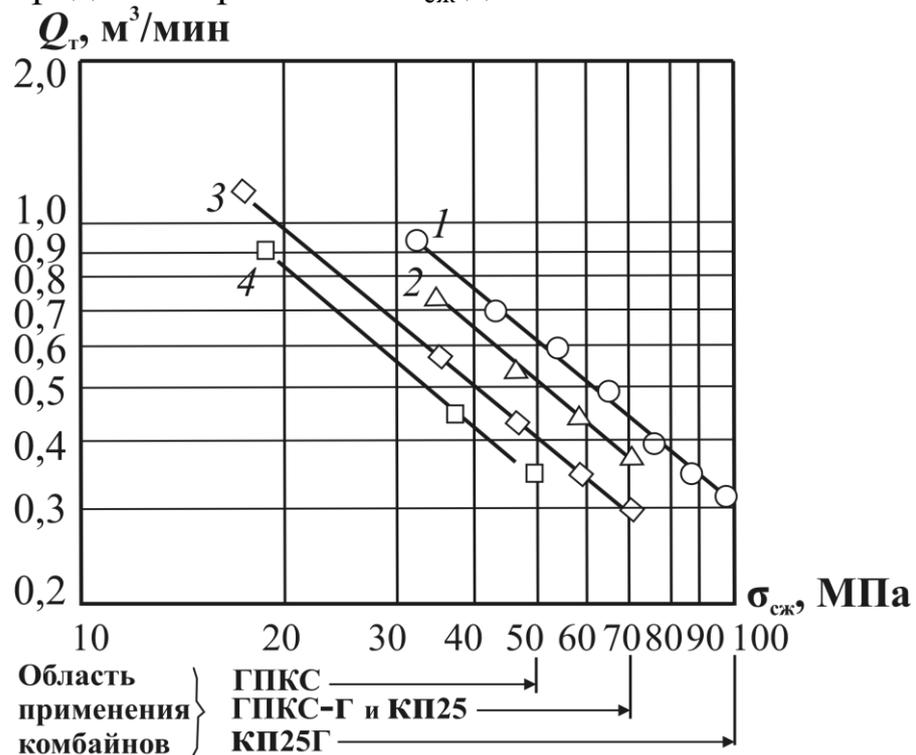


Рис. 7.11. Область применения и техническая производительность проходческих комбайнов в зависимости от прочности присекаемых пород:

- 1 – КП-25Г с гидромеханическим исполнительным органом;
- 2 – КП-25 с механическим исполнительным органом;
- 3 – ГПКС-Г с гидромеханическим исполнительным органом;
- 4 – ГПКС с механическим исполнительным органом

При двигателе исполнительного органа мощностью 140 кВт (комбайн КП-25) область применения комбайнов может быть распространена на забои с  $\sigma_{сж} = 100–110$  МПа. Таким образом, целесообразными являются следующие области применения гидромеханических исполнительных органов комбайнов:

- породные и смешанные забои с присечкой пород прочностью до 100–110 МПа, где комбайновый способ проходки может заменить БВР;

- смешанные забои с присечкой пород прочностью до 70–80 МПа, где легкие комбайны типа ГПКС с гидромеханическим исполнительным органом могут конкурировать с комбайнами КП-25, значительно более мощными и дорогостоящими.

### 7.3. Формы и параметры головных частей ТПР

Как видно из рис. 7.12, головная часть ТПР может быть цилиндрической, вогнутой, конической или выпуклой. Цилиндрическая и вогнутая применяется в резцах, используемых при разрушении углей  $f = 0,8–2$ . Вогнутая поверхность головной части имеет, по сравнению с конической и выпуклой, наименьшее поперечное сечение. Это обеспечивает минимальное сопротивление резанию и пылеобразованию, минимальную энергоемкость процесса резания.

Коническая головная часть применяется, как правило, у резцов, разрушающих уголь с прослойками породы  $f = 2–5$ .

Для резцов, работающих по углям с прослойками породы  $f = 2–7$  или твердыми включениями  $f = 5–10$ , используются резцы с конической и выпуклой поверхностью головной части. Классификация головных частей тангенциальных поворотных резцов (ТПР) приведена на рис. 7.13.

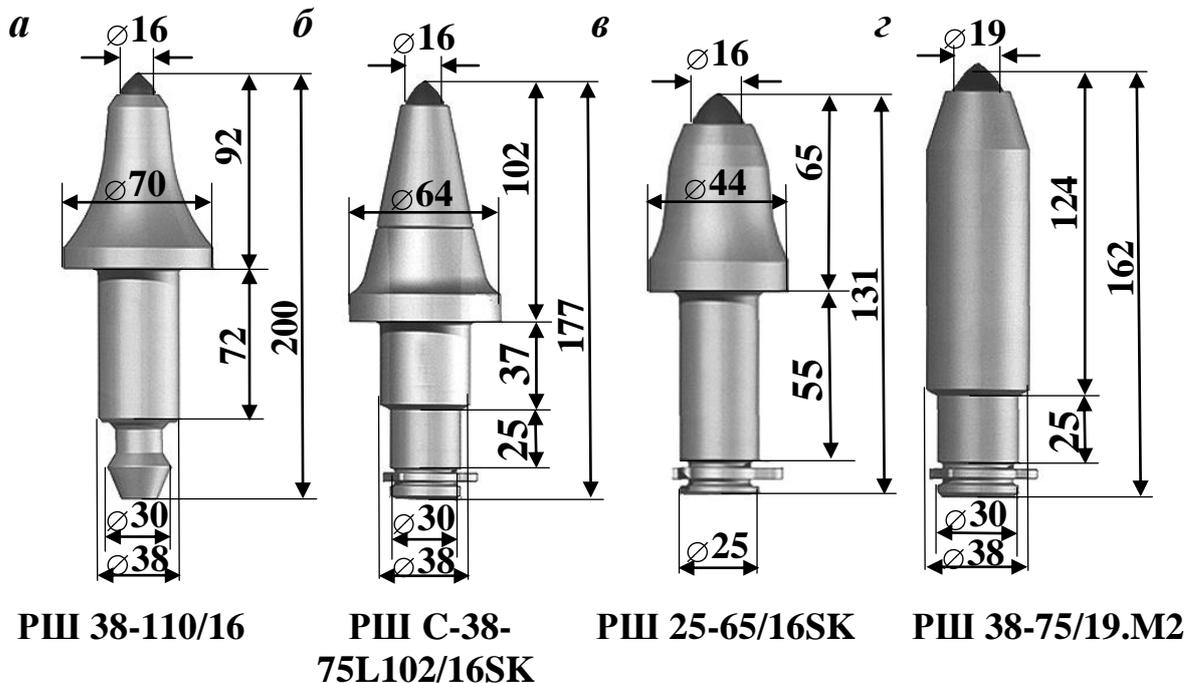


Рис. 7.12. Формы поверхностей головных частей ТПР:  
а – вогнутая; б – коническая; в – выпуклая; г – цилиндрическая

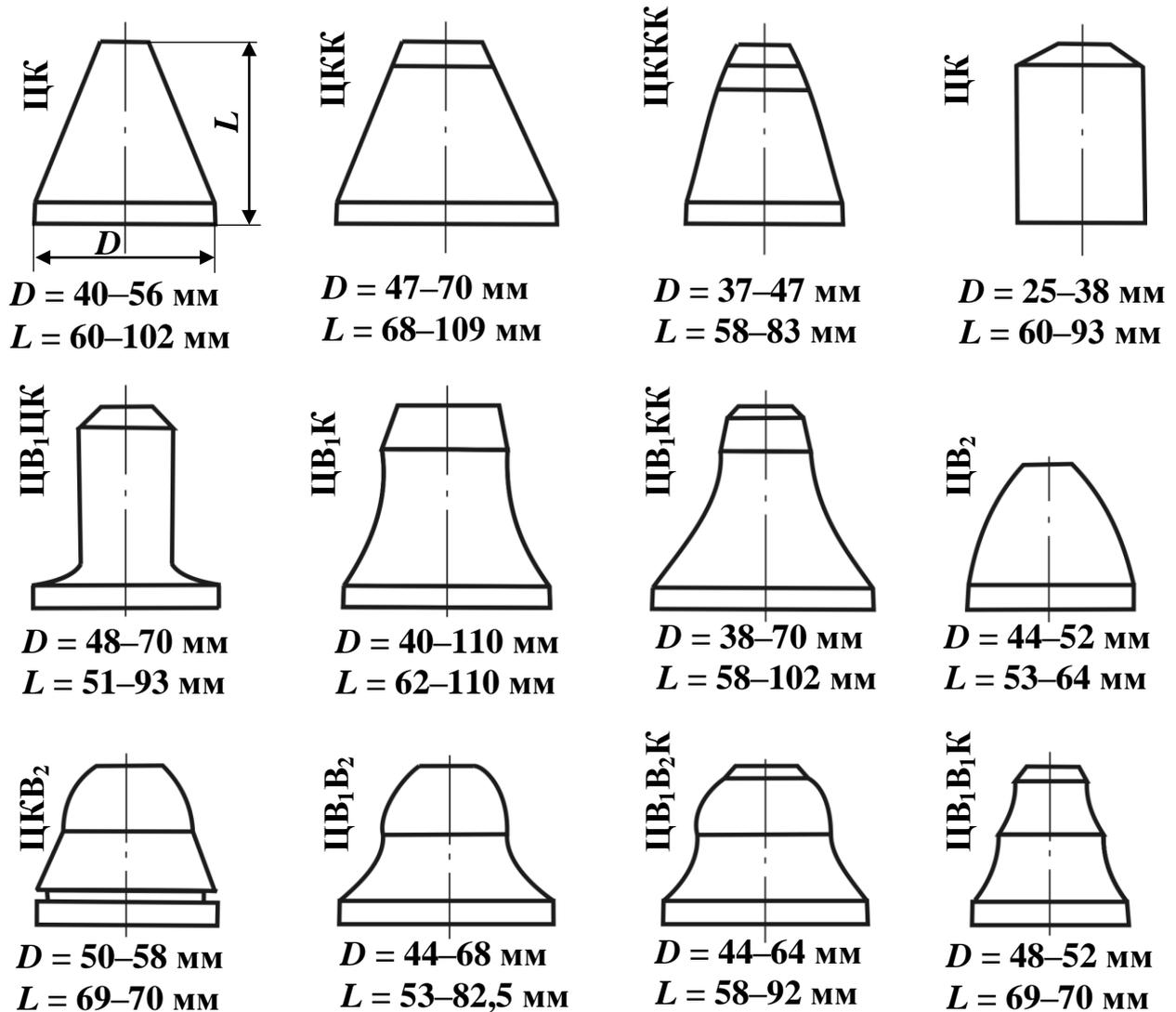


Рис. 7.13. Классификация головной части поворотных резцов: Ц – цилиндрическая; К – коническая; В<sub>1</sub> – вогнутая; В<sub>2</sub> – выпуклая поверхности;  $D$  – диаметр цилиндрической части;  $L$  – длина головной части

В качестве примера и анализа головных частей поворотных резцов можно принять во внимание информацию ОАО “Кировоградский завод твердых сплавов” ([www.kzts.ru](http://www.kzts.ru)) [28].

#### 7.4. Формы и параметры твердосплавных вставок ТПР

На основе анализа конструкций более двухсот твердосплавных вставок производства ОАО “Кировоградский завод твердых сплавов”, фирмы “Boart”, ЗАО “Пигма-Кеннаметал”, компании “Sandvik”, фирмы “Kennametal” и др. выбраны лучшие, получившие наибольшее применение в ТПР (представлены на рис. 7.14). Допол-

нительная информация по твердосплавным вставкам представлена в прил. 4, 8, 9.

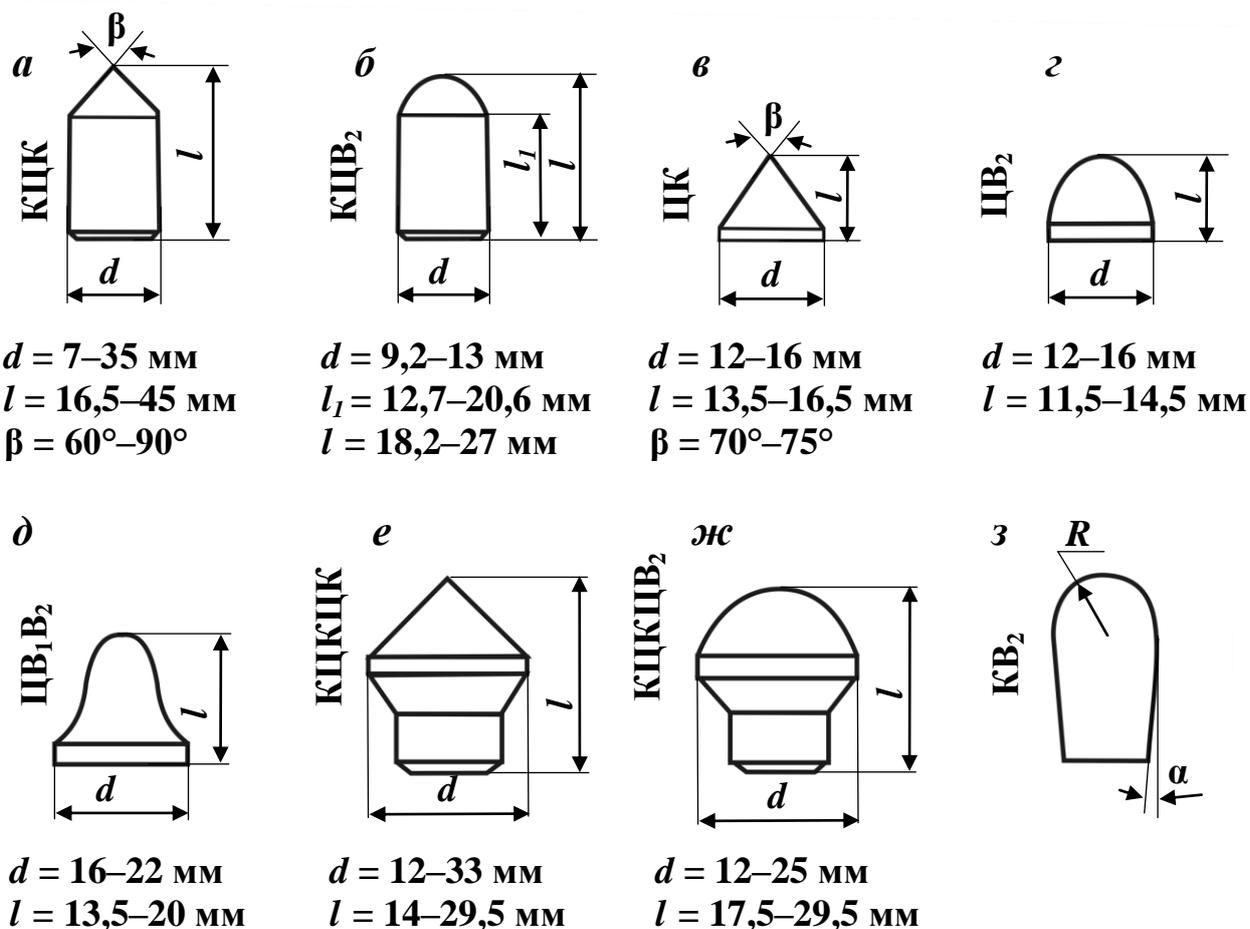


Рис. 7.14. Формы твердосплавных вставок ТПР: Ц – цилиндрическая; К – коническая; В<sub>1</sub> – вогнутая; В<sub>2</sub> – выпуклая поверхности;  $d$  – диаметр вставки;  $l$  – длина вставки;  $\beta$  – угол заострения вставки

Например, обозначение и размеры твердосплавных вставок производства ОАО “Кировоградский завод твердых сплавов” разделены по группам В, К, D, Е, F, L, S ([www.kzts.ru](http://www.kzts.ru)) [28]. Каждая группа имеет несколько индексов, каждый индекс охватывает в себе конкретные размеры для вставок.

## 8. КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ БУРОВЫХ РЕЗЦОВ

Инструмент сверла состоит из штанги и съемного резца, армированного твердым сплавом. Штанги изготавливают из витой, шестигранной или круглой пустотелой буровой стали. Круглые и шестигранные штанги применяют при бурении с интенсивной промывкой, требующей значительного расхода жидкости.

При бурении с увлажнением применяют штанги из пустотелой витой стали. Буровая мелочь выдается шнеком штанги.

Буровой инструмент для сверл конструктивно выполнен одинаково. Буровая штанга состоит из хвостовика, тела штанги, головки с отверстием, в которое вставляется хвостовик резца, закрепляемый шплинтом. Резцы для сверл изготавливают из легированной стали и перья их армируют пластинками твердого сплава ВК-6, ВК-8 или ВК-8П. Для работы с промывкой резцы имеют осевой канал для подачи воды в шпур.

Различают резцы угольные, углепородные и породные. Как угольный, так и породный резцы состоят из перьев с режущими кромками корпуса и хвостовика для крепления резца в головке буровой штанги. Резец имеет переднюю и заднюю грани, пересечения которых образует главную режущую кромку и кромку рассечки.

*Резцы угольные (РУ)* предназначены для ручных сверл при работе по углю любой крепости и породам с коэффициентом крепости до  $f = 3$  по шкале проф. М. М. Протодяконова (аргиллиты).

*Резцы углепородные (РУП)* – для ручных и колонковых сверл при работе по углю любой крепости и породе с коэффициентом крепости  $f = 3–6$  (алевролиты).

*Резцы породные (РП)* – для колонковых сверл и бурильных установок при бурении пород с коэффициентом крепости  $f = 6–10$  (песчаники). Резцы типа РП предназначены для использования в комплекте с шестигранными штангами типа ШБ.

Резцы породные типа РП ООО “Кузнецкий машиностроительный завод” (прил. 5) предназначены для бурения шпуров под анкерную крепь ручными и колонковыми сверлами, установками “Rambor”, “Wombat” с промывкой, продувкой по углю любой крепости и по породам с коэффициентом крепости до  $f = 10$  по шкале проф. М. М. Протодяконова. Соединение со штангой резьбовое.

Конструктивные параметры буровых резцов различных производителей представлены в прил. 1, 5.

Расшифровка обозначений буровых резцов типа РП производства ООО “Горный инструмент”, например: РП-30М, РП 30/14М, представлена на рис. 8.1. Дополнительные сведения по конструкции этих буровых резцов представлены в прил. 1.

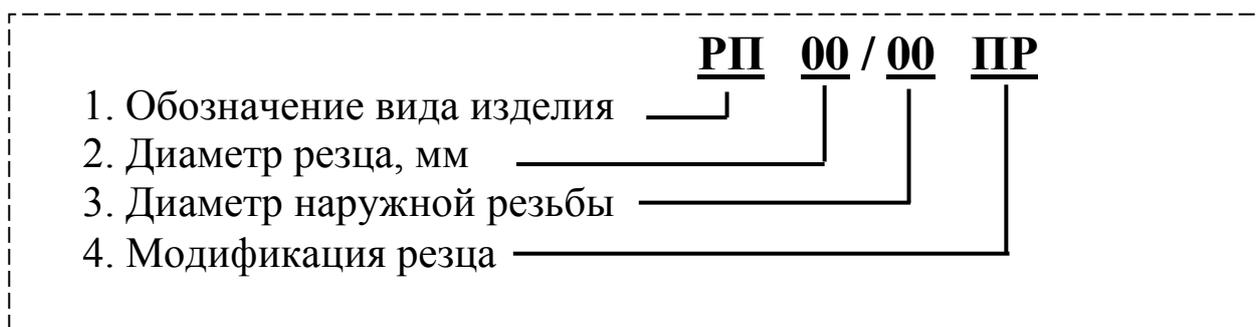


Рис. 8.1. Расшифровка обозначения буровых резцов

Резцы угольные РУ диаметром 42, 43, 44, 50 мм имеют большие размеры рассечки и положительные или нулевые передние углы. Это способствует снижению усилия подачи, что особенно важно для ручных сверл. Как видно из прил. 5 угольные резцы (например, РУ-43) имеют V-образную рассечку. Углеродные резцы РУП имеют диаметр 42, 43, 44 мм, симметрично расположенные перья (например, РУ-6; УР-13) и U-образную рассечку.

Породные резцы РП имеют диаметр 25, 27, 28, 30, 43, 46, 50 мм. При этом для хрупких пород рассечка имеет V-образную, а для вязких – U-образную форму. В корпусе породных резцов для промывки предусмотрены 1–2 отверстия, так как выдача продуктов разрушения из шпура производится путем его промывки водой.

Резцы РП диаметром 25 мм применяются на пневматических бурильных установках типа “Rambor”, “Wombat” и др.

Резцы РП отечественного и импортного производства диаметром 27–43 мм устанавливаются на штангах машин для возведения анкерной крепи МАП-1, БУА-3 (РФ), МР600, Р650 фирмы “Тамрок” (Финляндия), 1ТВ, 1ТТ фирмы “Гарднер-Денвер” (США), “Атлас-Копко” (Швеция) и др. Эти же резцы нашли применение в навесном бурильном оборудовании комбайнов типа ПК (РФ), 12СМ30 (США), АБМ-20 (Австрия), бурильных машинах ЭРП-18Д (РФ), типа “Turmag”, “Rambor”, “Wombat” и др.

Создание новых буровых резцов должно идти по пути: повышения стойкости и прочности в связи с возросшими энергетическими и силовыми параметрами бурильных машин; повышения термостойкости резцов для крепких пород с целью увеличения частоты их вращения и соответственно производительности; применения новых материалов (включая алмазы и безвольфрамовые сплавы); унификации и улучшения качества изготовления.

### 8.1. Твердосплавные вставки для армирования резцов вращательного бурения

Ведущими производителями твердых сплавов для горного инструмента в России полного производственного цикла являются компании ОАО «Твердосплав» ([www.tverdosplav.ru](http://www.tverdosplav.ru)) и ОАО «Кировоградский завод твердых сплавов» ([www.kzts.ru](http://www.kzts.ru)). Выпускаемые твердые сплавы: изделия буровые и горные для армирования коронок, тангенциальных резцов, шарошечных долот. Эти изделия в зависимости от назначения имеют разные формы, а каждая форма имеет конкретные геометрические параметры.

В качестве примера можно отметить твердосплавные вставки ОАО «Твердосплав» форм Г32, Г33, Г34, Г34а, Г36, Г37, Г38, Г40, Г63 по ГОСТ 880-75 [53], применяемые для армирования буровых резцов (рис. 8.2–8.5).

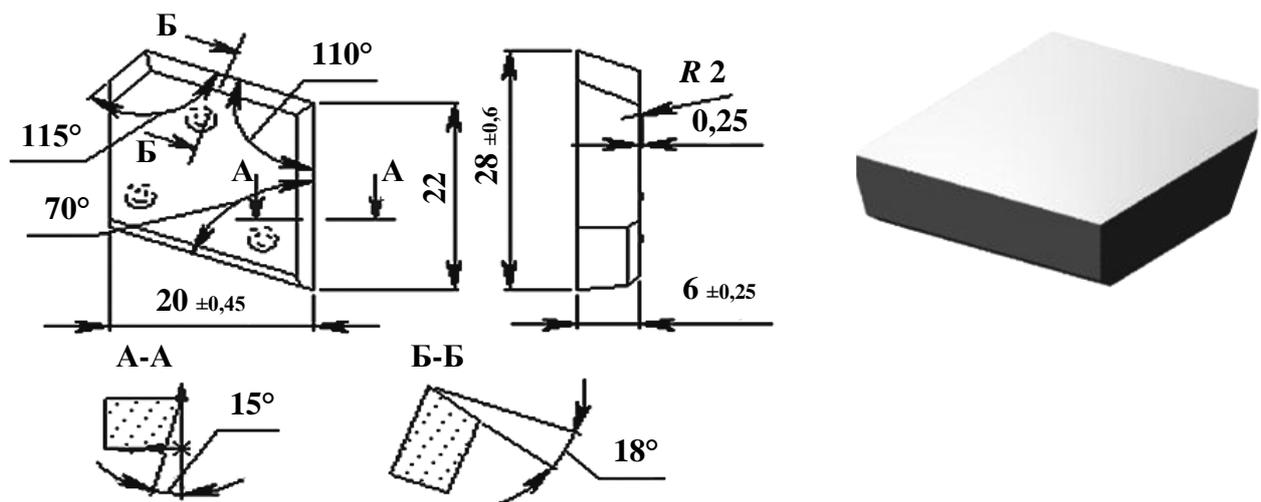


Рис. 8.2. Форма Г32 для армирования резцов вращательного бурения

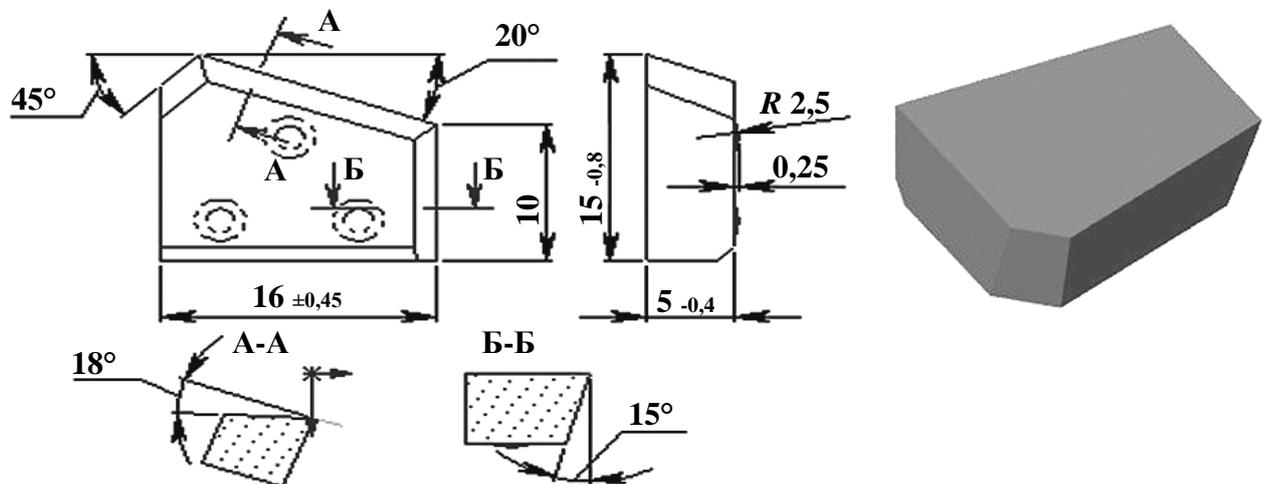


Рис. 8.3. Форма Г33 для армирования резцов вращательного бурения

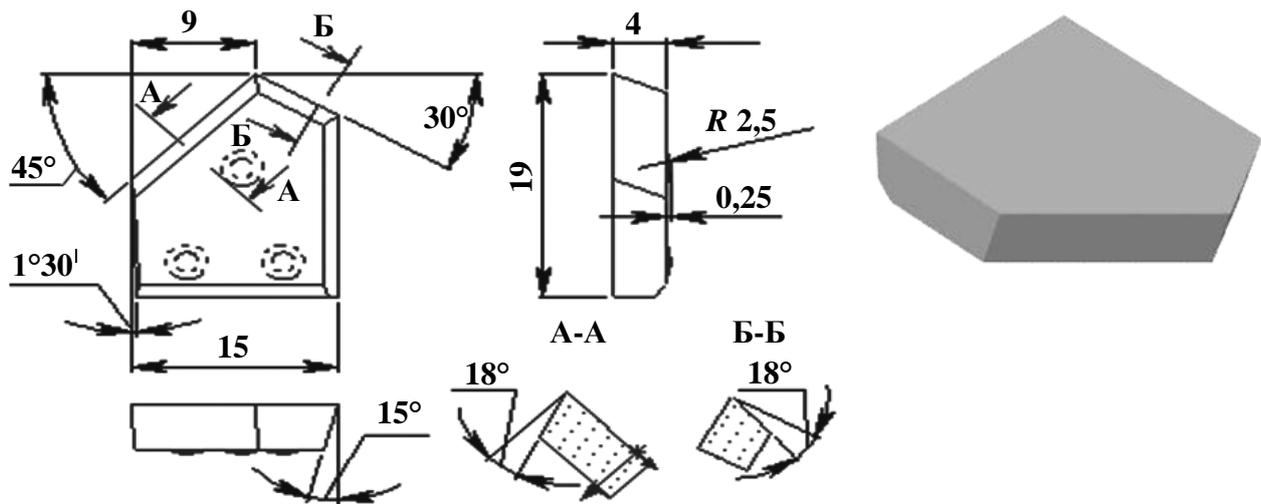


Рис. 8.4. Форма Г34 для армирования резцов вращательного бурения по углю и мягким породам

Как видно из рисунков, они имеют клиновидную форму с углом заострения при вершине  $97\text{--}115^\circ$ . Вставки с такой геометрической формой обеспечивают эффективное вращательное бурение шпуров по углю и мягким породам и минимальный износ наиболее подверженной этому периферийной части бурового резца.

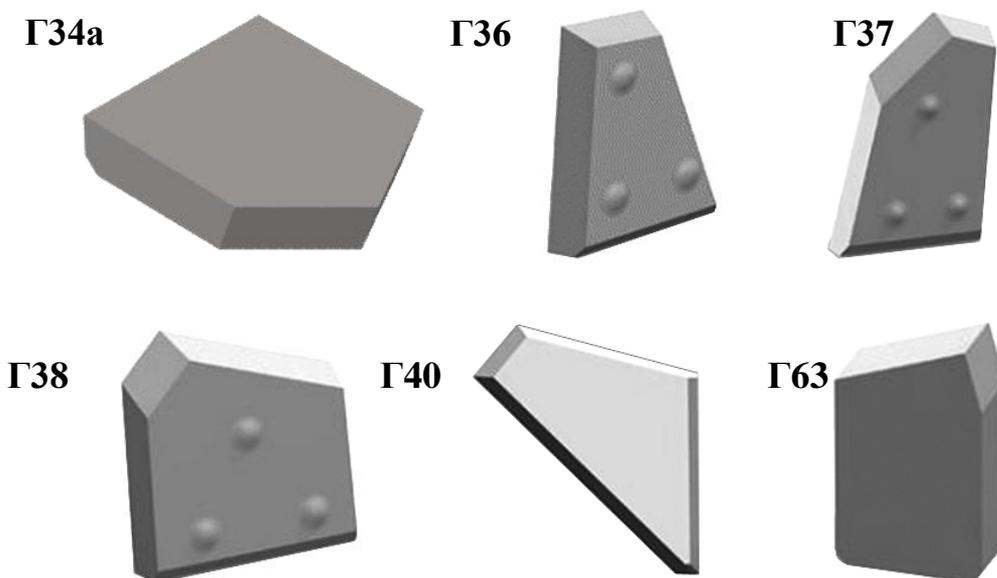


Рис. 8.5. Формы изделий для армирования буровых резцов

Представленные на рис. 8.5 формы изделий предназначены:  
 Г34а – для армирования резцов вращательного бурения по углю и мягким породам;  
 Г36 – для армирования резцов вращательного бурения по углю;

Г37 – для армирования резцов вращательного бурения по углю и мягким породам;

Г38 – для армирования резцов вращательного бурения;

Г40 – для армирования резцов вращательного бурения шпуров по вязким горючим сланцам и породам в сланцевых шахтах;

Г63 – для армирования резцов вращательного бурения по породам средней крепости и крепким.

## **9. ИЗНОС РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА**

### **9.1. Терминология и критерии износа**

Изнашивание горных инструментов является многоплановым физическим процессом, который по своей сложности и значению можно поставить в один ряд с процессами изнашивания машин и металлообрабатывающего инструмента. Специфичность процессов разрушения горных пород придает этому явлению свои присущие только ему особенности, что позволяет считать закономерности изнашивания горных инструментов и связанные с ними вопросы крупной научной проблемой.

На износ режущих инструментов влияет большое число факторов, которые можно разделить на четыре основные группы: свойства горных пород как изнашиваемой среды; свойства материала и геометрические параметры инструмента как изнашиваемого объекта; параметры режима работы инструмента; свойства твердых сред [54].

Целесообразно, чтобы терминология по возможности отражала сущность физических процессов, сопровождающих износ, и, наряду с этим, соответствовала потребностям горного производства.

Ниже приведены основные, наиболее распространенные и обоснованные термины и понятия [22, 23].

*Изнашиванием* называется процесс изменения размеров и геометрии инструмента, происходящий в результате уменьшения его объема под влиянием сил трения при разрушении горных пород.

*Износ* – результат изнашивания, измеряемый потерей объема или массы инструмента или оцениваемый по изменению размеров и формы инструмента либо других косвенных признаков.

*Износостойкостью* (или, для краткости, *стойкостью*) называется путь трения (резания), пройденный инструментом до его износа.

Различают стойкость за один период работы инструмента – до его снятия на переточку, которую в дальнейшем будем называть просто стойкостью, и стойкость до полной амортизации инструмента, которую будем называть полной стойкостью.

Применительно к конкретной машине или технологическому процессу стойкость может измеряться объемом или массой разрушенной горной породы, длиной пробуренных шпуров или скважин и т. д.

Однако наиболее обоснованным физически критерием стойкости является путь разрушения.

Наряду с перечисленными, на практике широко применяют удельные показатели:

- *удельный износ* – износ, приходящийся на единицу пути разрушения;

- *удельный расход инструмента* в штуках на единицу добытой горной породы. Для характеристики стойкости принимают в расчет как полностью затупленный инструмент, так и приведенный износ сломанного инструмента, поскольку последний до поломки частично изнашивается.

Изменение формы и размеров инструмента в процессе изнашивания протекает различно в различных условиях. Поверхности износа нередко имеют сложные очертания. Показатели износа служат не только для характеристики стойкости инструментов, но и для подсчета нагрузки на них. Поэтому для характеристики износа требуется несколько показателей (рис. 9.1):  $l$  – высота истертого слоя или износ по высоте, измеренный по линии действия усилия подачи (осевого усилия), мм;  $\Delta$  – линейный износ по задней грани, мм;  $\theta_{\text{п}}$  – угол профиля, град;  $r_c$  – радиус скругления лезвия, мм;  $F_3$  – проекция площадки износа по задней грани на плоскость резания, мм<sup>2</sup>;  $V$  – объем изношенной части, мм<sup>3</sup>.



Рис. 9.1. Характеристики износа режущих инструментов

Эти показатели связаны между собой определенными соотношениями. Однако каждый из них имеет и самостоятельное значение, например, износ по высоте может быть использован для сравнительной характеристики износостойкости инструментальных материалов различных конструкций резцов; проекция площадки износа – для подсчета нагрузок на инструмент и т. д.

Известны и другие показатели износа, применяемые при специальных исследованиях.

Для оценки износа буровых резцов определяется износ по диаметру.

Стойкость режущего инструмента измеряется в метрах (или километрах) пути резания –  $L_c$ . Полная стойкость инструмента обозначается через  $L_{п.с.}$

## 9.2. Механизм изнашивания режущих твердосплавных инструментов

Рассматривая горные породы как изнашивающую среду, схематически можно представить себе два существенно различных случая работы инструмента [22, 23] (рис. 9.2).

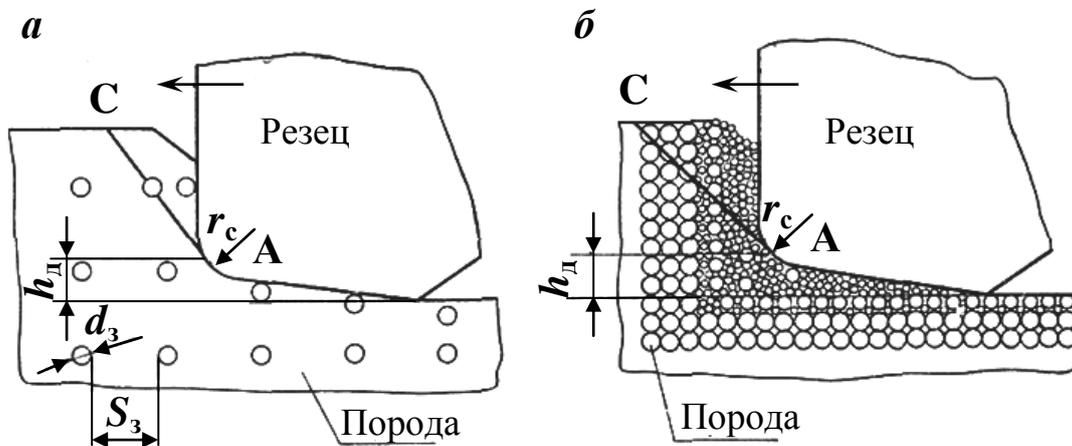


Рис. 9.2. Схемы взаимодействия резца с породой при его изнашивании

1. Порода состоит из твердых зерен, имеющих средний диаметр  $d_3$  (рис. 9.2, а), связанных между собой более мягким цементом и расположенных друг от друга на среднем расстоянии  $S_3 \geq h_d$ . К таким породам можно отнести некоторые песчаники с базальным цементом, каменные угли и т. д.

2. Порода состоит из зерен, вплотную расположенных друг к другу и связанных цементом (рис. 9.2, б). Такими являются песчаники с регенерационным цементом. В первом случае разрушение происходит главным образом за счет цемента, который при этом разрушается и уплотняется в подрезцовой зоне. Самые твердые зерна, как правило, не разрушаются. Следовательно, величина контактных давлений определяется сопротивлением цемента разрушению, которое в свою очередь зависит от прочности цемента и характера напряженного состояния.

В этом случае именно по цементу происходит образование макротрещин и скалывание породы в сторону обнаженной поверхности.

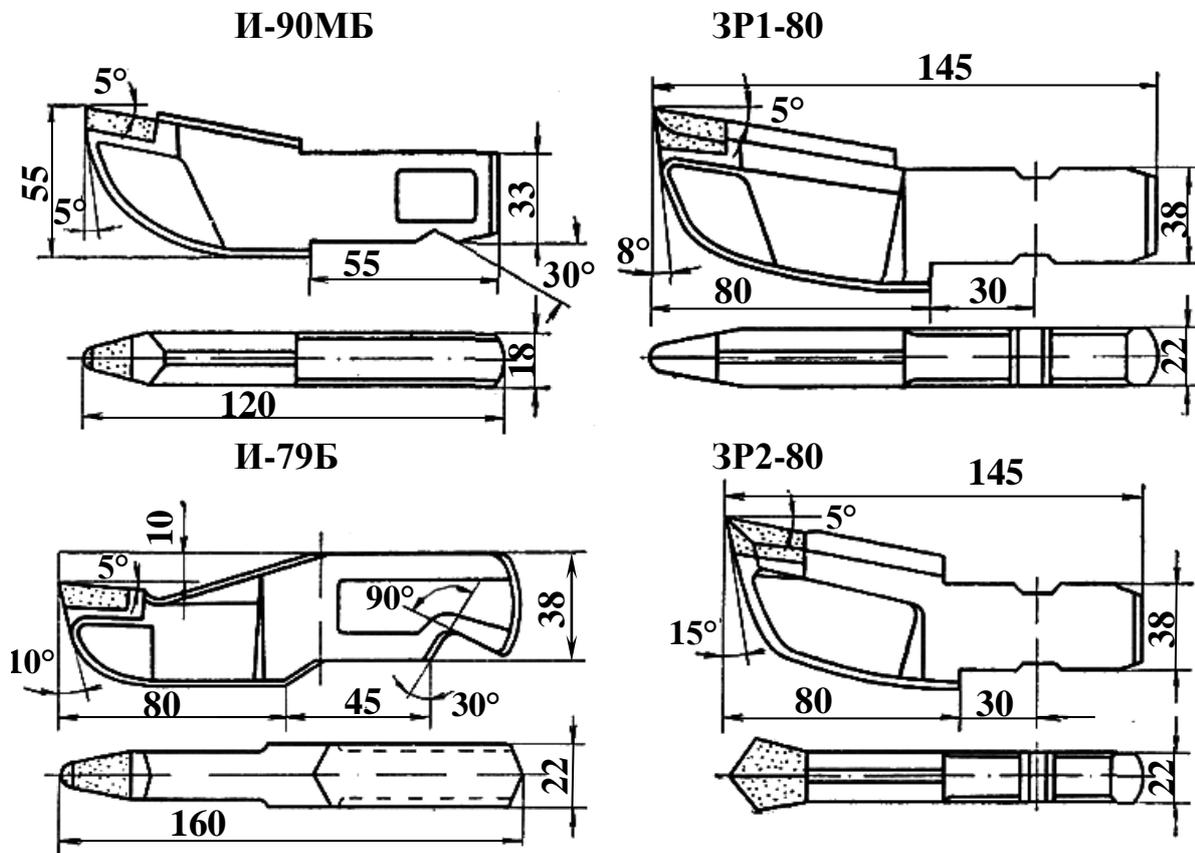


Рис. 9.3. Радиальные резцы для шнековых и барабанных органов угольных комбайнов

Во втором случае разрушение происходит также по цементу с образованием макротрещины, но из-за того, что зерна располагаются очень плотно, плоская передняя грань резца дробит крупные зерна породы.

Экспериментально доказано, что при разрушении крупнозернистого песчаника из зерен размером до 2,2 мм образуется большое

количество мелких зерен размером 0,3–0,8 мм. Именно этим можно объяснить то, что на смену резцам И-90МБ, И-79Б с твердосплавными пластинками с плоской передней гранью пришли радиальные резцы с клиновидной гранью ЗР1-80, ЗР2-80 (рис. 9.3).

Испытания этих резцов показали, что существенно уменьшается дробление зерен, пылеобразование и интенсифицируется процесс трещинообразования. Кроме этого, результаты производственных испытаний подтвердили высокую прочность резцов с клиновидной передней гранью. Следовательно, величина контактных давлений обусловлена прочностью твердых зерен и характером напряженного состояния при их разрушении.

Из опытов (рис. 9.4) следует, что у острого лезвия как на передней, так и на задней грани сосредоточены большие контактные давления, достигающие величин в 10–40 раз больших временного сопротивления одноосному сжатию  $\sigma_{сж}$ . Особенно велики они у краев режущей кромки в месте сопряжения ее с боковой гранью. По мере удаления от режущей кромки контактные давления быстро снижаются и становятся меньше сопротивления одноосному сжатию  $\sigma_{сж}$ .

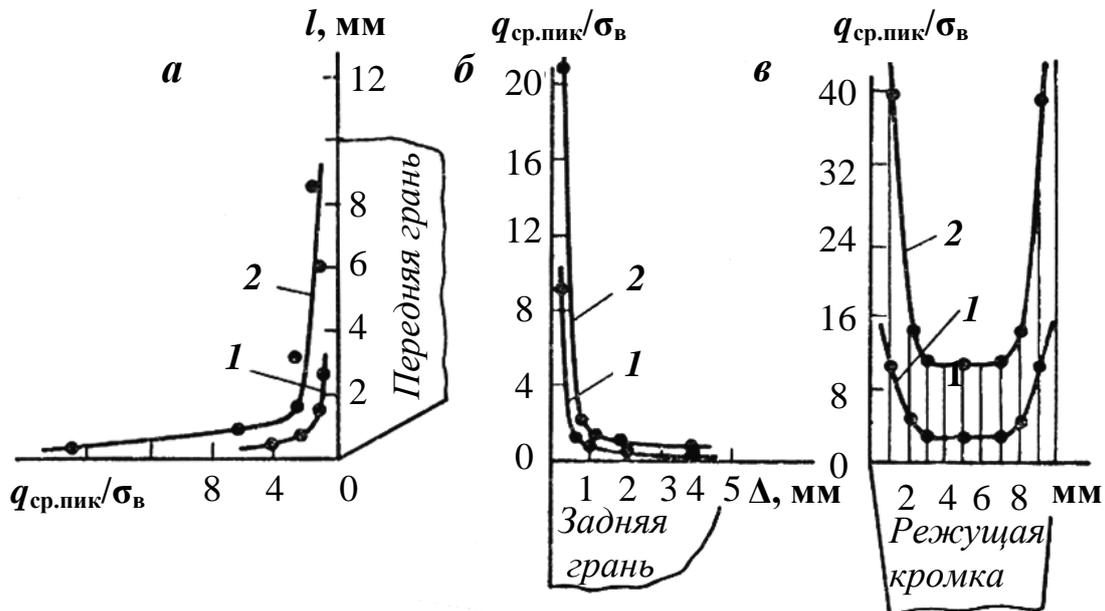


Рис. 9.4. Распределение относительных величин контактных давлений по рабочим площадкам радиального резца: а, б, в – соответственно по передней и задней граням и по ширине режущей кромки и толщине стружки: 1 – 0,5 см; 2 – 1,5 см

Замена твердосплавных пластин с плоской передней гранью на клиновидную существенно изменяет картину распределения контактных давлений по рабочим площадкам резца.

### 9.2.1. Влияние формы передней грани радиальных резцов на износ

В результате анализа отечественных и зарубежных конструкций было разработано [22, 23], изготовлено и исследовано восемь типов экспериментальных резцов, схемы режущей части которых представлены на рис. 9.5.

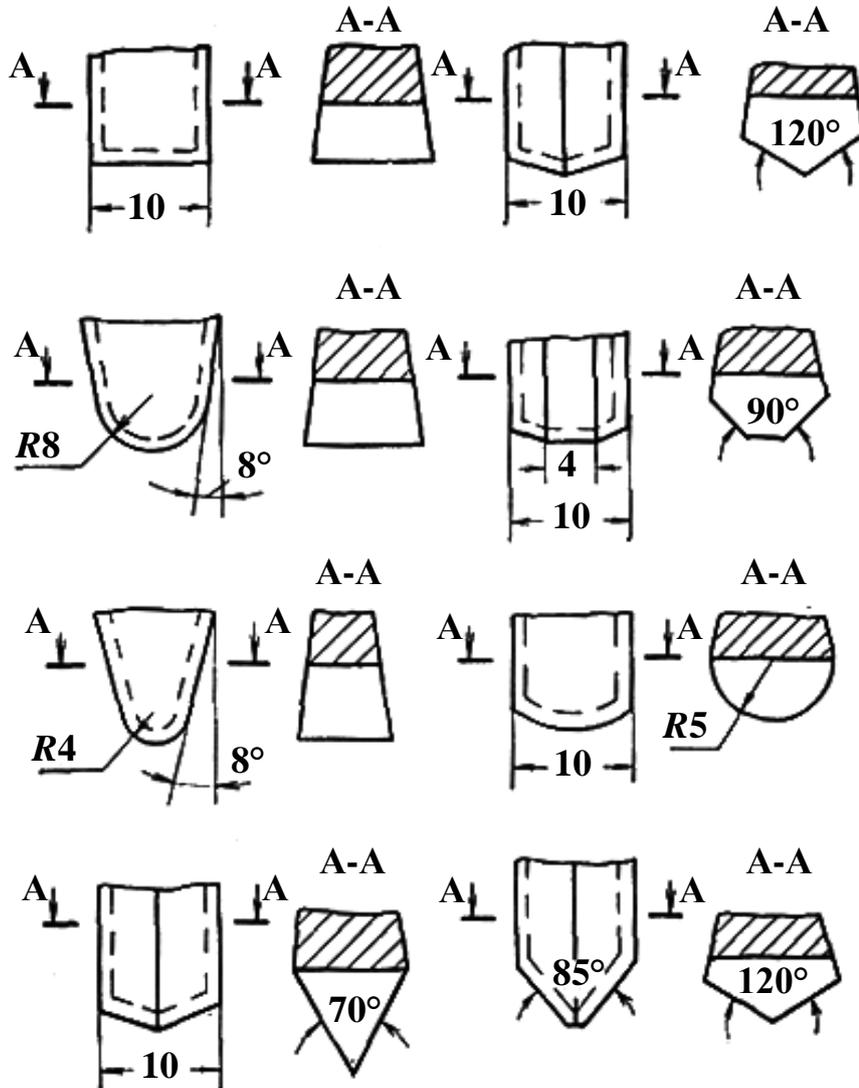


Рис. 9.5. Схемы режущих частей экспериментальных радиальных резцов, применявшихся при исследовании износа

Геометрические параметры их были одинаковыми: передний угол  $\gamma = 0^\circ$ , задний угол  $\alpha = 6^\circ$ , угол заострения  $\beta = 84^\circ$ , угол резания  $\delta = 90^\circ$ , боковые углы  $\omega = 6^\circ$ . Ширина передней поверхности, где это возможно, принималась 10 мм.

Геометрия резца выдерживалась с точностью до  $0,5^\circ$  с последующей алмазной доводкой рабочих граней на станке 3А-64. Твер-

дость вставок сплава ВК8В измеряли по прибору ТП-2, она составляла по Роквеллу  $87,4 \pm 0,3$ .

Исследования проводили на однородном среднезернистом песчанике средней крепости с  $\sigma_{сж} = 1100 \text{ кгс/см}^2$ ,  $p_k = 125 \text{ кгс/мм}^2$ ,  $a = 28 \text{ мг}$ . Среднее квадратическое отклонение опытных данных относительно полученных зависимостей находилось в пределах 5,2–13,3 %. Опыты выполняли по шахматной схеме (толщина стружки 6 мм, шаг 12,5 мм) по установившемуся забою.

На рис. 9.6 приведены формы площадок износа и динамика их роста, из которых видно, что у резцов с плоской передней поверхностью и прямолинейным лезвием максимальный износ наблюдается на краях лезвия. С точки зрения расхода твердого сплава при переточках эта форма неэкономична, так как непроизводительно теряется большое количество твердого сплава.

Как видно из рис. 9.6, более равномерно протекает износ у резцов с клиновидной поверхностью с твердосплавной пластинкой с углом заострения  $90\text{--}120^\circ$  (форма на рис. 9.6, б).

Однако при выборе формы недостаточно пользоваться только показателями износа. Необходимо учитывать совместное влияние формы резца на износ от пути резания.

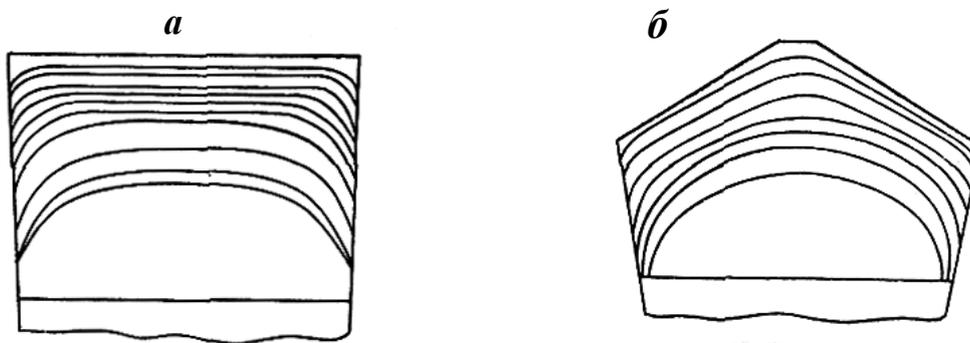


Рис. 9.6. Динамика износа резцов с различными формами режущей части

Согласно этому, наилучшим является резец, который на данном пути затрачивает на резание наименьшую работу. Расчеты показали, что по работе резания наилучшие результаты имеют резцы также с клиновидной передней гранью.

### 9.2.2. Влияние пути резания на износ радиальных резцов

*Влияние пути резания.* Зависимость износа резцов от пути резания в общем случае имеет три зоны [22, 23] (рис. 9.7).

*I* – зона интенсивного изнашивания (рис. 9.7). В этот период лезвия интенсивно микровыкрашиваются и скругляются. Интенсивность истирания также высокая, что обусловлено формой площадки износа. К концу зоны формируется рабочая геометрия резца, контактные давления на поверхности износа выравниваются.

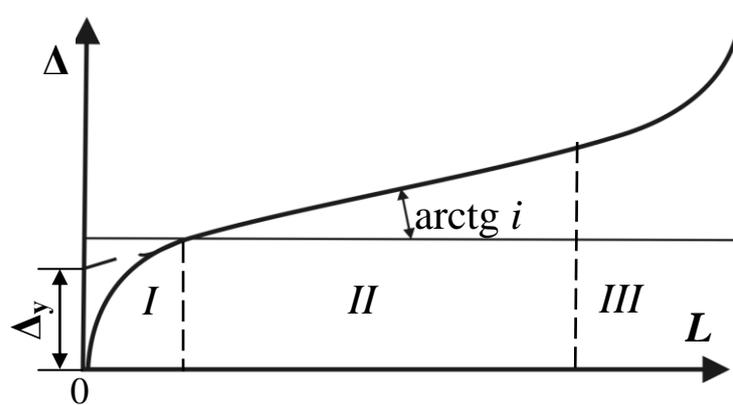


Рис. 9.7. Зависимость износа от пути резания  $L$

*II* – зона установившегося изнашивания. При отсутствии колебаний резца интенсивность изнашивания постоянная, а зависимость износа от пути – линейная. Поверхность износа увеличивается, но ее геометрия остается в среднем практически неизменной. Изнашивание происходит главным образом в результате истирания. Контактные давления на площадке износа постоянны или медленно снижаются, асимптотически приближаясь к некоторому постоянному значению.

*III* – зона усталостного или температурного изнашивания. Как видно из рис. 9.7, интенсивность изнашивания в этой зоне резко возрастает. При длительном резании мягких малоабразивных пород на поверхности износа образуется сетка трещин. При резании абразивных пород появляется искрообразование.

Протяженность зоны *I* в сравнении с зоной *II* для горных пород составляет не более 10 %. Зону *III* не следует допускать, выбирая соответствующие режимы резания и своевременно подменяя резцы.

### 9.2.3. Влияние структуры твердого сплава на износ радиальных резцов

Характер износа зависит от сочетания свойств пары зерна твердого сплава – зерна породы. Как видно из рис. 9.8, чем больше твердость по Виккерсу твердосплавного материала, тем меньше интенсивность изнашивания (рис. 9.8, а). Обратная зависимость по содержанию кобальта в твердом сплаве (рис. 9.8, б). Чем больше кобальта, тем выше интенсивность изнашивания. Вместе с этим, как видно из графиков, для крупнозернистого песчаника зависимости носят более ярко выраженный характер [22].

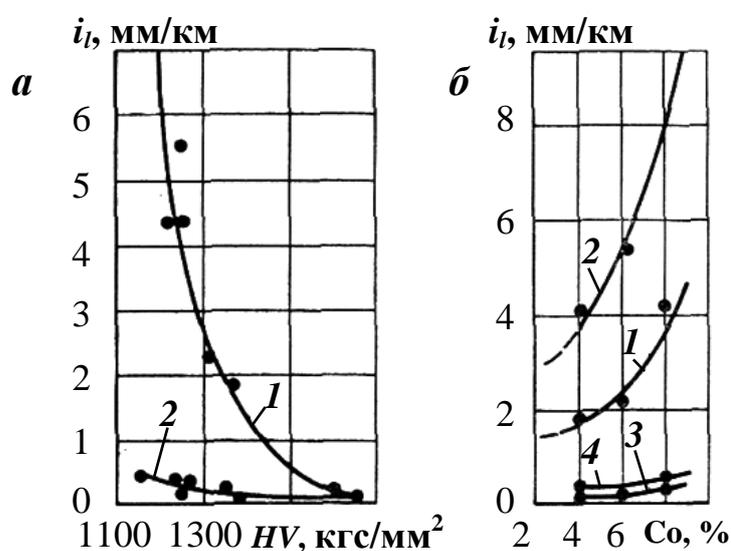


Рис. 9.8. Зависимости интенсивности изнашивания сплавов: а – от твердости по Виккерсу при работе на крупнозернистом (1) и мелкозернистом (2) песчаниках; б – от содержания кобальта: 1, 2 – при работе на крупнозернистом песчанике соответственно сплавами ВК и ВКВ; 3, 4 – то же на мелкозернистом песчанике

Зависимости получены для твердого сплава ВК1-ВК15 и песчаников: крупнозернистого (контактная прочность  $p_k = 121$  кгс/мм<sup>2</sup>; абразивность  $a = 28$  мг и временное сопротивление одноосному сжатию  $\sigma_b = 1100$  кгс/см<sup>2</sup>); мелкозернистого песчаника ( $p_k = 42$  кгс/мм<sup>2</sup>;  $a = 11$  мг;  $\sigma_b = 415$  кгс/см<sup>2</sup>). Эксперименты показали, что максимальная интенсивность изнашивания твердого сплава по высоте для крупнозернистого песчаника составила  $i_l = 4,34-5,45$  мм/км, а для мелкозернистого –  $i_l = 0,32-0,52$  мм/км.

### 9.2.4. Влияние контактных температур на износ радиальных резцов

Интенсивность изнашивания твердосплавных пластинок радиальных резцов зависит также от контактных температур и скорости резания [22] (рис. 9.9, 9.10, 9.11).

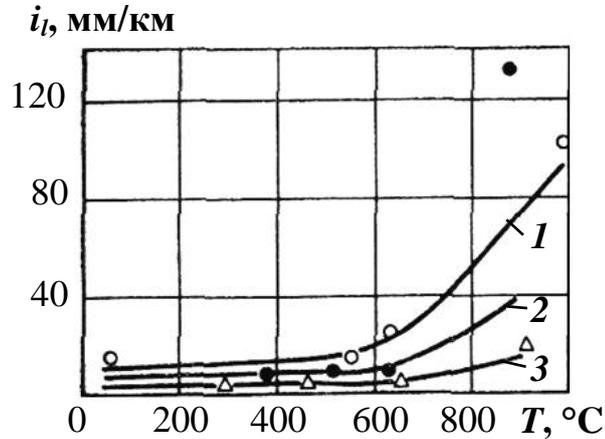


Рис. 9.9. Зависимости интенсивности изнашивания специальных резцов (сплав ВК6В) от контактных температур при резании песчаников: 1 –  $p_k = 240 \text{ кгс/мм}^2$ ,  $a = 29 \text{ мг}$ ; 2 –  $p_k = 123 \text{ кгс/мм}^2$ ,  $a = 30,5 \text{ мг}$ ; 3 –  $p_k = 60 \text{ кгс/мм}^2$ ,  $a = 20,5 \text{ мг}$

На рис. 9.9 приведены полученные зависимости интенсивности изнашивания от контактной температуры, а также нанесены опытные точки. Из полученных данных следует, что перегиб кривых интенсивности изнашивания происходил при температуре, равной примерно  $600 \text{ }^\circ\text{C}$ .

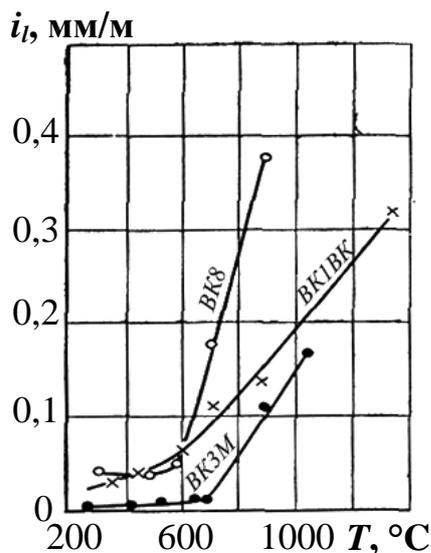


Рис. 9.10. Зависимости интенсивности изнашивания от контактных температур для различных марок вольфрамкобальтовых твердых сплавов

### 9.2.5. Влияние скорости резания на износ радиальных резцов

Проведенные экспериментальные исследования позволили выявить влияние скорости резания на механизм износа твердосплавного инструмента (рис. 9.11).

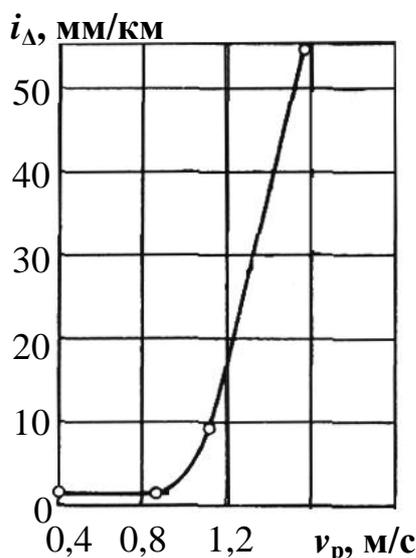


Рис. 9.11. Зависимости интенсивности линейного износа от скорости резания  $p_k = 77 \text{ кгс/мм}^2$  и  $a = 23 \text{ мг}$

На докритических скоростях агрегатная твердость сплава значительно выше твердости зерен породы. С увеличением скорости повышаются контактные температуры; на околокритических скоростях они уже настолько велики, что возникает искрообразование. Материал искр представляет собой обломки раскаленных породных зерен с температурой 500–700 °С. Однако установившиеся температуры на площадке износа не превышают критического значения и интенсивность изнашивания еще не растет. На критической и выше критической скоростях температура искр достигает 700–1400 °С, увеличивается искровой поток. Однако интенсивность изнашивания резко возрастает только тогда, когда средняя температура на площадке износа превышает критическое значение, которое для вольфрамокобальтовых сплавов составляет 500–700 °С. При этом площадка износа покрывается хорошо различимыми царапинами и следами оплавления. В материале искр появляются частички карбида вольфрама. Кобальтовая фаза начинает сгорать и “намазывается” на породу, оставляя темные пятна на следе резца; происходит пластическое деформирование твердого сплава.

Помимо износа рабочих поверхностей радиальных резцов имеют место поломки этого типа инструмента.

### 9.2.6. Виды поломок радиальных резцов

В соответствии с общим определением прочности твердых тел под прочностью горных инструментов понимается их способность сопротивляться разрушению (разделению на части) или необратимому изменению формы (пластической деформации) под влиянием внешней нагрузки.

Поскольку терминология в области прочности горного инструмента еще не установилась, ниже приведены общепринятые основные термины и понятия [22, 23].

*Статическая прочность* – сопротивление разрушению при статическом приложении внешней нагрузки. Процесс статического разрушения сопровождается появлением и развитием пластических деформаций или трещин.

*Ударная прочность* – сопротивление разрушению при ударном приложении внешней нагрузки. Она характеризует сопротивляемость инструмента динамическим нагрузкам и его склонность к хрупкому разрушению.

*Усталостная долговечность* – сопротивляемость разрушению при многократном приложении повторно-переменной циклической внешней нагрузки.

Под усталостью понимается процесс накопления повреждений в инструменте и разрушение его при большом числе повторно-переменных нагружений.

Характерной чертой усталостного разрушения является отсутствие деформаций в зоне разрушения.

Критериями прочности режущей части приняты: статической – величина разрушающей нагрузки ( $H$ ); ударной – работа разрушения ( $H \cdot m$ ) единичного удара, производимая грузом определенного веса, сбрасываемого с высоты 0,5 м; усталостной долговечности – число циклов нагружения до поломки при заданном или рассчитанном в зависимости от условий эксплуатации резцов эквивалентном (приведенном) уровне нагрузки.

Для оценки рациональности конструкции пластинки твердого сплава с точки зрения ее прочности введены удельные показатели статической и ударной прочности, определяемые как отношение статической и ударной прочности к весу армирующей пластинки ( $H/g$ ,  $H \cdot m/g$ ).

Прочность армированного инструмента определяется прочностью его элементов; державки, паяного соединения и пластинки твердого сплава.

Изучение видов поломок резцов в производственных условиях позволяет судить о величине и характере действующих на инструмент разрушающих нагрузок. По виду поломок можно оценивать качество инструментального материала, а по частоте поломок – определять наиболее слабые элементы конструкции.

Анализ многочисленных наблюдений и шахтных испытаний резцов узкозахватных комбайнов со шнековыми исполнительными органами показал, что основными видами поломок резцов являются:

- поломки и изгибы державок. Чаще всего они происходят или на головке, у торца вставки твердого сплава, или у места крепления в кулаке (переход к хвостовику);
- поломка режущей кромки вставки или самой вставки;
- разрыв паяного соединения.

В зависимости от размеров отделенной части вставки твердого сплава различают:

- мелкий скол или выкрашивание режущей кромки, когда твердый сплав отделяется не на полную толщину вставки по передней или задней грани. При такой поломке резец сохраняет в основном свою геометрию и его замену не производят;
- поломка вставки, когда твердый сплав ломается на всю толщину вставки в сечении, где вставка опирается на державку резца;
- отрыв вставки, когда твердый сплав отделяется от державки резца по поверхности паяного шва. При поломке или отрыве пластинки резец выходит из строя и должен быть заменен.

Прочность при каждом виде поломок определяется качественно различными факторами: при мелком сколе – качеством твердого сплава и геометрией режущей части; при поломке вставки к факторам, влияющим на прочность при мелком сколе, следует добавить жесткость опорной части державки, толщину и прочность паяного шва; при отрыве вставки – прочностью паяного соединения, геометрией передней поверхности и жесткостью опорной части державки.

Структура расхода резцов зависит от условий их применения. При выемке средней крепости и крепких углей в общем удельном расходе резцов различные виды поломок составляют: поломки дер-

жавок 2–5 %, отрыв вставок 25–45 %, поломки вставок 30–40 %. Только 15–20 % резцов выходит из строя по причине абразивного износа. Следовательно, поломки и отрыв вставок составляют в общем 55–85 % удельного расхода.

### **9.3. Износ тангенциального режущего инструмента**

Для оснащения угольных и проходческих комбайнов в отечественной практике долгое время применяли инструмент, оснащенный вставками из твердых сплавов ВК8 и ВК8-В. В дальнейшем с учетом динамического характера нагруженности инструмента горных машин и результатов экспериментальных исследований, выполненных в ИГД им. А. А. Скочинского и ВНИИТС, перешли на применение твердых сплавов ВК8-КС, ВК-11ВК, ВК10-КС, ВК12-КС для оснащения инструмента угольных и проходческих комбайнов [17].

Разработка и внедрение в серийное производство нового ассортимента сплавов типа ВК-КС позволили на 30–70 % повысить эксплуатационную стойкость горного инструмента и практически вдвое уменьшить выход его из строя из-за разрушения твердого сплава.

Поэтому применение новых технологий (спекание в вакууме, под давлением инертного газа, горячее изостатическое прессование) в сочетании с легированием позволит получать сплавы с улучшенными физико-механическими свойствами, в частности с прочностью 3500–4000 Н/мм<sup>2</sup>.

Для улучшения технологии резания проходческими комбайнами избирательного действия путем применения альтернативных материалов делалась попытка по изучению и внедрению керамических и поликристаллических алмазных материалов, предназначенных для резания горных пород при механизированной проходке.

На основании результатов экспериментов с отдельными резцами и с группами резцов можно констатировать, что:

- одна из причин снижения твердости поверхности резца состоит в том, что при пайке вставки к резцу в зонах головки, имеющих форму конуса, происходят необратимые процессы, что приводит к нарушению кристаллической решетки. Кроме того, воздействие периодических нагрузок в области, расположенной за конусной частью, также приводит к существенному снижению поверх-

ностной твердости, а это в свою очередь оказывает значительное влияние на износостойкость резца;

- степень износа твердосплавных резцов возрастает с увеличением скорости резания, причем крупнозернистые твердые сплавы имеют меньший износ, чем нормально зернистые;

- имеющиеся в настоящее время керамические материалы не пригодны для современного качественного разрушения горных пород резанием при их использовании в резцах проходческих комбайнов избирательного действия, что объясняется недостаточной прочностью керамики на изгиб;

- режущие вставки из поликристаллических алмазов могут применяться, однако различные исследованные формы резцов недостаточно отвечают предъявляемым к ним требованиям.

Повышенный износ резцов происходит также в том случае, когда выбраны неблагоприятные углы наклона и поворота резцедержателей. Последнее может привести к тому, что резцы с круглой державкой не будут поворачиваться и преждевременно выйдут из строя из-за почти точечной нагрузки по износу.

### 9.3.1. Формы износа тангенциальных поворотных резцов

В результате анализа [55] отработанных поворотных резцов разных типоразмеров, оснащенных цилиндрическими твердосплавными вставками, были установлены четыре основные формы их износа, представленные на рис. 9.12.

В результате эксплуатации исполнительных органов горных комбайнов с резцами ТПР разных типоразмеров на шахтах ОАО “СУЭК-Кузбасс” были установлены три основные формы их износа, которые подтвердили результаты, ранее полученные в работе [55].

Характерная особенность *первой формы* из них (рис. 9.12) заключается в том, что в процессе разрушения пород практически изнашивается только головка корпуса, в результате обнажается твердосплавная вставка и после достижения определенной высоты обнажения происходит ее поломка. Такая форма износа наиболее характерна при разрушении пород прочностью  $\sigma_{сж} \leq 30-40$  МПа и абразивностью  $a \leq 5-6$  мг. *Вторая форма* износа отличается тем, что одновременно изнашиваются и головка корпуса, и вставка, но интенсивность изнашивания головки корпуса выше. Такая форма износа характерна для пород по прочности  $\sigma_{сж} < 30-90$  МПа и абразивности  $a < 6-20$  мг.

Особенность *третьей формы* износа заключается в примерно одинаковой интенсивности изнашивания и головки и вставки. Эта форма износа наиболее часто встречается при разрушении пород повышенной прочности  $\sigma_{сж} > 90$  МПа и абразивности  $a > 20$  мг.

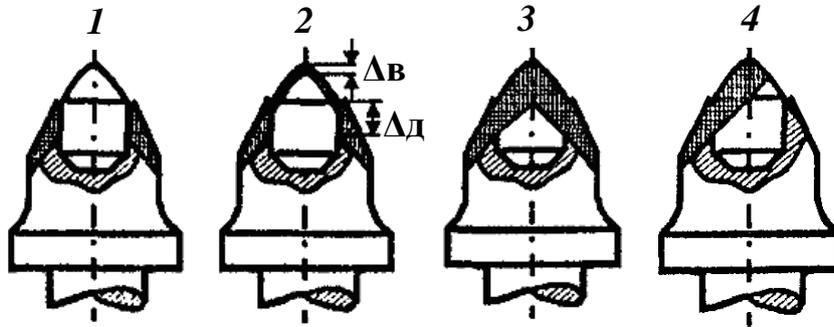


Рис. 9.12. Формы износа поворотных резцов

В практике встречается и четвертая форма износа – односторонняя, обусловленная заклиниванием хвостовика резца в отверстии резцедержателя из-за попадания породной мелочи в зазор между стенками отверстия в резцедержателе и хвостовиком или из-за несоблюдения допусков при изготовлении изделий. В результате происходит аварийный выход резца из строя.

Критериями износа являются в первую очередь: высота износа головки резца вдоль образующей твердосплавной вставки  $\Delta д$  и высота износа твердосплавной вставки по ее оси  $\Delta в$ . Используя соотношение критериев  $\Delta д$  и  $\Delta в$ , можно дать ориентировочную количественную оценку граничных условий разных форм износа поворотных резцов: при первой форме –  $\Delta в / \Delta д < 0,05$ , при второй –  $0,05 < \Delta в / \Delta д < 0,95$ , при третьей –  $\Delta в / \Delta д > 0,95$ .

Анализ первых двух форм износа (рис. 9.12) свидетельствует о недопустимо большой разнице между твердостью вставки и твердостью головной части поворотных резцов. При большой глубине резания, а это неизбежно при разрушении пород небольшой прочности и абразивности, интенсивно изнашивается материал именно головной части резцов. В этом отношении объяснимо стремление конструкторов “защитить” ее от износа.

Существует типоразмерный ряд резцов [17, 29], в которых головная часть выполнена с ребрами жесткости (рис. 9.13).

При отбойке угольного массива с прослойками пластом угля малой крепости, либо угля, значительно ослабленного отжимом,

толщина стружки при резании тангенциальным поворотным резцом может составлять до  $2/3$  конструктивного вылета, при этом корпус резца подвержен в значительной степени абразивному износу и заштыбовке в резцедержателе.

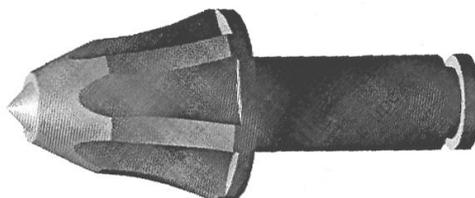


Рис. 9.13. Конструкция ТПР с ребрами жесткости

Применение ребер жесткости обеспечивает резцу лучшее проникновение в массив (за счет уменьшения поперечного сечения) и благодаря наличию ребер способствует более интенсивному его вращению в резцедержателе за счет работы сил трения, что снижает односторонний износ корпуса резца.

Для защиты головной части ТПР в настоящее время уже нашли применение следующие технические решения: твердосплавные вставки грибковой формы [17], упрочняющее покрытие головной части резца, защитные карбидные кольца (например, резцы серий W3AR, W3XA, W3XD, W6JX, W7AR, W7AX, T8AF, W8KD, W7AR компании “Sandvik Mining and Construction”, Швеция) [25], ребра жесткости на головной части резца [17, 25], метод клиновой прокатки корпуса резца (например, резцы серий UZ-1, UZ-2 и РКС ЗАО “Белтехнология и М”) [56].

Поиск решения проблемы низкой эффективности резцов (по отмеченной выше причине) привел к выводу о том, что требуется сменная головная часть ТПР. В связи с этим в ООО НПП “Сибирские горнопромышленники” г. Кемерово разработаны и прошли испытания резцы серии РГП многоразового использования. После износа головной части резца его подвергают “лечению”, то есть заменяют ее новой сменной головной частью. При этом корпус резца сохраняется, практически не изнашивается и может многократно использоваться. Поэтому эксплуатация резцов такого типа повышает эффективность использования инструмента за счет уменьшения расхода металла [57].

Эксплуатация вставок показала [17], что твердосплавные вставки с заостренной формой передней грани имеют существен-

ный недостаток. Вершина вставки представляет собой не что иное, как мощный концентратор напряжений, который провоцирует ее выкрашивание. Поэтому применение “тупых” вставок, имеющих радиус скругления ее вершины, – перспективное направление совершенствования ТПР.

Из существующих в настоящее время твердосплавные вставки ТПР грибковой формы ОАО “Твердосплав” имеют более широкую переднюю поверхность (рис. 9.14, табл. 9.1).

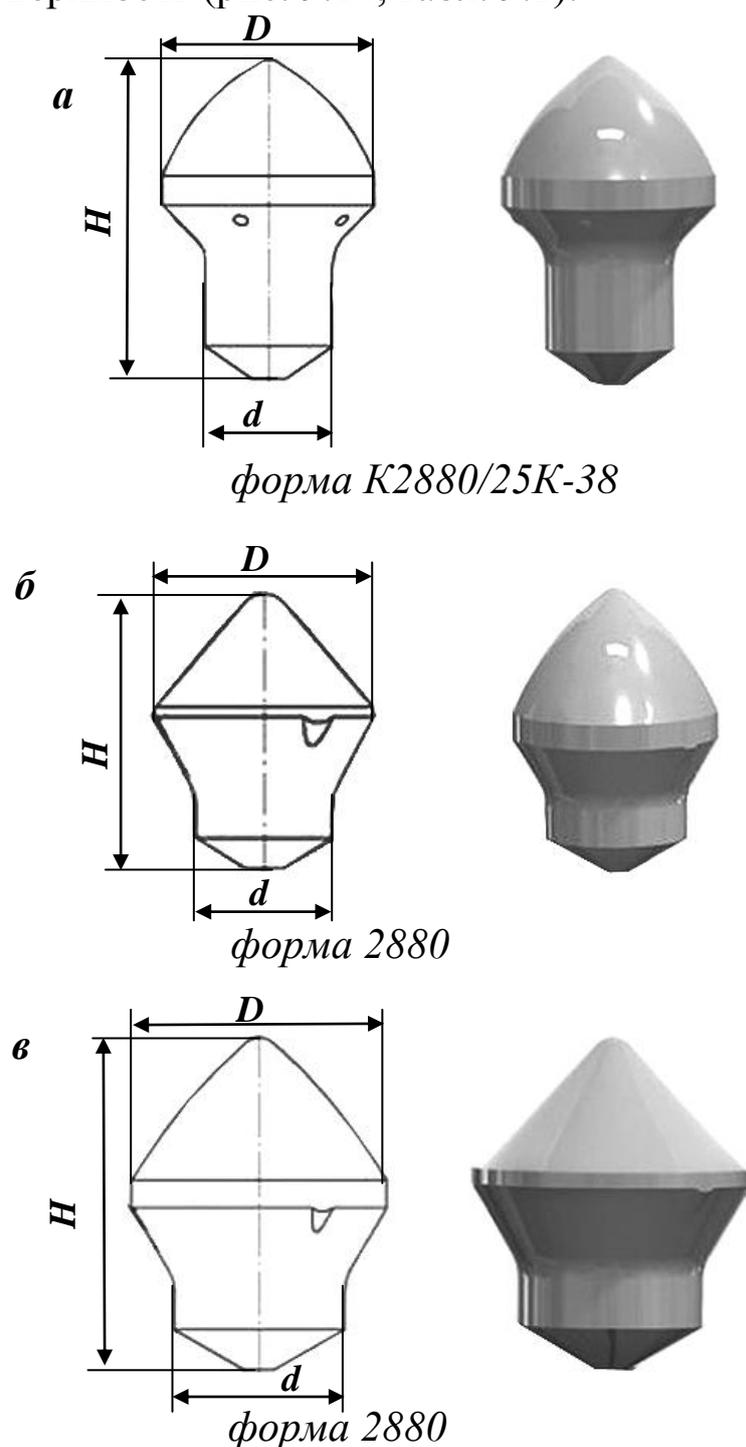


Рис. 9.14. Твердосплавные вставки ТПР грибковой формы

Именно эта расширенная часть вставки, так называемая шляпка, защищает как паяную поверхность, так и головную часть резца. Даже при первой форме износа (см. рис. 9.12) вероятность вылома такой вставки при абразивном износе материала головной части существенно уменьшается. Вставки грибковой формы уменьшают износ, но не всегда обеспечивают достижение главной цели – эффекта равномерного самозатачивания ТПР.

Таблица 9.1

## Обозначения и размеры

Наименование	Диаметр		Высота
	$D$ , мм	$d$ , мм	$H$ , мм
2880-2к	$16 \pm 0,3$	11,0	$22,0 \pm 0,6$
2880-3к	$18 \pm 0,3$	12,0	$21,5 \pm 0,6$
2880-5к	$25 \pm 0,3$	18,0	$29,5 \pm 0,6$
2804-1у	$12 \pm 0,3$	7,5	$14,0 \pm 0,6$
2804-2у	$16 \pm 0,3$	10,0	$19,5 \pm 0,6$
2804-3у	$18 \pm 0,3$	12,0	$21,5 \pm 0,6$

В последнее время взгляд конструкторов режущего инструмента обращен на его головную часть. Иллюстрация сколов головной части ТПР приведена на рис. 9.15, 9.16. Последствия таких сколов, как правило, – отрыв твердосплавной вставки [17].



Рис. 9.15. Сколы корпуса ТПР, приводящие к отрыву режущей вставки (шахта Первомайская, 2005 г.)

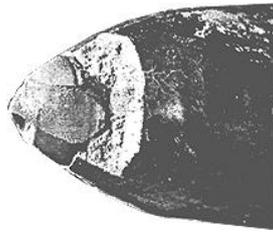


Рис. 9.16. Скол корпуса ТПР, приводящий к отрыву режущей вставки (шахта им. Ленина, 2006 г)

В работах [17, 42], например, предлагается новая твердосплавная вставка в форме эллипсоида вращения (рис. 9.17, 9.18, б) с гладкой поверхностью. Для надежного закрепления вставки в головной части ТПР ее посадочная часть выполняется в виде усеченного конуса. Угол конусности  $\alpha \leq 3^\circ$  обеспечивает упругое самоторможение вставки в головной части резца.

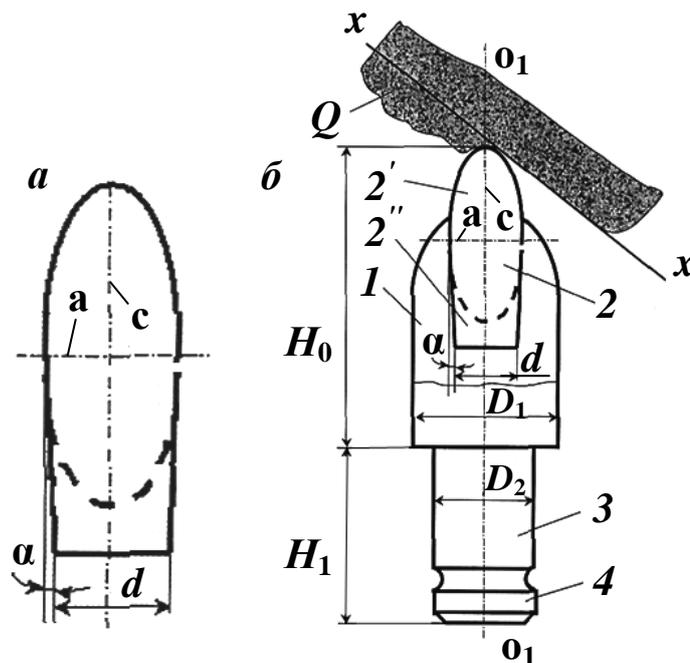


Рис. 9.17. ТПР с твердосплавной вставкой в форме эллипсоида вращения

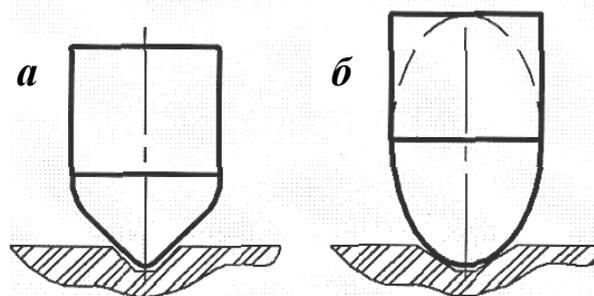


Рис. 9.18. Индентор-конус (а) и индентор-эллипсоид (б)

Разработанный авторами [42] тангенциальный поворотный резец (рис. 9.17, б) включает следующие обозначения:  $o_1o_1$  – геометрическая ось резца; 1 – корпус резца, 2 – твердосплавная вставка; 3 – опорно-поворотная часть резца; 4 – хвостовик с замком для удержания резца в опорном кулаке; 2' – рабочая ступень твердосплавной вставки, взаимодействующая с разрушаемой средой; 2'' – посадочная ступень твердосплавной вставки, для закрепления вставки в резце за счет припаивания ее или посадки с натягом.

Цилиндрическая часть корпуса имеет диаметр  $D_1$ , опорно-поворотная часть имеет диаметр  $D_2$ , основание вставки имеет диаметр  $d$ , угол конусности  $\alpha$  посадочной ступени. Полный вытянутый эллипсоид вращения очерчен штрихами, линия  $xx$  – есть линия резания резца,  $Q$  – массив разрушаемой среды.

Рабочая ступень вставки выполняется как физическое тело вращения с гладкой поверхностью, не имеющей так называемых конических точек, причем эта рабочая ступень имеет форму вытянутого полуэллипсоида вращения с полуосями “а” и “с”. В связи с тем, что рабочая поверхность вставки выполняется гладкой, т. е. не содержит конических точек, она не подвержена разрушению.

Таким образом, использование в качестве формы твердосплавных вставок тел вращения, позволяет исключить с поверхности вставки концентраторы напряжений, приводящие к ее разрушению.

### **9.3.2. Результаты промышленных испытаний тангенциальных поворотных резцов**

В данном разделе представлена информация промышленных испытаний тангенциальных поворотных резцов на предприятиях Воркутинского и Кузнецкого угольных бассейнов, а также Норильского ГМК.

В шахтах Воркуты [37, 38] были проведены промышленные испытания опытных партий тангенциальных поворотных резцов производства ООО “Горный инструмент”, основные характеристики которых, заявленные изготовителем, представлены в табл. 9.2. Резцы армированы вставками, изготовленными из твердых сплавов марки ВК.

Испытания проходили в соответствии с программой и методикой, разработанными ООО “Горный инструмент” на основании ГОСТ Р 51047-97 [18].

## Основные параметры и размеры тангенциальных поворотных резцов

Параметры	Тип резцов		
	РШ25-65/12СК	РШ33-85/17,5	РШ32-70/16СК
	Условия применения		
	<u>Тяжелые:</u> уголь с прослойками пород ( $f = 2-5$ ) и твердыми включениями ( $f = 5-8$ )	<u>Сверхтяжелые:</u> уголь с прослойками пород ( $f = 2-7$ ) и твердыми включениями ( $f = 7-10$ ) большая протяженность	<u>Средние:</u> уголь с прослойками пород ( $f = 2-5$ )
Диаметр хвостовика, мм	25	33	32
Конструктивный вылет резца, мм	65	71	75
Длина хвостовика, мм	55	74	58
Отношение диаметра вставки к диаметру головки	16/44	17,5/55	16/47

Цель производственных испытаний: определение удельного расхода резцов, выявление причин отказов и интенсивности износа корпуса и армировки, целесообразности постановки на серийное производство.

Методикой предусматривалось испытание резцов в производственных условиях с представительной областью их использования в соответствии с назначением как по горно-геологическим условиям (табл. 9.3), так и по типам комбайнов: на проходческих – 1ГПКС, КСП43 и очистном – К-500Ю (табл. 9.4).

В процессе испытаний каждые сутки проводился осмотр резцов. Данные осмотра заносились в журнал учета выдачи и возврата инструмента, испытываемого на проходческом (очистном) комбайне. Общие данные по испытаниям сведены в табл. 9.5.

Удельный расход резцов очистных комбайнов (в шт./тыс. т), проходческих (в шт./м<sup>3</sup>) определяется на основании общего расхода резцов (шт) и объема добычи по горной массе (тыс. т) или объема проходки в плотном теле (м<sup>3</sup>) за время испытаний по формуле [33, 38]:

$$N_{\text{уд}} = \Sigma N / Q, \quad (9.1)$$

где  $\Sigma N$  – общий расход резцов за время испытаний, шт;  $Q$  – объем добычи (проходки) резцами данного типа за время испытаний, тыс. т добычи или  $1 \text{ м}^3$  проходки.

Удельный расход резцов на тонну добычи или объем проходки в кубических метрах рассчитывается по формуле

$$n = \Sigma N / Q. \quad (9.2)$$

Стоимость резцов на  $1 \text{ м}^3$  проходки или на 1 тыс. т добычи определяется по формуле

$$c = \Sigma NC / Q, \quad (9.3)$$

где  $C$  – стоимость одного резца, руб.

Таблица 9.3

## Условия проведения производственных испытаний

Параметры и условия применения	Тип резцов		
	РШ25-65/12SK	РШ33-85/17,5	РШ32-70/16SK
Комбайн	1ГПКС	КСП-43	К-500Ю
Шахта	Воргашорская	Заполярная	Заполярная
Выработка	Вентиляционный штрек 233-ю пласта “Мощный”	Магистральный конвейерный уклон № 1	Лава 834-ю пласта “Тройной”
Угол наклона выработки, град	0–1	3	±1
Средневзвешенная прочность горных пород по забою, МПа	18,2	62,9–66,8 (без включений)	14,1
Форма и площадь сечения выработки в черне, $\text{м}^2$	Трапецевидная, 13,44	Арочная, 20,6	–
Мощность пласта, м	–	–	3,08

Эксплуатационные испытания резцов РШ25-65/12SK на комбайне 1ГПКС проходили в период 30.05–08.08.2005 г. в шахте Воргашорская при проходке вентиляционного штока 233-ю пласта “Мощный”.

Форма сечения выработки прямоугольная, площадь сечения вчерне  $13,44 \text{ м}^2$ . Площадь угольной части забоя  $S_{\text{угля}} = 12,18 \text{ м}^2$ , породной  $S_{\text{пор}} = 1,26 \text{ м}^2$ . Породы представлены алевролитом мелкозернистым (предел прочности на сжатие  $\sigma_{\text{сж}} = 40 \text{ МПа}$ ) и аргиллитом с замещением алевролитом ( $\sigma_{\text{сж}} = 30 \text{ МПа}$ ). Средневзвешенная прочность горных пород по забою  $18,2 \text{ МПа}$  (см. табл. 9.3). Количество установленных резцов – 28.

Таблица 9.4

## Технические характеристики проходческих (добычных) комбайнов

Параметры	1ГПКС	КСП43	К-500Ю
Тип исполнительного органа	Стреловидный с продольно-осевой коронкой	Стреловидный с продольно-осевой коронкой	Шнековый
Диаметр исполнительного органа, мм	415	950	1600
Производительность: - по проходке, м/мин (при прочности пород, МПа) - по добыче, т/мин	0,23 ( $\leq 70$ ); 1,42 ( $\leq 20$ ) –	0,2 (120); 0,5 (80) –	– 9,5
Суммарная номинальная мощность электродвигателей, кВт	110	350	605; 505
Мощность электродвигателя исполнительного органа, кВт	55	160	250×2; 200×2
Механизм подачи	Гидравлический	Гидравлический	Электрический, БСП
Максимальная скорость подачи, м/мин	6,5	1,1–4,6	0–5
Максимальное тяговое усилие, кН	–	380	450
Масса, кг	25 000	75 000	32 000
Срок эксплуатации	Прошел два капитальных ремонта	Новый	Новый

За период 30.05–24.06.2005 г. комбайном пройдено 135 м выработки. Резцы на рабочем органе были обследованы. Утеряно 4 резца. Снято было 7 резцов, из них 2 резца (рабочих) с износом вставки из твердого сплава (рис. 9.19, а), пять резцов имели поломку вставки (см. рис. 9.19, б).

По мере износа головки резца в зоне крепления твердого сплава ломалась вставка из твердого сплава, но ее отрыва не наблюдалось. Такой характер износа имели 16 резцов (57 %) из 28. Общие потери резцов РШ25-65/12СК за весь период промышленных испытаний составили 9 шт. (32 %). На место снятых и потерянных резцов РШ25-65/12СК устанавливались новые резцы РШ25-65/12.

Оставшиеся 11 резцов с поломкой вставки были сняты с комбайновой коронки 09.08.2005 г.

Таблица 9.5

## Результаты испытаний резцов типа РШ

Показатели	Тип резца		
	РШ25-65/12СК	РШ33-85/17,5	РШ32-70/16СК
	Сроки испытаний		
	30.05-08.08.2005 г.	12.03-16.03.2005 г.	15.10.2005 - 09.02.2006 г.
Длина пройденной выработки (отработки лавы), м	325	75	340
Количество установленных резцов, шт.	28	40	50
Состояние резцов к концу испытаний:			
- износ головки резца	-	28	16
- износ головки резца на уровне крепления вставки	3	4	12
- поломка вставки	16	-	11
- отрыв вставки	-	-	2
- утеряны	9	8	9
Стоимость одного резца, руб.	95	140	125,8
Удельная стоимость режущего инструмента	1,22 руб./м <sup>3</sup>	29 руб./м <sup>3</sup>	56,85 руб./тыс. т
Удельный расход резцов	0,013 шт./м <sup>3</sup>	0,207 шт./м <sup>3</sup>	0,452 шт./м <sup>3</sup>

В ходе испытаний резцов РШ25-65/12СК на комбайне 1ГПКС было установлено, что по слабым горным породам (уголь, аргиллит, алевролит с крепостью  $f = 1,7-3,0$ ) износ режущего инструмента был незначителен, хотя испытания носили длительный характер. За этот период комбайном было пройдено 325 м выработки. Удельный

расход резцов составил  $0,013 \text{ шт./м}^3$ , а удельная стоимость –  $1,22 \text{ руб./м}^3$ .

Условия испытаний соответствуют условиям применения данного типа резца, заявленным изготовителем.

Промышленные испытания партии поворотных резцов РШ33-85/17,5 на комбайне КСП-43 проходили в шахте “Заполярная” ОАО “Воркутауголь” в период 12.03–16.03.2005 г. В результате было пройдено 7,5 м магистрального конвейерного уклона № 1 сечением  $20,6 \text{ м}^2$  по крепким породам ( $\sigma_{\text{ср}} = 62,9\text{--}66,8 \text{ МПа}$ ;  $f = 6\text{--}9$  по шкале проф. М. М. Протоdjяконова, абразивность 18 мг и более). Испытания были осложнены встретившимися включениями конкреций с пределом прочности на сжатие до 200 МПа. При отбойке горных пород комбайном КСП-43 линзы конкреции сверху и снизу вырезались и откалывались исполнительным органом комбайна.

Основными видами износа резцов РШ33-85/17,5 явился износ головки резца (28 резцов – 87,5 %) на 30–40 мм (рис. 9.20, а) и износ головки резца на уровне крепления вставки 28 мм – 4 резца (12,5 %) (см. рис. 9.20, б). Как видно из рис. 9.20, большая часть резцов имеет неравномерный износ головки, что является следствием нестабильного вращения резцов или их заклинивания в резцедержателях. Утеряно было 8 резцов. Вышедшие из строя резцы заменялись резцами РШ32-85/16.

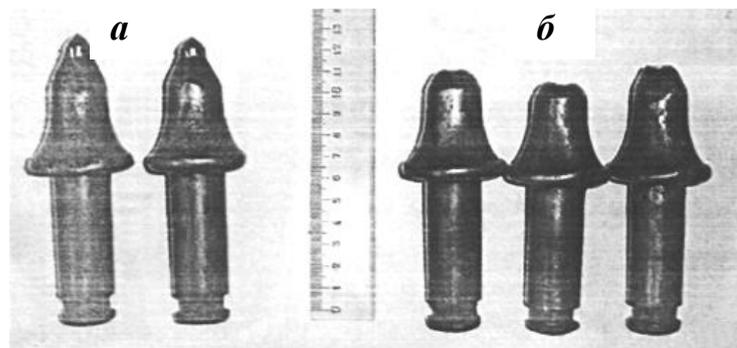


Рис. 9.19. Резцы РШ25-65/12СК после снятия с комбайновой коронки



Рис. 9.20. Характер износа резцов РШ33-85/17,5

По результатам расчетов удельный расход резцов РШ33-85/17,5 составил 0,207 шт./м<sup>3</sup>, а удельная стоимость – 29 руб./м<sup>3</sup>.

Результаты испытаний показали, что резцы могут работать и в более тяжелых условиях, чем заявлены изготовителем (см. табл. 9.2).

Испытания резцов РШ32-70/16SK проходили в шахте Заполярная ОАО “Воркутауголь” в период 15.10.2005–09.02.2006 г. на очистном комбайне К-500Ю при отработке лавы 834-ю пласта “Тройной” мощностью 3,08 м.

Все резцы РШ32-70/16SK в количестве 50 шт. были установлены на один шнек. Кроме испытываемых резцов на обоих шнеках в работе находились резцы РКС2 и РГ-501. На каждом шнеке комбайна К-500Ю установлено 64 кулака по окружности и 4 кулака на торце. Четыре лопасти на шнеке расположены по спирали. Угол установки резцов к касательной окружности шнека – 45°. При таких углах установки резцов в кулаках вращение резцов происходит за счет силы трения, обеспечивая тем самым равномерный износ режущего инструмента.

Износ резцов РШ32-70/16SK был неравномерен по окружности головки резца. Фактическая наработка на один резец к этому времени составила 1240 т. Четыре резца выданы с поломкой вставок, 3 резца потеряны и заменены на новые РКС2.

На период завершения промышленных испытаний (09.02.2006 г.) на комбайне К-500Ю в работе оставалось 18 экспериментальных резцов РШ32-70/16SK, в том числе 2 с оторванными вставками и изношенной головкой (рис. 9.21) и 16 экспериментальных резцов с изношенными головками, но не изношенными вставками, имеющими характерную сеть мелкой трещиноватости (рис. 9.22).



Рис. 9.21. Износ резца РШ32-70/16SK: оторвана вставка и изношена головка



Рис. 9.22. Характерная сеть мелких трещин в армировке резца РШ32-70/16SK

Стопорные шайбы резцов на комбайне К-500Ю расположены в корпусе резцедержателей, мало подвержены “заштыбовке” углем, что уменьшает вероятность поломки стопорной шайбы и потери резцов при эксплуатации.

В результате промышленных испытаний резцов РПЗ2-70/16СК наработка на 1 резец составила более 2213 т. Удельный расход резцов РПЗ2-70/16СК составил 0,4519 шт./тыс. т, а удельная стоимость – 56,85 руб./тыс. т.

По данным фирмы-производителя “Dosco”, соотношение расходов резцов по углю и песчанику с  $\sigma_{сж} = 100$  МПа доходит до 100 раз ( $300 \text{ м}^3/\text{резец}$  для угля и  $3 \text{ м}^3/\text{резец}$  для песчаника) [37].

Комбайновые резцы РПЗ2-70/16СК соответствуют условиям ОАО “Шахта Воргашорская” и пластов “Тройной” и “Мощный” шахт ОАО “Воркутауголь”.

Из выше приведенных примеров можно отметить, что на износ режущего инструмента влияет множество факторов (технологических, конструктивных), в том числе и эксплуатация самого комбайна. А именно высокая динамика нагрузок на комбайн избирательно действует, что является следствием увеличения длины стрелы, неравномерного движения исполнительного органа по забою, неоднородности разрушаемого массива. Это приводит к случайным отклонениям толщины среза от ее среднего значения, соответствующего средней скорости подачи. В результате резцы даже при относительно малой средней скорости подачи, но при ее максимальной амплитуде, внедряются в массив до резцедержателей, что приводит к интенсивному их износу, затиранию форсунок, излому кернов. Скол вставок вызывает последующий прогрессивный износ резцов, образуются плоскости износа, что связано с неустойчивым вращением и заклиниванием резцов. Плоскости износа резко увеличивают нагрузки на резцах, что существенно влияет на динамические нагрузки исполнительного органа, выход из строя элементов трансмиссии, их электроприводов [37]. В качестве примера можно отметить работу комбайна 4ПП-2М на руднике “Ангидрит” в условиях Норильского ГМК, при разрушении ангидрита использовались резцы РКС-2. В процессе работы фиксировался расход резцов при  $\sigma_{сж} = 60\text{--}70$  МПа ( $2\text{--}3$  шт./ $\text{м}^3$ ) и более 90 МПа ( $5$  шт./ $\text{м}^3$ ). При поломке первых резцов в заходе начинается так называемая “цепная реакция” выхода из строя резцов (рис. 9.23) [39].

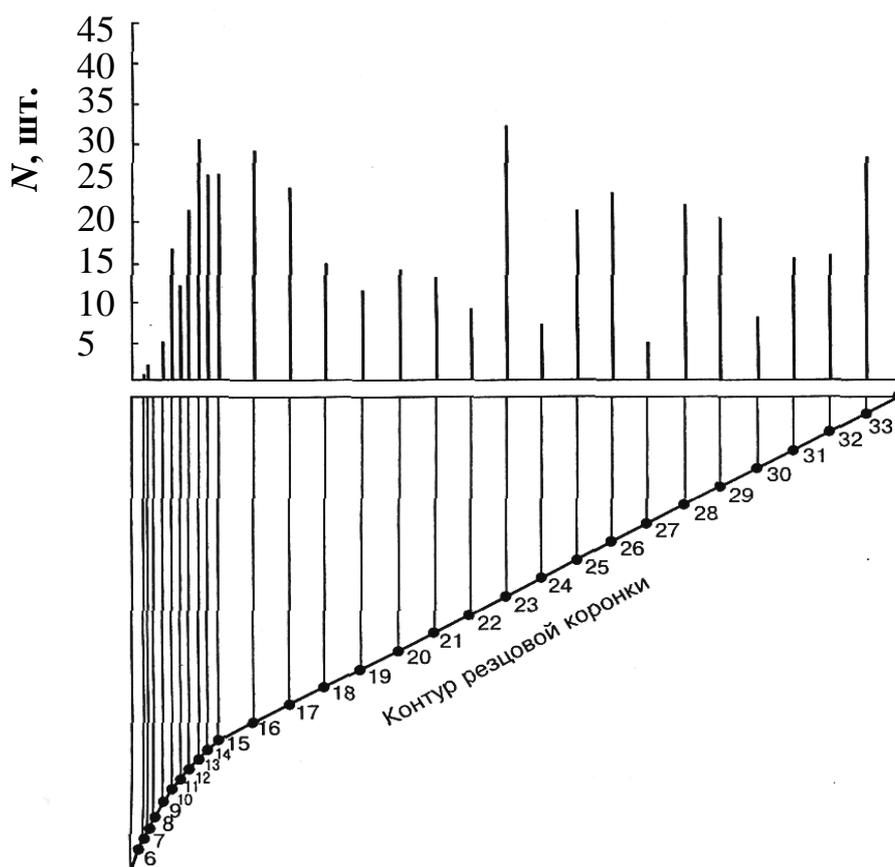


Рис. 9.23. Распределение вышедших из строя резцов по линиям резания

В качестве примера в табл. 9.6 приведены некоторые результаты шахтных промышленных испытаний тангенциальных поворотных резцов производства ООО “Горный инструмент” (г. Новокузнецк) на предприятиях России, в том числе Кузбасса, позволившие установить причины износа, выхода из строя резцов и определить их удельный расход [17, 33, 35].

Дополнительные сведения по конструкции и применимости этих резцов представлены в табл. 7.1, 7.3, 7.4 и прил. 1.

Промышленные испытания ТПР типа РШ также проводились в период с 2002 по 2009 г. на шахтах: Егзовская, ш/у Анжерское, Котинская, Ленина, Полысаевская. Например, на рис. 9.15 и 9.16 представлены сколы головной части ТПР (шахта Первомайская и шахта им. Ленина).

Поэтому в связи с ростом энерговооруженности горных комбайнов, эксплуатируемых в сложных горно-геологических условиях горных предприятий, следует особое внимание уделять прочности и надежности режущего инструмента, а также его закреплению в резцедержателях [33].

Таблица 9.6

Результаты испытаний ГПР производства ООО “Горный инструмент”

Предприятие	Год испытания	Комбайн	Резец	Удельный расход, шт./тыс. т
Хакасская	2009	K500Ю	РШ32-70/18SK	12,9
Хакасская	2008	K500Ю	РШ32-70/16SK	59,3
Хакасская	2008	SL300	РШ38-110/16SK	20,1
Романовская	2008	K500Ю	РШ32-70/17.5	16,7
Романовская	2008	K500Ю	РШ32-70/16S.M1	27,1
Романовская	2008	K500Ю	РШ32-70/18SK	89,1
Хакасская	2008	K500Ю	РШ32-70/17.5	9,3
Березовская	2004	KGS345	РШ32-78/18SK	0,85
Юбилейная	2005	SL300	РШ38-110/16.M2	0,7
Заречная	2006	МВ12	РШ32-70/16	1,7
Чертинская-Коксовая	2006	KGS345	РШ32-85/18SK.M2	6,5
Листвяжная	2007	4LS20	РШ35-95/18SK	1,1
Комсомолец	2005	K500Ю	РШ32-70/12BL	2,0
Комсомолец	2004	K500Ю	РШ32-70/16.10	1,2
Комсомолец	2004	K500Ю	РШ32-70/12SK	0,52
Кирова	2004	4LS5	РШ32-70/16SK.M1	0,15
7 Ноября	2003	KGS445	РШ32-78/16.M4	0,7
Октябрьская	2006	K500Ю	РШ32-70/16	2,97
Первомайская	2005	ГПКС	РШ25-65/16SK	0,04*
7 Ноября	2004	ГПКС	РШ25-65/16SK	0,004*
Заречная	2005	П-110	РШ32-85/17.5	0,95*
ш/у Садкинское	2006	КПД	РШ32-85L61/16SK.M2	0,02*

Примечание: \* – удельный расход, шт./м<sup>3</sup>.

#### 9.4. Износ буровых резцов

Различают следующие виды износа резцов [58]:

- *фронтальный износ*, возникающий при бурении большинства горных пород. Он проявляется в виде постоянно расширяющейся, почти горизонтальной поверхности лезвия с небольшим скруглением углов. Износ по диаметру резцов при этом невелик, и вставка сохраняет после затупления лезвия свою первоначальную форму. При заточке таких резцов обычно снимают только центральную часть твердого сплава;

- *износ по диаметру* имеет место при бурении высокоабразивных пород, содержащих большое количество кварца. При бурении

таких пород необходимо следить за износом резцов и не допускать потери диаметра;

- *износ корнуса* резца наблюдается в случае, когда скважина или шпур плохо очищается от продуктов разрушения.

Своевременная и правильная заточка резцов оказывает большое влияние на срок службы бурового инструмента.

Характер затупления лезвий буровых резцов РУ и РП имеет некоторые отличия от радиальных и тангенциальных резцов. Как видно из рис. 9.24, у рассечки на участке длиной 1–1,5 мм (а) и особенно на периферийных участках лезвия (в) затупление резко возрастает, образуя так называемые “пяточки”. Это объясняется тем, что у рассечки и особенно по периферии резца участки (1) пластинки твердосплавного материала работают по блокированно-угловой форме резания (рис. 9.25).

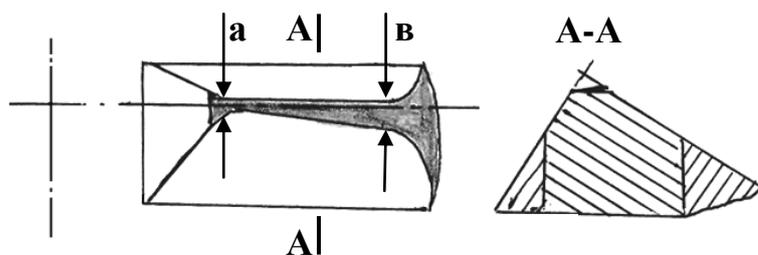


Рис. 9.24. Схема затупления лезвия бурового резца

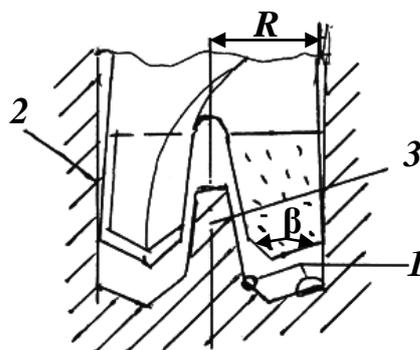


Рис. 9.25. Схема разрушения породы буровым резцом: 1 — участки блокированно-угловой формы резания; 2 — стенка шпура; 3 — целичок

Этот режим резания сопровождается большой энергоемкостью процесса резания породы и интенсивным износом инструмента. Как видно из рис. 9.25, чем ближе к стенке шпура, тем больше износ твердосплавной вставки (в). Причиной этого является то, что с увеличением радиуса резца ( $R$ ) возрастает скорость резания и работа трения. При вращательном способе бурения профиль торцевого за-

тупления плоский (сечение А-А). В настоящее время закономерности износа резцов РУ и РП изучены достаточно глубоко и учитываются при проектировании и выборе их геометрических параметров. Как видно из рис. 9.25, при вершине резцов пластинки твердого сплава имеют форму клина. Поэтому при осевом перемещении резца в породе внедряется клин с углами заострения  $\beta = 95\text{--}105^\circ$  (резцы РУ) и  $\beta = 110\text{--}130^\circ$  (резцы РП).

## 10. КОНСТРУКЦИИ КРЕПЛЕНИЯ РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ

### 10.1. Способы крепления радиальных резцов

Надежность крепления резцов и быстрота их замены оказывают большое влияние на производительность комбайнов. Потери резцов при ранее применяемом болтовом способе крепления на исполнительном органе комбайна достигали 25 % от общего расхода резцов, а продолжительность замены 10–12 резцов составляла 50–60 мин.

В настоящее время разработано большое число разнообразных конструкций безболтовых (бесстопорных) быстродействующих креплений резцов. В отечественном машиностроении были спроектированы и применялись следующие конструкции креплений (рис. 10.1) [21].

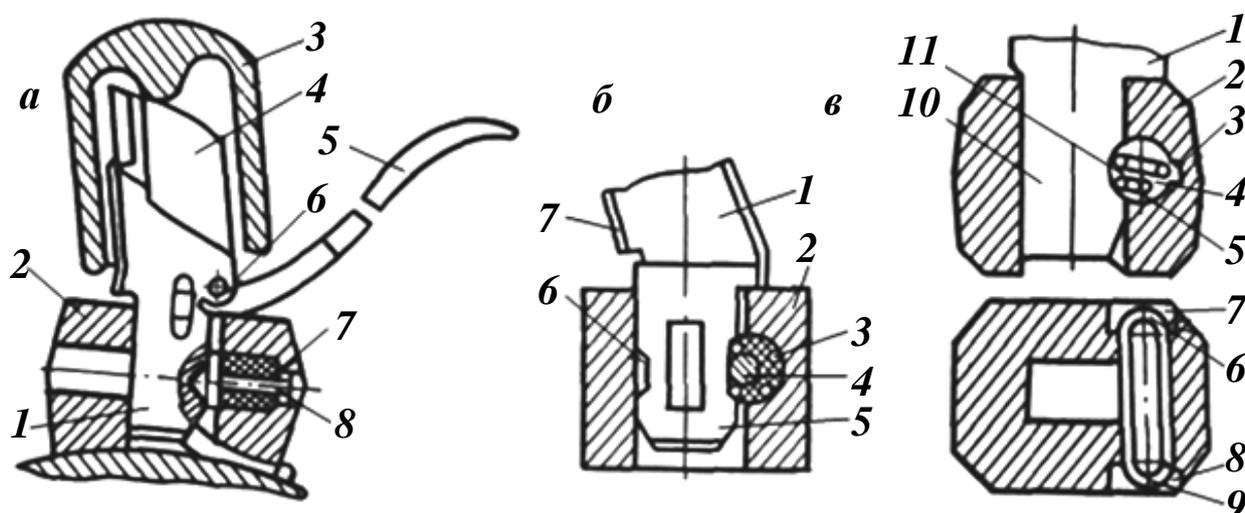


Рис. 10.1. Конструкции креплений радиальных резцов

Быстродействующим креплением БКР (рис. 10.1, *a*) крепятся резцы, имеющие скос на конце хвостовика и паз для фиксатора (ЗР1.80, ЗР2.80). Крепление резца осуществлялось вставленным в отверстие резцедержателя 2 стопорным стержнем 8 с конусной головкой.

Он входит в паз хвостовика 1 резца и прижимается двумя упругими полиуретановыми амортизаторами 7, надетыми на стопор-стержень. Резец 4 в резцедержателе 2 устанавливается легким ударом по специальной насадке 3, защищающей вставку твердого сплава от повреждений. Снимается резец съемником 5 с упором в цилиндрические боковые выступы 6 резца.

Для резцов ЗР1.80 применялось крепление КР1 (рис. 10.1, б). Резец 1 в резцедержателе 2 закрепляется металлическим валиком 4, завулканизированным в резиновом буфере 3. Валик под действием сил упругости деформированного буфера входит в паз 6 на хвостовике 5 резца. Резец легко устанавливается в гнезде благодаря скосу на его хвостовике, извлекается он рычагом, упирающимся в уступ 7 корпуса. Это крепление обеспечивает быструю замену резцов, обладает высокой надежностью в начальный период эксплуатации новых шнеков. Однако по мере разбивания гнезд резцедержателей надежность крепления снижается, потери резцов увеличиваются.

Для закрепления резцов ЗР2.80, ЗР4.80, РО-65 применяется крепление ПБК (рис. 10.1, в). Оно представляет собой трехвитковую пружину 5, изготовленную из проволоки диаметром 5 мм и подвергнутую термообработке. Пружина удерживается в отверстии 4 и пазу 3 резцедержателя 2 за счет ее упругих сил и за счет установки ее концов 6 и 9 в расточках 7 и 8. Вторая сторона пружины входит в специальное углубление 11, выполненное на задней стороне хвостовика 10 резца 1. Крепление ПБК обеспечивает надежное крепление и удержание резца в резцедержателе с минимальной потерей резцов, удобную и быструю замену резца, возможность установки в гнезде для безболтового крепления КР без изменения диаметра отверстия гнезда. Недостаток этого крепления – невозможность обеспечения плотного соединения резца с резцедержателем, что приводит к разбиванию гнезд резцедержателей при работе комбайна.

При креплении радиальных резцов РО-40, РО65, РО-80, РО-100 (рис. 5.1) в резцедержателях имеются прямоугольные отверстия с поперечным сечением (см. табл. 4.2).

Резец типа РПП (рис. 5.1, д) крепится в коническом отверстии резцедержателя с конусностью  $\Delta 1:10$ , что обеспечивает его надежное закрепление. Приведенные размеры поперечных сечений хвостовиков радиальных резцов обеспечивают их достаточную прочность. Корпус резцов изготавливают по ГОСТ 4543 [59] из прочных сталей

марок 30ХГСА, 35ХГСА, 40ХН. Качество поверхностей штампованных поковок корпусов резцов должно соответствовать ГОСТ 8479-70 [60], а точность изготовления должна быть не ниже 2-го класса по ГОСТ 7505-89 [61]. Резцы с целью повышения их прочности подвергаются термообработке (закалке в горячей среде), чем достигаются твердость державки 35–45 HRC.

Радиальные резцы и конструкции их резцедержателей фирмы “Рум-Сервис” приведены в прил. 3.

## 10.2. Способы крепления тангенциальных резцов

Основные параметры и размеры для типоразмеров тангенциальных неповоротных (ТН100, ТН125, ТН160) и поворотных (ТП25, ТП32, ТП38) резцов приведены в табл. 4.3 и 4.4.

Тангенциальные поворотные резцы (ТПР) имеют хвостовики цилиндрической формы. Это позволяет в процессе резания породы поворачиваться в резцедержателе, что обеспечивает равномерный износ инструмента, исключается заклинивание и аварийный выход резца из строя (рис. 9.12). Например, конструкции хвостовиков ТПР производства ОАО “Кировоградский завод твердых сплавов” разделены по группам С, D, G, R, H, P, S, T ([www.kzts.ru](http://www.kzts.ru)) [28]. Каждая группа имеет несколько индексов, каждый индекс охватывает в себе конкретные геометрические параметры хвостовика ТПР.

Например, крепление резцов ТП может осуществляться с помощью прорезиненной рамки 1 (рис. 10.2) [21], которую закрепляют на специальной шейке хвостовика 2 резца.

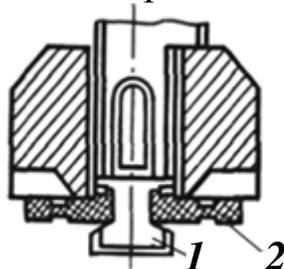


Рис. 10.2. Конструкция крепления ТПР

Резцы в резцедержателе могут быть закреплены с помощью механических стопоров, которые создают упругое и свободное соединение хвостовика резца с гнездом резцедержателя.

Можно отметить два способа закрепления резцов на исполнительных органах горных комбайнов [17]: внешнее – металлический и неметаллический стопора (рис. 10.3) и внутреннее (рис. 10.4).

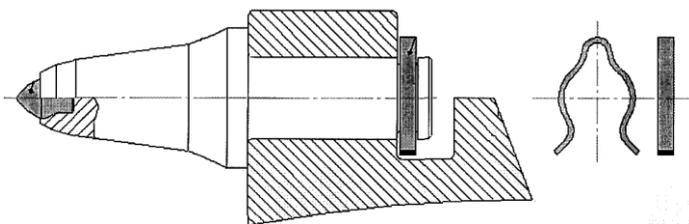


Рис. 10.3. Внешнее закрепление ТПР в резцедержателе

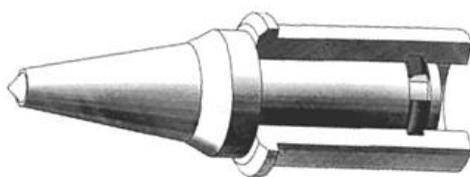


Рис. 10.4. Внутреннее закрепление ТПР в резцедержателе

Крепежный элемент (стопор) конструктивно может быть выполнен как в форме пластины, так и разрезного кольца различного сечения. В качестве материала крепежного элемента используют резину и сталь.

В связи с тем, что ТПР удерживается в резцедержателе только посредством крепежного элемента, особое значение приобретает его прочность.

Согласно актам испытаний (проведенных заводом ООО «Горный инструмент») на шахтах Кузбасса и Хакасии, удельная доля потерь ТПР из-за недостаточной прочности крепежного элемента может достигать 20 % от установленных на шнек резцов за смену.

Таким образом, проблема прочности крепежного элемента стоит достаточно остро. В результате износа резцедержателей шнека осевой зазор при установке резца может достигать 3–9 мм, в данной ситуации особенно наблюдается недостаточная прочность существующих конструкций крепежных элементов.

Конструкции крепежных элементов и резцедержателей для тангенциальных поворотных резцов ОАО «Кировоградский завод твердых сплавов» серий VP, LRP, BT, FHN, BCN, КПН, СЗWP представлены в прил. 8.

Конструкции резцедержателей ТПР «Рум-Сервис», ЗАО СП «Пигма-Кеннаметал» представлены в прил. 3, 4.

Фирма «Krummenauer» (<http://anlagenbau.krummenauer.de>) предлагает системы резцедержателей для проходческих и очистных комбайнов с максимальной взрывозащитой в сочетании с умень-

шенным потреблением воды и активным пылесвязыванием (табл. 10.1).

Таблица 10.1  
Резцедержатели комбайнов фирмы “Krummenauer”

Резцедержатель	Диаметр стержня резца	Крепление втулки	Орошение
R11.30 UN	30 мм	с усадкой	без орошения
R11.30/38 UN	ступенчатый стержень 30/38 мм		
R12.30 UN	30 мм		
R12.30/38 UN	ступенчатый стержень 30/38 мм		
R12.38 UN	38 мм		эжекторное
R19.38 EB	38 мм		
R65.30 EB	30 мм		
R65.32 EB	32 мм		
R65.30/38 EB	ступенчатый стержень 30/38 мм		

Основная часть резцедержателя выполнена у всех моделей из высокостабильного и легко поддающегося сварке материала. Высокопрочная сменная либо усеченная втулка обеспечивает на распространенных системах резцов долгий срок службы. Многие системы резцедержателей позволяют минимизировать время простоя из-за замены резцов. Для крепления резцов также существуют различные системы. Предлагаются резцедержатели с орошением и без орошения.

## 11. МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ РЕЗЦОВ

### 11.1. Материалы корпусов резцов

Тангенциальный поворотный резец, как известно, состоит из трех основных частей: хвостовика, корпуса (державки) и твердосплавной вставки, которая закрепляется в корпусе резца с помощью припоя.

В отечественной практике корпуса изготавливают, за небольшим исключением, из легированных сталей: хромоникелевых, хромоникельмолибденованадиевых, хромокремнемарганцевых, хромоникельвольфрамовых. Применение этих сталей в сочетании с соответствующими технологическими операциями способствует снижению напряжений в твердом сплаве, которыми армируют корпуса, и повышению прочностных показателей. Наиболее широко применяемые марки сталей 30ХГСА, 35ХГСА.

Для снижения напряжений в паяном соединении, без резкого охлаждения, рекомендуется применять стали мартенситного класса 38ХНЗМФА и 45ХНЗМФА, закаливающиеся на воздухе. При температуре 200–300 °С, когда припой теряет пластичность, в сталях этого класса происходят мартенситные превращения, размеры пазов увеличиваются и тем самым снижаются или совсем устраняются термические напряжения. Аналогичный эффект получается у сталей перлитного класса 30ХГСА и 35ХГСА при изотермической закалке в селитровых ваннах после пайки [17].

Способность упрочняться на ту или иную глубину при одинаковом содержании углерода определяется влиянием легирующих элементов, но при небольших сечениях изделий это влияние менее заметно, а в деталях крупного размера у углеродистых и менее легированных сталей механические свойства значительно ниже.

Поэтому выбор марки стали зависит как от уровня требуемых свойств, так и от толщины изделия, для толщины 50–75 мм – 40ХН, 30ХГСА.

Наиболее широко применяемые марки сталей для различных видов инструмента следующие (табл. 11.1) [23]:

Таблица 11.1

Марки сталей корпусов резцов

Вид инструмента	Марки сталей
1. Резцы для очистных и проходческих машин	30ХГСА, 35ХГСА
2. Резцы для вращательного бурения	У7, 45Г2, 35ХГСА

## 11.2. Материалы для твердосплавных вставок резцов

В целях повышения износостойкости горных инструментов их режущую часть оснащают металлокерамическими, наплавочными твердыми сплавами, поликристаллическими алмазными вставками (PKD). Соединение сплава с корпусом породоразрушающего инструмента должно быть достаточно прочным, так как большая разница в значениях коэффициентов термического расширения (в 2–4 раза) твердого сплава и стали корпуса приводит к возникновению при пайке (нагреве) термических напряжений, после охлаждения часто превосходящих предел прочности твердого сплава.

### 11.2.1. Вольфрамкобальтовые твердые сплавы

Для армирования породоразрушающего инструмента используют спеченные вольфрамкобальтовые сплавы марки ВК (табл. 11.2).

Таблица 11.2

#### Характеристика твердых сплавов

Марка сплава	Содержание основных компонентов, %		Физико-механические свойства		
	карбид вольфрама	кобальт	предел прочности при изгибе, МПа, не менее	плотность, г/см <sup>3</sup>	твердость HRC, не менее
ВК3	97	3	1100	15,0–15,3	89,5
ВК3-М	97	3	1100	15,0–15,3	91,0
ВК4	96	4	1400	14,9–15,2	89,5
ВК4-В	96	4	1400	14,9–15,2	88,0
ВК6	94	6	1500	14,6–15,0	88,5
ВК6-М	94	6	1350	14,8–15,1	90,0
ВК6-ОМ*	92	6	1200	14,7–15,0	90,5
ВК6-В	91	6	1550	14,6–15,0	87,5
ВК8	92	8	1600	14,4–14,8	87,5
ВК8-В	92	8	1750	14,4–14,8	86,5
ВК8-ВК	92	8	1750	14,5–14,8	87,5
ВК10	90	10	1650	14,2–14,6	87,0
ВК10-М	90	10	1500	14,3–14,6	88,0
ВК10-ОМ*	88	10	1400	14,3–14,6	88,5
ВК10-КС	90	10	1750	14,2–14,6	85,0
ВК11-В	89	11	1800	14,1–14,4	86,0
ВК11-ВК	89	11	1800	14,1–14,4	87,0

Примечание: \* содержит 2 % карбида тантала ([www.drillings.ru/tverdsplav](http://www.drillings.ru/tverdsplav)).

Преимущества твердых сплавов ВК:

- большая твердость (до 91 HRC),
- высокое сопротивление износу при нагреве до 1000 °С,
- неподверженность заметной пластической деформации,
- большая прочность на сжатие,
- отсутствие упругой деформации.

Недостатки твердых сплавов ВК :

- малый предел прочности на изгиб и растяжение,
- небольшая ударная вязкость.

Соединение сплава с корпусом породоразрушающего инструмента должно быть достаточно прочным, так как большая разница в значениях коэффициентов термического расширения (в 2–4 раза) твердого сплава и стали корпуса приводит к возникновению при пайке (нагреве) термических напряжений, после охлаждения часто превосходящих предел прочности твердого сплава.

Сплав изготавливают в специальных графитовых пресс-формах путем спекания при температуре ниже температуры плавления карбидов в соответствии с требованиями ГОСТ 3882-74 [62]. Цифры в марке сплава соответствуют процентному содержанию кобальта. Сплавы получают спеканием смеси порошков монокарбида вольфрама и кобальта при температуре 1320–1480 °С. *Монокарбид вольфрама* – соединение твердостью 1730 МПа с температурой разложения 2600 °С – представлен в сплавах в виде зерен размером 1–5 мкм (основная масса). *Кобальт* в сплаве – цементирующая составляющая. Твердость кобальта в 4–5 раз ниже, чем карбида вольфрама, температура плавления 1350 °С. Кобальт хорошо смачивает карбид вольфрама, в сплаве он находится не в чистом виде, а содержит твердые растворы вольфрама и углерода (от 1 до 8–10 % по массе) [21, 23].

По структуре промышленность РФ выпускает сплавы: мелкозернистые (размер зерен до 1 мкм), среднезернистые (размер зерен 1–2 мкм) и крупнозернистые (размер зерен 2–5 мкм). Мелкозернистые сплавы при одинаковом химическом составе имеют большие твердость и износостойкость, но меньшую прочность, чем крупнозернистые. Последние имеют повышенные прочность и ударную вязкость, но более низкую износостойкость. В этой связи в горной промышленности широко применяются средне- и крупнозернистые сплавы.

### 11.2.2. Физические свойства твердых сплавов

*Плотность.* Плотность сплавов зависит от химического состава сплавов (с увеличением содержания Со и титана уменьшается). Плотность снижается при наличии в конкретном сплаве остаточной пористости, свободного графита.

*Теплопроводность.* Твердые сплавы работают в условиях трения. В результате образуется тепло, которое при хорошей теплопроводности должно отводиться от места контакта резец – порода.

Если твердый сплав имеет низкую теплопроводность, то выделяющееся тепло сосредоточивается на режущей кромке резца и он интенсивно изнашивается. Поэтому теплопроводность должна быть оптимальной, обеспечивать наилучшие режущие свойства твердого сплава. В пределах одной группы сплавов теплопроводность зависит от количества карбидной фазы и пористости. С уменьшением карбидной фазы и пористости теплопроводность возрастает. Вольфрамкобальтовые сплавы более теплопроводны, чем титановольфрамкобальтовые.

Коэффициент термического расширения твердых сплавов изменяется от  $3,9 \cdot 10^{-6}$  (ВК2) до  $6,3 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$  (ВК30). Он в 2–4 раза меньше, чем у сталей, где составляет  $(11–17) \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ . Такое различие коэффициентов приводит к возникновению после охлаждения в спаянных соединениях температурных напряжений. Теплопроводность сплавов группы ВК в 2–3 раза выше, чем быстрорежущей стали. Определенная по методу Кольрауша, она для сплавов с 4 % Со равна 50,24 Вт/(м·К) и с 15 % Со – 66,99 Вт/(м·К). С повышением температуры теплопроводность снижается. Высокая теплопроводность способствует быстрому отводу тепла от режущих кромок инструмента и уменьшению их износа.

Коэффициент линейного расширения твердых сплавов характеризует удлинение тела при нагреве, зависит от химического состава сплава и с увеличением содержания кобальта возрастает.

Коэффициент линейного расширения титановольфрамовых сплавов примерно в 2 раза ниже, чем для малоуглеродистой стали. Это различие отражается на качестве инструмента с напаянными пластинами. Из-за дополнительных напряжений, возникающих в результате различия в коэффициентах линейного расширения, пластины могут отслаиваться от корпуса резца или иметь трещины.

Термические свойства твердых сплавов играют большую роль при изготовлении и эксплуатации инструмента. Твердые сплавы чувствительны к условиям нагрева и охлаждения, а они всегда имеют место при пайке пластин твердого сплава к инструменту, при шлифовании и заточке изделий. Во избежание образования трещин в изделиях из твердых сплавов следует применять медленное нагревание и охлаждение при пайке, оптимальные режимы при шлифовании и обильное охлаждение.

*Красностойкость* – свойство твердого сплава сохранять твердость, износостойкость и другие качества, необходимые для резания. Она проявляется в интервале температур 900–1000 °С. Красностойкость титановольфрамовых сплавов выше, чем вольфрамокобальтовых, благодаря присутствию карбида титана.

### **11.2.3. Механические свойства твердых сплавов**

*Твердость* – свойство твердого тела сопротивляться проникновению в него другого тела. Твердость – одно из главных свойств твердых сплавов, т. к. от нее зависит их износостойкость. Главное влияние на нее оказывает количество карбидной фазы и размер зерна этой фазы. С увеличением количества карбидной фазы или уменьшением размера зерна твердость возрастает.

Твердость сплавов в несколько раз выше твердости сталей и составляет от 84–86 до 90–91 НРА. При нагреве сплава твердость его снижается, но остается в 2–3 раза выше, чем у быстрорежущей стали. Титановольфрамовые сплавы отличаются более высокой твердостью, чем вольфрамовые, т. к. карбид титана тверже, чем карбид вольфрама.

*Предел прочности при изгибе.*

Прочность – свойство твердого тела сопротивляться воздействию внешних сил. Прочность сплавов на изгиб с повышением содержания кобальта возрастает от 1000 (сплав ВК2) до 1800–2000 МПа (сплав ВК15) и снижается при повышении температуры. С увеличением крупности зерен карбида вольфрама прочность на изгиб повышается.

*Ударная вязкость* твердых сплавов весьма низка и находится в пределах 2–7 Дж/см<sup>2</sup>, тогда как, например, у стали 40Х она во много раз выше (120–170 Дж/см<sup>2</sup>). С повышением содержания кобальта

ударная вязкость растет от 1,0 (BK2) до 6,5 Дж/см<sup>2</sup> (BK30). У крупнозернистых сплавов она на 20–30 % выше, чем у мелкозернистых.

*Модуль упругости* сплавов в среднем в 3 раза выше, чем у легированных сталей и составляет  $6 \cdot 10^5$  МПа. С увеличением содержания кобальта модуль упругости несколько снижается. Большое различие в модулях упругости двух материалов (стали и твердого сплава), из которых изготавливают и которыми армируют инструмент, приводит к значительной перегрузке твердого сплава. Поэтому место соединения твердого сплава со сталью должно быть жестким.

*Прочность* характеризуется величиной разрушающих нагрузок при сжатии, изгибе, растяжении и находится в обратной зависимости от твердости. Она зависит от размера зерен карбидной фазы и возрастает с увеличением содержания кобальта, достигая максимума при Co 15–20 %. Титановольфрамовые сплавы менее прочные, т. к. карбид титана имеет меньшую прочность. Прочность твердых сплавов при сжатии имеет весьма большое значение и характеризует в некоторой степени их пластические свойства. С увеличением размера зерна карбидных зерен, а также содержания кобальта предел прочности твердых сплавов при сжатии  $\sigma_{сж}$  монотонно уменьшается (табл. 11.3) [17].

Таблица 11.3

## Зарубежные аналоги вольфрамокобальтовых твердых сплавов

Наименование	Содержание Co, %	Предел прочности при сжатии $\sigma_{сж}$ , МПа	Российский аналог
H3F	3,0	7800	BK3B
H6F	6,0	6900	BK6
H8M	7,0	6200	BK7
H8N	8,5	5200	BK8
H10N	9,5	5200	BK10KC

Для увеличения прочности твердосплавных вставок применяют алмазное шлифование, которое не создает поверхностных дефектов и повышает на 20–25 % предел прочности при изгибе и ударную вязкость. Алмазное шлифование всей поверхности твердосплавной вставки увеличивает срок службы инструмента и стабильность его работы при эксплуатации.

#### **11.2.4. Твердые сплавы для резцов очистных и проходческих комбайнов**

Для оснащения угольных и проходческих комбайнов в отечественной практике долгое время применяли инструмент со вставками из твердых сплавов ВК8 и ВК8В. В дальнейшем в результате экспериментальных исследований, выполненных в ИГД им. А. А. Скочинского и ВНИИТС, для применения в различных горнотехнических условиях были рекомендованы четыре марки сплавов группы ВК-КС: ВК6-КС, ВК8-КС, ВК10-КС и ВК12-КС [63].

Применяемая технология (“высокотемпературный” карбид вольфрама в сочетании с непродолжительным размолом смесей) обеспечивает получение сплавов с однородной структурой и стабильными механическими и эксплуатационными свойствами, не требуя специального оборудования. По сравнению с другими марками твердых сплавов, применяемых в настоящее время для оснащения горного инструмента, сплавы ВК-КС характеризуются повышенной (в 1,2–2,0 раза) износостойкостью наряду с довольно высокой прочностью. Повышенная пластичность сплавов ВК-КС обуславливает высокую сопротивляемость их ударным нагрузкам, возникающим при разрушении горных пород.

Сущность нового способа получения “высокотемпературного” карбида вольфрама состоит в том, что порошки промежуточного окисла вольфрама, вольфрама и карбида вольфрама получают при весьма высоких температурах, а именно: температура восстановления вольфрамового ангидрида до двуокиси вольфрама составляет 900 °С, температура восстановления двуокиси вольфрама до вольфрама – 1200 °С. Карбид вольфрама получают при температуре 2200 °С.

Разработка и внедрение в серийное производство нового ассортимента сплавов типа ВК-КС (табл. 11.4) позволили на 30–70 % повысить эксплуатационную стойкость горного инструмента и практически вдвое уменьшить выход его из строя из-за разрушения твердого сплава. Освоением сплавов ВК-КС практически исчерпаны резервы повышения технического уровня отечественных сплавов WC-Co на существующем оборудовании.

Вместе с тем, данные каталогов и проспектов зарубежных фирм, а также результаты исследования импортных резцов указывают на дальнейшее совершенствование ассортимента зарубежных сплавов для оснащения породоразрушающего инструмента горных машин.

Характеристики отечественных сплавов группы ВК-КС и зарубежных аналогов

Фирма	Марка сплава	Со, %	$d_{\text{ср}}$ (WC), мкм	$\rho$ , г/см <sup>3</sup>	$\sigma_{\text{изг}}$ , Н/мм <sup>2</sup>	
ГП ВНИИТС	ВК6-КС	6	3–4,5	14,8–15	2156	
	ВК8-КС	8	3–4,5	14,6–14,8	2254	
	ВК10-КС	10	3–4,5	14,35–14,6	2350	
	ВК12-КС	12	3–4,5	14,2–14,4	2450	
Карболой	44А	6	>4	15	2200	
	231	10	>4	14,4–14,6	2410	
Boart	B15	7,5	>4	14,75	1800	
	B20	8	10	14,7	2200	
	B25	9,5	8	14,55	2400	
	B30	11,0	6	14,4	2400	
	B35	13,0	10	14,2	2500	
	G10	6	10	14,9	1500	
	G15	7	2,5	14,7	1700	
	G20	10	4	14,5	2000	
	Sandvik	CG30	6	1-3	14,9	1900
		CB17	6	2,5	14,9	2300
CG45		9	2-4	14,5	2254	
Тохо Кинзоку	RB3	8,5	4-5	14,7	2058	
	RB4	10	4-5	14,55	2300	
	RB5	12	4-5	14,35	2352	

Применение новых технологий (спекание в вакууме под давлением инертного газа, горячее изостатическое прессование) в сочетании с легированием позволяет получать сплавы с улучшенными физико-механическими свойствами.

### 11.2.5. Влияние размера карбидной составляющей WC на прочность твердосплавных вставок и пластин

В конце 80-х годов для разрушения горных пород за рубежом стали применять особокрупнозернистые вольфрамкобальтовые (WC-Co) твердые сплавы. В настоящее время все ведущие промышленные фирмы-производители США, Германии, Швеции, Австрии, Англии и других стран включили их в ассортимент выпускаемых марок твердых сплавов для горного инструмента [64].

Сплавы с нормальной зернистостью содержат зерна WC размером до 20 мкм, причем средний размер зерен карбидной составляющей ( $d_{wc}$ ) равен 6 мкм, а крупнозернистые сплавы содержат зерна WC размером до 50 мкм при среднем размере зерен карбидной составляющей 30 мкм. Благодаря новой технологии изготовления твердых сплавов, удалось повысить их прочность на сжатие и изгиб на 30–50 %, что позволило при использовании крупнозернистого твердого сплава добиться снижения интенсивности изнашивания и увеличения срока службы резцов. Также подтверждено снижение интенсивности изнашивания резцов при применении вставок из крупнозернистого твердого сплава.

В табл. 11.5 приведены данные о зернистости твердых сплавов, используемых фирмой “Kennametal” при создании резцов для очистных и проходческих комбайнов.

Таблица 11.5

## Данные о зернистости твердых сплавов

Резцы для проходческих комбайнов		Резцы для очистных комбайнов	
Размер зерен, мкм	Распределение зерен по крупности, %	Размер зерен, мкм	Распределение зерен по крупности, %
< 20	< 40	< 10	90
20–40	> 40	10–20	9
> 40	10	> 20	1

Весьма характерно, что при изготовлении резцов для проходческих комбайнов используются крупнозернистые твердые сплавы, имеющие средний размер зерен карбидной фазы почти в 3 раза больше, чем сплавы, используемые для резцов очистных машин.

Для оснащения горного инструмента долгое время применялись твердые сплавы ВК8 и ВК8-В. В дальнейшем с учетом динамического характера нагруженности инструмента горных машин и результатов экспериментальных исследований, выполненных в ИГД им. А. А. Скочинского и ВНИИТС, перешли на применение твердых сплавов ВК8-КС, ВК11-ВК, ВК10-КС и ВК12-КС для оснащения инструмента угольных и проходческих комбайнов. Для оснащения бурового инструмента, применительно к различным горнотехническим условиям, были рекомендованы четыре марки сплавов группы ВК-КС: ВК6-КС, ВК8-КС, ВК10-КС и ВК12-КС. Средний размер WC-фазы в этих сплавах составляет 3–4,5 мкм (табл. 11.4).

Пристального внимания заслуживает тот факт, что в отличие от зарубежной практики создания горного инструмента, для оснащения которого уже более 10 лет успешно используются особокрупнозернистые твердые сплавы со средним размером зерен карбидной составляющей до 30 мкм, в отечественной практике продолжают применять твердые сплавы со средним размером зерен карбидной фазы, не превышающим 5 мкм. По всей видимости, это объясняется тем, что разрабатывали отечественные твердые сплавы для оснащения горного инструмента, опираясь в первую очередь на производство бурового инструмента. Действительно, исследование образцов импортных буровых коронок, изучение данных каталогов и проспектов зарубежных фирм (“Sandvik”, “Kennametal”, “Boart” и др.) указывают на тот факт, что для производства бурового инструмента за рубежом применяют сплавы со средним размером зерен от 2 до 5 мкм.

Исходя из вышесказанного, можно сделать следующие выводы:

- необходимая прочность при сжатии и изгибе для сплавов должна определяться на основании расчета параметров резания для конкретного типа используемой техники с учетом свойств массива горных пород разрабатываемого месторождения;

- для того чтобы без разрушения воспринимать неравномерные нагрузки высокой интенсивности, стохастически возникающие в процессе разрушения горных пород, сплавы для оснащения режущего инструмента горных машин наряду с необходимой прочностью при сжатии и изгибе должны иметь большую пластичность, достаточно высокую износостойкость и пониженную склонность к накоплению деформационных дефектов. Наиболее полно перечисленным условиям удовлетворяют особокрупнозернистые сплавы WC-Co, изготовленные из высокотемпературного карбида вольфрама, поэтому использование именно его в дальнейших исследованиях и представляется в высшей степени целесообразным.

Эффективность применения породоразрушающего инструмента горных машин в значительной степени обусловлена свойствами и качеством материала, из которого изготовлена режущая вставка. В настоящее время для этой цели применяют вольфрамокобальтовые (WC-Co) твердые сплавы – композиционные материалы, состоящие из тугоплавкой фазы (карбида вольфрама WC) и пластичного связующего (твердого раствора на основе кобальта) при объемной

доле тугоплавкой фазы не менее 50 %, полученные спеканием в присутствии жидкой фазы [65].

Экспериментальные исследования по применению сплавов WC-TiC-Co и WC-TiC-TaC-Co, а также безвольфрамовых твердых сплавов (БВТС), различных алмазных комбинаций и т. д., проведенные в последнее десятилетие, позволяют утверждать, что вольфрамкобальтовые твердые сплавы на достаточно длительный период останутся главным средством армирования инструмента для горных машин. Поэтому насущной задачей является совершенствование этих сплавов и главное – обеспечение их стабильного качества.

Согласно современным представлениям, основной причиной механического износа твердосплавной вставки реза является усталостное разрушение в результате ее многократного деформирования. При взаимодействии твердосплавной вставки с горной породой зерна породообразующих минералов воздействуют на кобальтовые прослойки, окружающие зерна карбида вольфрама. Обнаженные в результате этого зерна WC в дальнейшем могут скалываться, вырываться целиком или разрушаться под действием многократной циклической нагрузки. Резкое увеличение интенсивности изнашивания при превышении критической скорости резания объясняется развитием в зоне контакта твердосплавной вставки с породой довольно высоких температур (в основном в результате трения), которые оказывают существенное влияние на износостойкость твердого сплава и практически не влияют на микротвердость и прочностные свойства зерен породообразующих минералов. Необходимо отметить, что высокие температуры развиваются как в поверхностном слое твердосплавной вставки (на глубине не более 1 мм) в непосредственной близости от пятна контакта, так и в слоях материала, прилегающих к поверхностям скольжения. С ростом температуры происходит значительное снижение твердости и прочности сплава, при достижении некоторой температуры (по данным разных исследований от 400 до 700 °C) твердость сплава становится ниже твердости зерен породообразующих минералов. При высоких контактных температурах зерна породообразующих минералов пропахивают поверхность сплава и интенсивность изнашивания приобретает катастрофический характер.

В настоящее время большинство исследователей придерживаются мнения, что легирование сплавов WC-Co небольшими количествами карбида тантала приводит к повышению прочности и твердости сплава при повышенных температурах. По всей видимости, этим и объясняется тот факт, что большинство ведущих зарубежных производителей горного инструмента используют сплавы, содержащие карбид тантала.

Сопротивление усталостному разрушению особокрупнозернистых сплавов WC-Co, обладающих более высокой пластичностью, выше, чем у сплавов с нормальной зернистостью, применяемых в настоящее время для оснащения породоразрушающего инструмента горных машин. За счет более высокой пластичности увеличивается сопротивление разрушению сплава.

Необходимо отметить влияние величины зерна карбидной составляющей на физико-механические свойства сплавов WC-Co с массовой долей кобальта 8 и 10 %, наиболее часто используемых для оснащения инструмента горных машин. Спекание образцов проводили в две стадии: предварительное нормализующее спекание в атмосфере водорода при температуре 1150 °C в графитовой засыпке с добавлением сажи и окончательное спекание при температуре 1420 °C в вакуумной печи "Sintervac" в автоматическом режиме по заданной программе при вакууме 1,3–13,3 Па. Исследования подтвердили, что с увеличением размера зерна пластичность и циклическая долговечность сплавов повышается.

Как известно, при разрушении вольфрамкобальтовых твердых сплавов разрушающая трещина зарождается в кобальтовой фазе и распространяется по ней, огибая зерна карбида вольфрама. Прочностные характеристики особокрупнозернистых сплавов при поперечном изгибе и сжатии несколько ниже, чем у сплавов с нормальной зернистостью, применение их для оснащения породоразрушающего инструмента все же предпочтительней, так как они отличаются более высокими значениями работы пластической деформации, что и определяет их более высокую сопротивляемость усталостному разрушению. Таким образом, рост пластичности сплава в тяжело нагруженном инструменте оказывает большее влияние на его работоспособность, чем снижение прочности.

### 11.2.6. Алмазы и сверхтвердые материалы для армирования режущих инструментов

В настоящее время для армирования горных инструментов используют природные и синтетические алмазы.

*Природный алмаз* – минерал, обладающий самой высокой твердостью среди известных в природе материалов. Его микротвердость по Виккерсу равна 100 000 МПа, модуль упругости – 900 000 МПа, а прочность на сжатие – всего 2000 МПа. Алмаз стоек против кислот, на него не действует даже царская водка. Термостойкость алмаза высокая – графитизироваться он начинает при температуре 800–1000 °С [23].

Наряду с высокой твердостью алмазы характеризуются повышенной хрупкостью, что следует учитывать при изготовлении и эксплуатации алмазного инструмента. Алмаз обладает самым большим модулем упругости по сравнению с другими известными высокотвердыми материалами, что одна из причин высоких режущих свойств алмазных инструментов.

Основные разновидности природных алмазов, применяемых в горном деле, – борт, карбонадо и баллас. *Борт* представляет собой главным образом обломки и сростки кристаллов неправильной формы, не имеющих определенных плоскостей спайности. Алмазы этого вида имеют преимущественно стальной цвет с желтоватым и голубоватым оттенками, обычно трещиноватые. *Карбонадо* – агрегаты поликристаллического строения, имеющие тонкозернистую структуру. Они овальной формы, плотные, состоят из массы микроскопических кристаллов, главным образом черного, серого или зеленоватого цвета. Карбонадо менее хрупки, чем борт, и часто применяются в буровых инструментах. *Балласы* – алмазы шаровидной формы, поликристаллического строения с радиально-лучистой структурой. Оболочка кристаллов более твердая, чем ядро.

Природные технические алмазы чаще всего имеют массу от сотых долей до 1–2 каратов (один карат равен 0,2 г).

*Синтетические алмазы* по физическим и химическим свойствам практически не отличаются от природных. Имеются некоторые различия по форме, размеру, термической стойкости.

Промышленный синтез алмазов осуществляется из графита в специальных камерах при давлении  $(50–120) \cdot 10^2$  МПа и температуре до 3000 °С в присутствии металла-растворителя (никеля, марганца,

железа и др.). В настоящее время отечественная промышленность изготавливает алмазы, рекомендуемые для армирования буровых инструментов, с различными свойствами и различного назначения (ГОСТ 9206-80): моно- (марки АС32, АС50) и поликристаллические (марки АРВ16, АРК4 и АРС3).

Наиболее широкое распространение нашли поликристаллические алмазы АРС3 (СВСП). На их основе промышленностью выпускаются геологоразведочные коронки, долота и буровые головки для бурения нефтяных и газовых скважин. Прочность алмазов СВСП составляет 3000–4000 МПа, термостойкость – 1100–1200 °С. Получают их в виде штабиков размером 4×4×3 мм спеканием алмазных порошков при давлении 12000 МПа и температуре выше 3000 °С без присутствия металла-растворителя.

Так как размеры зерен алмазов малы, то современный алмазный инструмент работает по принципу микрорезания. Поэтому скорость бурения алмазных инструментов без учета времени на замену в сравнении с твердосплавными невысока. С целью увеличения скорости бурения, а также повышения стойкости бурового инструмента в последние годы созданы слоистые алмазно-твердосплавные материалы типов СВБН, АТП (РФ), стратапакс (США), синбит (ЮАР) и их разновидности. Указанные материалы представляют собой твердосплавные пластины толщиной 2–2,5 мм, на которые нанесен слой поликристаллических алмазов, равный 0,5–0,7 мм. Форма пластин может быть различной: круглой, прямоугольной, трехгранной и т. д. в зависимости от назначения.

Имеются сведения об их использовании для армирования резцов вращательного бурения шпуров и скважин. По литературным данным при работе инструментом, оснащенным слоистыми алмазно-твердосплавными пластинами, до 2 раз повышается механическая скорость бурения и в десятки раз увеличивается стойкость. Однако буровой инструмент имеет высокую стоимость, более жесткие требования к условиям эксплуатации. В этой связи инструменты пока не находят массового применения. Тем не менее перспективность применения алмазно-твердосплавных материалов в горном деле очевидна.

В последние годы ВИИИТСом разработана технология получения сверхтвердых композиционных материалов типа СВПК, обладающих свойствами синтетических поликристаллических алмазов,

позволяющая изготавливать заготовки режущих элементов различных формы и размеров. Опыт эксплуатации бурового инструмента, оснащенного этим материалом, показывает высокую эффективность при работе в тяжелых условиях абразивного изнашивания.

Известный интерес для изготовления горных инструментов имеет кубический нитрид бора, который представляет собой кубическую модификацию химического соединения бора и азота. Получают его, как и алмаз, в специальных камерах при высоких давлениях и температурах. Параметры решетки и минимальное межатомное расстояние у кубического нитрида бора несколько большие, чем у алмаза. Его твердость 80000 МПа, термостойкость выше, чем у алмаза (он не теряет своих свойств даже при температуре 1400 °С), модуль упругости – 720 000 МПа, предел прочности на сжатие – 500 МПа. При изготовлении кубического нитрида бора можно в широких пределах изменять физико-механические свойства, поэтому в зависимости от технологии изготовления различные организации выпускают существенно разные модификации его под названиями: эльбор, кубонит, боразон, гексанит.

*Славутич* – сверхтвердый материал, разработанный специально для оснащения буровых инструментов, не уступает природным алмазам по износостойкости, но превосходит их по прочности. Из этого материала могут изготавливаться изделия практически любой формы. Долота для бурения нефтяных и газовых скважин, армированные славутичем, в 1,5–2,0 раза дешевле долот, оснащенных крупными природными алмазами.

### **11.2.7. Применение сверхтвердых материалов для изготовления радиальных и тангенциальных резцов**

В Германии были проведены производственные испытания 300 радиальных резцов в исполнении, показанном на рис. 11.1. Стойкость этих резцов оказалась в 3–4 раза выше, чем стандартных. [66].

Экспериментальные исследования альтернативных материалов для армирования тангенциальных поворотных резцов были проведены также в Германии [67]. На рис. 11.2 представлены экспериментальные резцы с тремя типами вставок: твердый сплав, керамика (рис. 11.2, *a*) и поликристаллические алмазы (резец марки PKD,

рис. 11.2, б). Вставки закреплялись в головной части резцов методом горячей запрессовки. Керамические твердосплавные вставки в форме конуса имели диаметры 20, 25 мм. Тангенциальные резцы PKD1, PKD2 оснащались поликристаллическими круглыми вставками диаметром 13,3 мм, а резцы PKD3 и PKD4 – сегментными вставками с углом  $180^\circ$  и  $120^\circ$  соответственно, изготовленными из дисков диаметром 19 мм.

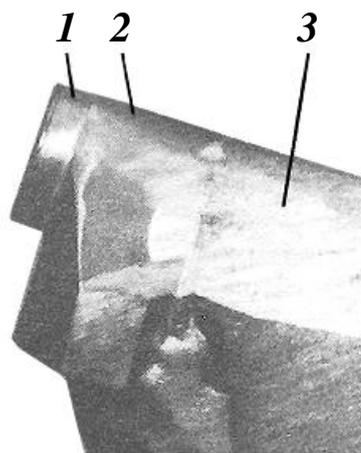


Рис. 11.1. Радиальный резец с покрытием режущей кромки поликристаллическими спеченными алмазами: 1 – поликристаллический диск; 2 – твердосплавная вставка; 3 – корпус резца

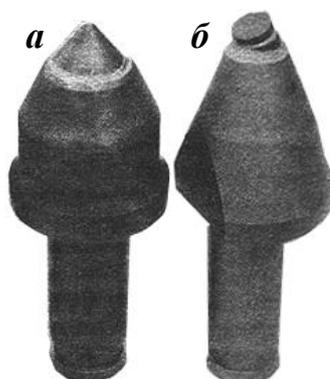


Рис. 11.2. Экспериментальные резцы

Поликристаллические алмазные вставки (PKD) могут быть выполнены только в виде дисков. Для получения других форм, например конической, требуется дополнительная электроискровая обработка дисков. Вставки из керамических материалов не имели, как твердосплавные, характерного абразивного износа и выходили из строя в основном по двум причинам: излом основания вставки; излом по лезвию вставки. Основная причина поломки вставок состоит в недостаточной прочности керамики на изгиб. Лучшие ре-

зультаты показали керамические вставки из кремниевого нитрида ( $\text{Si}_3\text{N}_4$ ) диаметром 25 мм. Однако даже при их испытании абразивного износа не было обнаружено (рис. 11.3). На основании результатов исследований был сделан вывод о неприемлемости керамических материалов для армировки режущего инструмента.

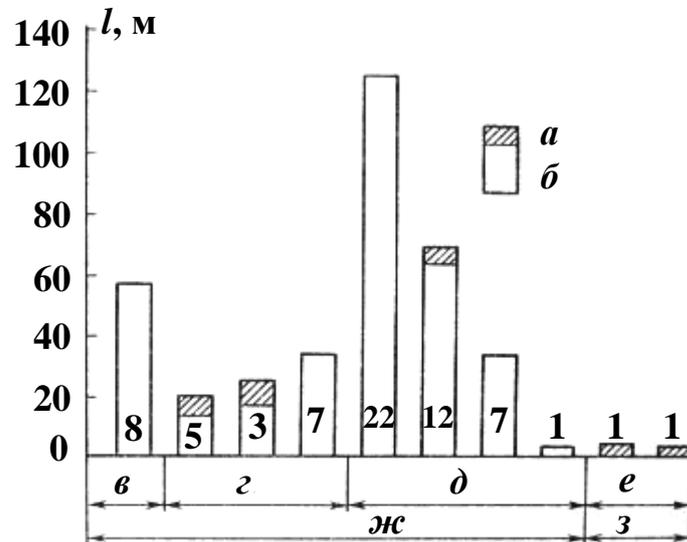


Рис. 11.3. Показатели износа вставок из кремниевого нитрида ( $\text{Si}_3\text{N}_4$  – HIP):  $l$  – длина резца;  $a$  – износ с разрушением;  $б$  – отсутствие износа;  $v$  – глинистый сланец;  $z$  – песчанистый сланец с включениями кремния;  $д$  – песчанистый сланец;  $e$  – песчаник;  $ж$  – имитация породы;  $з$  – порода

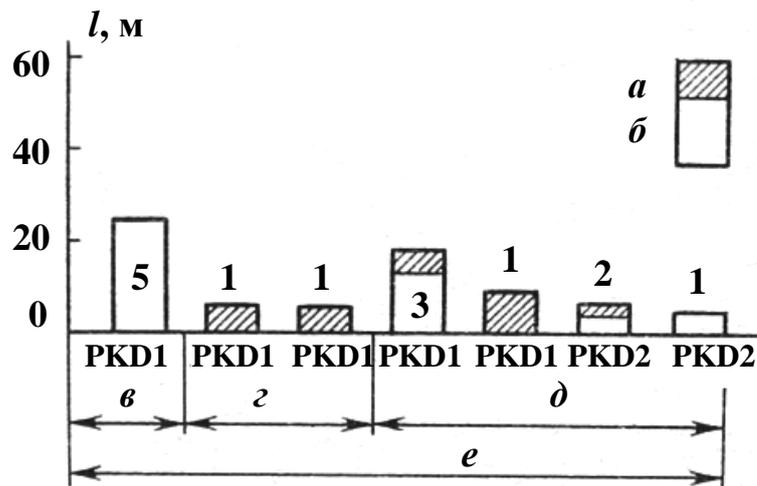


Рис. 11.4. Показатели износа резцов PKD1 и PKD2:  $l$ ,  $a$ ,  $б$ ,  $v$ ,  $z$ ,  $д$ ,  $e$  (см. поз. рис. 11.3)

Резцы PKD1 и PKD2 (рис. 11.4), оснащенные поликристаллическими алмазными вставками, имели одинаковый с керамическими характер износа – абразивного износа не обнаружено. Это объясня-

ется высокой износостойкостью этих материалов. При испытаниях резцов имели место изломы вставок. Авторы исследований объясняют их следующим образом:

- резкие колебания нагрузки на поверхности РКД вставок как по величине, так и по распределению по контактной поверхности вставка – порода, которые сопровождаются повышенной вибрацией;
- недостаточная толщина вставки и несущей твердосплавной основы;
- на переходе от пластины РКД к корпусу головной части резца имеет место скачкообразное изменение жесткости материалов. Из-за меньшей жесткости корпуса резца в процессе резания породы вставки подвергаются нагрузке на изгиб.

На резцах РКД3 и РКД4 с целью устранения отмеченных выше недостатков толщина твердосплавной подложки была увеличена с 2,5 мм до 7 мм, а толщина слоя РКД с 0,5 мм до 1 мм. Для устранения вибрации резцы были закреплены в резцедержателях более прочным фиксатором.

Эти меры дали положительный результат – изломы были исключены и появился явно выраженный абразивный износ поликристаллических алмазных вставок (РКД).

Немецкая фирма “Де Бирс индастриел дайеменд дивижн” (Германия) провела испытания тангенциальных резцов типа Синпик (рис. 11.5) [68].

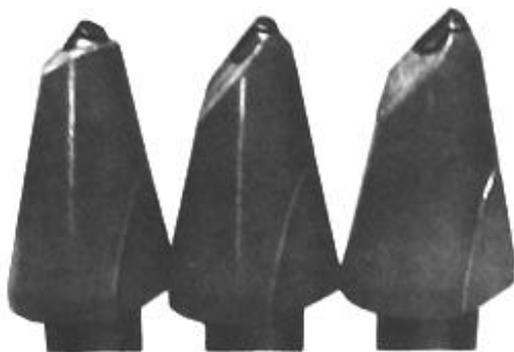


Рис. 11.5. Резцы Синпик с вставками из искусственных поликристаллических алмазов (РКД)

Резцы имели для защиты головной части резца высокоизносные поликристаллические алмазы (РКД), которые были размещены в специальных твердосплавных вставках. Испытания показали наличие их абразивного износа и подтвердили преимущества этих вставок (РКД) по сравнению с твердосплавными:

- десятикратное увеличение срока службы;
- сокращение времени, затрачиваемого на замену резцов;
- меньшие усилия резания при разрушении породы;
- снижение пылеобразования.

В резцах эти результаты были получены благодаря применению двухслойных систем в головной части резцов: поликристаллические алмазы – твердосплавная вставка.

В качестве примера аналогичного технического решения можно привести также тангенциальный резец со вставками из поликристаллического композиционного алмазного материала ПКА, прошедший испытания в Германии (рис. 11.6) [69]. В резцах применена трехслойная система для защиты головной части резцов: поликристаллические алмазы – композит – твердосплавная вставка.

Резцы со вставками ПКА прошли успешные производственные испытания в горной промышленности ЮАР.

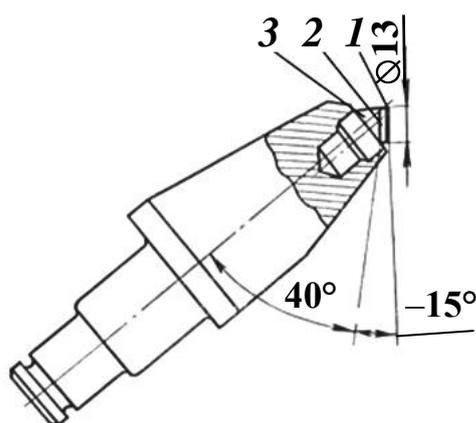


Рис. 11.6. Резец с режущими вставками из ПКА: 1 – слой ПКА толщиной 0,5 мм; 2 – композит; 3 – несущий твердый сплав

Для нового материала характерна очень высокая твердость, обусловленная спеканием алмазных частиц крупностью от 2 до 75 мкм при экстремально высоком давлении до 6 ГПа и температуре до 1500 °С. В рассмотренном примере материал ПКА непосредственно наносился на твердосплавную подложку – композит в процессе изготовления вставки. Для соединения с подложкой алмазного слоя, толщина которого колебалась от 0,5 до 0,7 мм, по технологическим соображениям, в связи с необходимостью прочного закрепления алмазных зерен, необходимо присутствие в спекаемой массе металлических компонентов. Подобные режущие вставки можно закреплять на режущем инструменте с применением твердого припоя.

### **11.2.8. Вставки буровых резцов из сверхтвердых материалов**

Ниже приведена информация по материалам синдит, синдрил, синдакс-3 и “Де Бирс” – товарное обозначение компании “Де Бирс индастриел дайеменд дивижн”.

#### **11.2.8.1. Режущие вставки синдит – твердый сплав**

Сверхвысокая твердость алмазов послужила причиной их все более широкого применения в качестве материала для армирования бурового режущего инструмента. Однако из-за ограниченных возможностей технического применения природных и синтетических монокристаллических алмазов (в связи с их нехваткой и высокой стоимостью) специалисты стремились найти новые решения проблемы армирования режущего инструмента алмазами. Такие материалы были получены в виде поликристаллических алмазных материалов, сокращенно обозначенных ПКА, которые получают при высоком давлении и высокой температуре. Для изготовления ПКА тщательно отобранные зерна алмазов соответствующей формы и размеров (в присутствии, например, металлической фазы) спекают при высокой температуре (около 1500 °С) и высоком давлении (около 6 ГПа) [70].

Материал ПКА можно применять для армирования резцов вращательного бурения. Внедрение ПКА в практику вращательного бурения в виде режущих вставок синдит – твердый сплав способствовало заметному прогрессу в развитии буровой техники. В связи с необходимостью снижения расходов на бурение, а также повышенными требованиями к скорости бурения и сроку службы инструмента режущие вставки из ПКА уже завоевали широкое признание благодаря значительным преимуществам в сравнении с обычными твердосплавными режущими вставками. В то же время применение ПКА пока еще ограничивается рядом причин, в том числе:

- пониженным сопротивлением при ударных нагрузках, возникающих при бурении по трещиноватым породам, что сужает область применения буровых резцов;
- термической чувствительностью материала ПКА при температуре выше 700 °С.

Хотя пониженное сопротивление ПКА ударным нагрузкам в определенной мере удалось компенсировать установкой более мелких режущих вставок, но это, в свою очередь, усложнило техноло-

гию изготовления режущего инструмента, особенно с учетом необходимой термостойкости. Таким образом, возникла настоятельная необходимость в разработке достаточно вязкого и износостойкого материала ПКА с высокой термической стабильностью, который был бы пригоден для бурения прежде всего крепких пород и, кроме того, допускал применение стандартной технологии спекания при изготовлении инструмента. Для того чтобы выполнить все требования к ПКА, разработаны поликристаллические материалы синдрил и синдакс-3, отличающиеся высокой термостойкостью при температуре до 1200 °С.

Все материалы ПКА для вставок бурового инструмента изготавливаются в присутствии кобальта, в качестве растворителя-катализатора. Хотя благодаря этому улучшаются определенные физические свойства ПКА, в то же время остающаяся в конечном продукте кобальтовая промежуточная фаза повышает температурную чувствительность, что при температуре более 700 °С приводит к постепенно возрастающему разрушению структуры ПКА. Такое отрицательное влияние кобальта имеет две причины.

Прежде всего большое сродство с углеродом при высокой температуре, которое в условиях пониженного давления способствует преобразованию алмаза в графит, затрудняет структурную интеграцию при срастании зерен и, следовательно, уменьшает его прочность.

Вторая причина заключается в том, что коэффициенты теплового расширения кобальта и алмаза значительно различаются, а это приводит к увеличению тепловых напряжений с ростом температуры и в конце концов к образованию микротрещин внутри материала, а при дополнительной механической нагрузке – к его разрушению.

#### **11.2.8.2. Режущие вставки синдрил – твердый сплав**

Вставки синдрил – твердый сплав отвечают требованиям изготовителей бурового инструмента и условиям эксплуатации буровой техники. Режущие элементы в виде круглых дисков помещаются с помощью подложки из твердого сплава. Диски выпускаются диаметром от 13,3 до 50,8 мм, что значительно расширяет типоразмерный ряд бурового инструмента. Все режущие вставки имеют поликристаллический алмазный слой толщиной 0,7 или 1,0 мм, который непосредственно закреплен на твердом сплаве. Свойства слоя ПКА

во всех вставках одинаковы, так как его получают при одних и тех же условиях – высоком давлении и температуре [70].

Применение синдрила в твердосплавных вставках буровых резцов показало очень хорошие результаты в горной промышленности благодаря следующим трем положительным свойствам материала:

- режущие вставки из синдрила обладают свойствами самозатачиваемости при постепенном износе, не затупляясь из-за сильного скругления или уплощения кромок, как это происходит в менее стойком к абразивному износу твердом сплаве;

- основа вставки, выполненная из твердого сплава, служит для довольно хрупкого синдрила в качестве амортизирующей опоры и придает ему повышенное сопротивление по отношению к ударным нагрузкам;

- основа из твердого сплава обеспечивает надежное крепление вставки в корпусе бурового инструмента.

Стандартные формы и размеры режущих вставок из синдрила представлены на рис. 11.7. Цилиндрические вставки диаметром от 13,3 до 13,44 мм пригодны для непосредственной установки на корпусе буровых резцов (рис. 11.8).

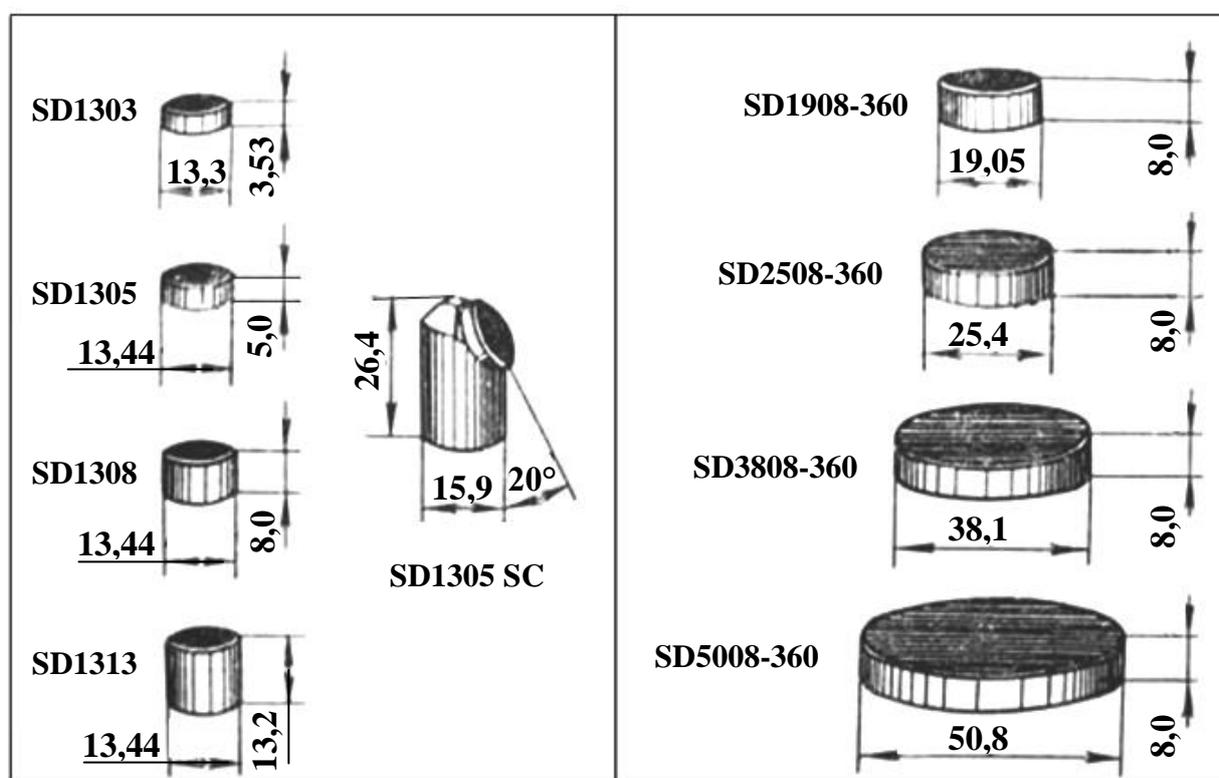


Рис. 11.7. Размеры стандартных режущих вставок с толщиной слоя синдрила 0,7 мм (слева) и 1 мм (справа)

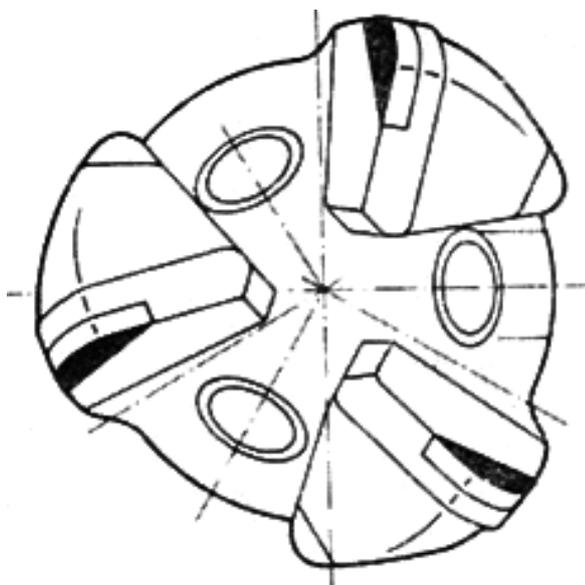


Рис. 11.8. Буровой резец с режущими вставками синдрил – твердый сплав для бурения дегазационных скважин

Дисковые элементы диаметром 19,05–50,8 мм (рис. 11.7, справа) не предназначены для непосредственного использования на режущих вставках. Их следует скорее рассматривать как составляющий элемент, позволяющий в зависимости от потребности и назначения инструмента изготавливать режущие вставки синдрил – твердый сплав любой формы и размеров.

### 11.2.8.3. Режущие вставки синдакс-3 – твердый сплав

Синдакс-3 получают по той же технологии, при высоких давлении и температуре, что и другие синтетические алмазы и ПКА. Плотнo уложенные зерна алмазов спекают в присутствии порошкообразного кремния. В процессе синтеза большая часть кремния преобразуется в твердый износостойкий и химически устойчивый карбид кремния  $\beta$ -модификации. Полированные микрошлифы из материала синдакс-3 сравнимы с микрошлифами синдрила, имеющего кобальтовую промежуточную фазу, что свидетельствует о высокой степени прочности и этого термостойкого материала.

На рис. 11.9. показаны кривые, по которым можно сравнить изнашиваемость режущих вставок синдакс-3 – твердый сплав и синдрил – твердый сплав при бурении породы [70].

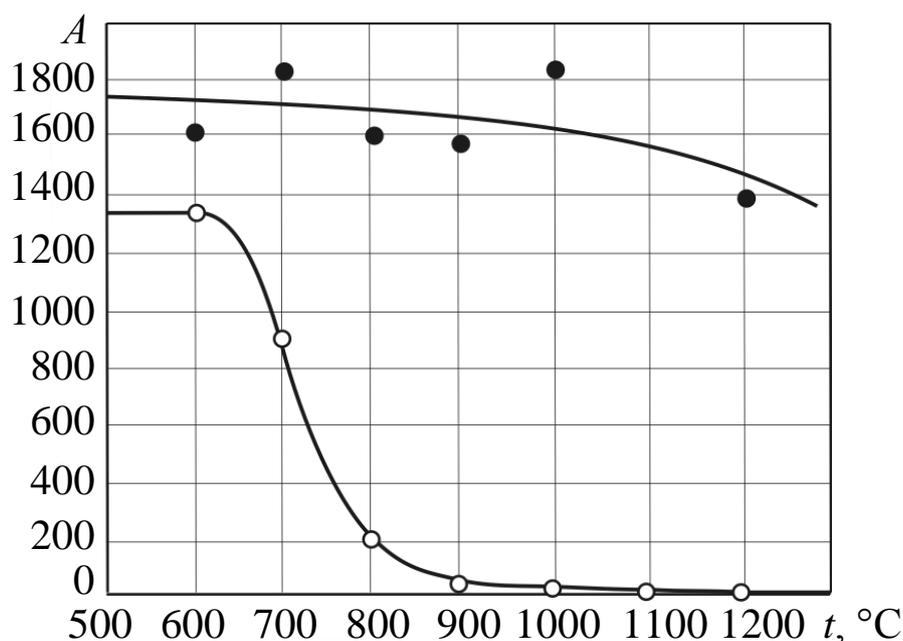


Рис. 11.9. График зависимости износостойкости буровых резцов от температуры нагрева вставок при резании породы:  $A$  – отношение объема буровой мелочи к объему изношенной части бурового инструмента (со вставками с синдрилом – нижняя кривая и с синдаксом-3 – верхняя кривая)

Характер кривых на рис. 11.9 четко показывает более высокую, по сравнению с синдрилом, термостойкость синдакса-3; при переходе через температурную нагрузку в  $700\text{ }^\circ\text{C}$  износ синдрила резко увеличивается.

## 12. ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ РЕЗЦОВ

Радиальные резцы изготавливают методом штампования с последующей механической обработкой.

Для армирования применяют вставки в виде пластинок из твердого сплава. Пластинки бывают с плоской выпуклой цилиндрической или выпуклой клиновидной передней поверхностью и других форм. Режущие кромки различают прямо- и криволинейные. Наиболее прочны пластинки с выпуклой передней поверхностью и округлой формой режущей кромки. Требуемая высота пластинки твердого сплава (мм) [23]:

$$H_a = H_o + m_3 a_{и} + h_{к}, \quad (12.1)$$

где  $H_0$  – глубина паза, в который впаивается пластинка, мм;  $m_3$  – число переточек за время работы инструмента;  $a_{и}$  – износ пластинки по высоте на одну заточку, мм;  $h_k$  – средняя высота контакта резца с породой, мм.

Толщина вставки выбирается из условий прочности на изгиб и на удар. Пластинки минимальной толщины (4 мм) применяют для резцов при сверлении угля ручными горными сверлами, пластинки толщиной 4–5 мм – для буровых резцов по породе, пластинки толщиной 5–8 мм и вставки диаметром 8–10 мм – для резцов очистных и проходческих комбайнов. Пластинки, вставки должны быть расположены так, чтобы твердый сплав работал на сжатие. Для этого надо знать положение результирующей нагрузки на инструмент, которое у резцов зависит от толщины стружки, крепости породы и степени затупления. При резании крепких пород и включений, а также при динамической нагрузке для увеличения прочности режущих кромок следует: применять отрицательный угол, равный 20–25°; производить притупление лезвия; размещать пластинки, штыри в закрытом или полузакрытом пазе.

### 12.1. Виды пазов при армировке

Пазы применяют открытые, закрытые и полузакрытые (рис. 12.1).

*Открытый паз* (рис. 12.1, а) применяют в резцах очистных комбайнов и горных сверл. В открытом пазе пластинку припаивают к корпусу инструмента одной широкой плоскостью и одной торцевой. Преимущество такого паза – простая и дешевая технология механической обработки [23].

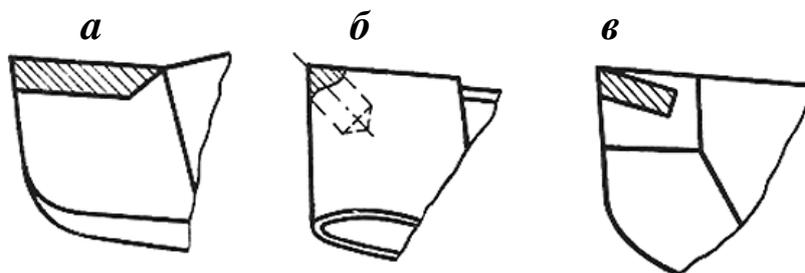


Рис. 12.1. Виды пазов: а – открытый; б – закрытый; в – полузакрытый

*Закрытый паз* (рис. 12.1, б) применяют главным образом в резцах для разрушения пород средней крепости.

В закрытом пазе пластинку твердого сплава, вставку припаивают всеми сторонами к корпусу инструмента, поэтому обеспе-

чивается более высокая прочность пайки. Кроме того, армировка находится в условиях всестороннего сжатия, что благоприятно сказывается на ее прочности. К недостаткам закрытого паза следует отнести возможность появления опасных внутренних напряжений, а также усложнение и удорожание технологии производства.

*Полузакрытый* (рис. 12.1, в) паз в чистом виде применяется редко. Одна из его разновидностей – широко применяемый паз с технологическим “усиком”, который служит для удержания пластинки твердого сплава при пайке методом погружения.

Пластинки твердого сплава в режущем инструменте крепятся методом пайки. Для снижения внутренних напряжений в пластинках твердого сплава применяют следующие методы: увеличивают толщину корпуса инструмента под пластинкой твердого сплава; изготавливают корпуса инструмента из стали, способствующей снижению внутренних напряжений; используют низкотемпературные пластичные припои; производят закалку инструмента; применяют релаксационный отпуск; используют компенсационные прокладки.

Из технологических методов снижения внутренних напряжений наиболее эффективным является закалка режущего инструмента после пайки. Многолетний опыт применения закалки на Краснолучском машзаводе показывает, что закалка инструмента с использованием для этого раствора селитры ( $\text{KNO}_3$  – 50 % и  $\text{NaNO}_3$  – 50 %) снижает внутренние напряжения в пластинках твердого сплава до минимальных значений.

*Закалка* – процесс термической обработки, обуславливающий получение структур аустенита, мартенсита, троостита. Закалка состоит из нагрева стали до температуры выше или в интервале структурных превращений, выдержки при этой температуре и последующего охлаждения обычно с большой скоростью в водных растворах солей NaOH или NaCl в воде, масле, расплавленных солях или на воздухе. Для инструментов, изготавливаемых из стали 35ХГСА, применяют так называемую изотермическую закалку.

*Изотермическая закалка* – нагрев стали до температуры на 30–50 °С выше интервала структурных превращений, выдержка при этой температуре, охлаждение в среде с температурой на 30–100 °С выше начала мартенситного превращения для изотермического превращения аустенита и последующее охлаждение (вне этой среды) с заданной скоростью. Сталь 35ХГСА относится к группе сталей по-

вышенной прокаливаемости. Подвергнутая изотермической закалке при температуре 870 °С, охлажденная в смеси калиевой и натриевой селитры при 280–310 °С с последующим охлаждением на воздухе, она приобретает следующие механические свойства: предел прочности при растяжении 1650 МПа, предел текучести 1300 МПа, ударная вязкость 40 Дж/см<sup>2</sup>. Закалку армированных инструментов производят сразу после пайки, без повторного нагрева. Отпуску армированный инструмент не подвергают.

В настоящее время применяют два метода пайки: ручной (с нагревом ТВЧ в многоместных индукторах) и полуавтоматический (на установке с использованием метода погружения в расплавленный припой).

При ручной пайке выполняют следующие операции. На поверхность паза насыпают флюс. В качестве флюса обычно применяют техническую буру ( $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ ), прокаленную, размолотую в порошок и просеянную через сито. Затем в паз укладывают прокатанную и обезжиренную сетку или пластинку пермаллоя (если применяют компенсационные прокладки), пластинки припоя и твердого сплава. Подготовленное таким образом изделие вводят в индуктор и нагревают до полного расплавления припоя. После этого изделие выводят из индуктора и прижимают его к корпусу резца до затвердевания припоя, а боковые поверхности очищают от наплывов буры и припоя. Затем инструмент охлаждают до температуры 850–880 °С и производят термообработку. Если инструмент термообработке не подвергается (например, буровые резцы), то режущую часть резца помещают в сухой горячий песок до полного остывания, что предотвращает образование трещин в пластинках твердого сплава.

При пайке методом погружения пластинка твердого сплава предварительно закрепляется на корпусе резца опрессовкой технологического “усика” или конденсаторной сваркой. В таком виде резец устанавливают головкой вниз в держателе полуавтоматической установки (их на установке 80 шт.). Установка сообщает инструменту непрерывное перемещение по кругу с заданной скоростью, а на отдельных участках – вверх и вниз. В процессе движения головка резца последовательно проходит сначала через щелевой индуктор, где нагревается до 1070–1100 °С, а затем погружается в тигель с расплавленным припоем, покрытым сверху слоем расплавленного флюса. Выйдя из тигля, резец остывает на воздухе до температуры

закалки (880–920 °С), освобождается из держателя и попадает по конвейеру в селитровую ванну. Температура расплавленных солей ( $\text{KNO}_3 - 50\%$  и  $\text{NaNO}_3 - 50\%$ ) в ванне поддерживается в пределах 240–280 °С. Резцы находятся в ванне 8–12 мин, откуда автоматически перегружаются в водяную промывочную ванну. При пайке погружением смачивание поверхностей припоем происходит без доступа воздуха, заполнение зазоров производится не только в результате капиллярного эффекта, но и под действием гидростатического давления. Установка позволяет легко контролировать и регулировать все параметры процесса пайки. Все это обеспечивает высокое и стабильное качество паяного соединения.

## 12.2. Припой и флюсы

Для соединения твердых сплавов с корпусами горных инструментов можно использовать припой (табл. 12.1).

Таблица 12.1

Механические показатели припоев

Припой	Температура плавления, °С	Прочность паяного шва на срез, МПа	Коэф. растекаемости	Механические свойства	
				предел прочности при растяжении, МПа	относительное удлинение, %
Медь МО	1083	160	—	240	35
Латунь Л62	902	170	1,0	340	43
ПЛМнМц68-4-2	930	220	2,31	260	39
ПЛНКоМц49-9-0,2-0,2	955	250	1,52	480	25
ПЛНМцЖК1,5-0,75-0,15	893	210	2,24	460	25
ПЛНМц10-5	995	290	2,50	350	41
ПСр44	800	180	—	500	58

Свойства припоя должны обеспечить наиболее полное сохранение качества твердого сплава после пайки. Из используемых в настоящее время этому требованию в большей мере отвечают серебряные припои (например, ПСр44) [23]. Они пластичны при циклических нагрузках, обеспечивают весьма прочные соединения и

хорошо смачивают все сплавы и металлы. Низкая температура плавления и высокая пластичность обеспечивают самые низкие напряжения в твердом сплаве после пайки. Однако вследствие дороговизны и дефицитности серебра эти припои в отечественной практике для пайки горных инструментов почти не применяются.

Широкое распространение получили медно-цинковые припои с присадками никеля, марганца, кремния и др. Эти присадки повышают прочность и надежность паяного соединения и улучшают механические и технологические свойства припоев. Из используемых в настоящее время этому требованию в большей мере отвечают припои ПЛНКоМц 49-9-0,2-0,2, ПЛНМцЮ-5 и ПЛМцЖК 1,5-0,75-0,15, содержащие никель, кобальт и марганец (остальное латунь).

В качестве флюса используют обезвоженную техническую буру. В последнее время стали широко применять флюсующие смеси буры и борной кислоты с добавками разных солей для повышения активности флюса (табл. 12.2).

Таблица 12.2

## Состав флюсов

Флюс	Состав, %					Температура действия, °С	Припои
	бура плавная	борный ангидрид	фтористый кальций	фтористый калий	фторборат калия		
Бура	100	—	—	—	—	800–1100	Медные
Флюс: № 209	—	35	—	42	23	600–1100	Серебряные
№ 284	—	25	—	35	40	500–850	Серебряные
№ 200	19	66	15	—	—	850–1150	Медные и латунные
№ 201	12	77	10	—	—	850–1150	Медные и латунные
№ 100	36,5	—	—	—	46,5	900–1100	На медной основе сплавов с малым содержанием кобальта

### 12.3. Особенности технологии изготовления тангенциальных поворотных резцов

В настоящее время на проходческих и очистных комбайнах большое распространение получили так называемые тангенциальные поворотные резцы. Для повышения стойкости к износу их в головной части армируют твердосплавными вставками обычно из сплавов группы ВК. Однако эта мера не исключает контакта головной части стального корпуса резца с разрушаемой породой, а следовательно, и ее изнашивания. Более того, эксплуатация показывает, что в большинстве случаев первопричиной выхода резцов из строя при работе по породам является истирание головной части их корпуса. Это приводит к обнажению и последующему скалыванию твердосплавной вставки (например, см. рис. 9.12).

Низкая износостойкость корпуса тангенциальных резцов объясняется спецификой распределения микроструктуры и, как следствие, твердости используемого материала по длине корпуса резца [71].

Для исследований были взяты три резца: российский марки РС32 (см. прил. 5) и два резца Q2AA (см. прил. 9) австрийской фирмы “First-Alpina” консорциума “Sandvik” подобной геометрии, отличающиеся существенно более высокой износостойкостью. Химический состав материала корпуса резцов исследовали рентгенофлуоресцентным способом на спектрометре ED2000, микроструктуру различных зон корпуса резцов анализировали под микроскопом Zeiss Observer DIm. Замеры твердости проводили на твердомере Роквелла и универсальном твердомере Zwick/Roel ZHU. Поскольку данные приборы предназначены для измерения твердости только горизонтальных поверхностей материалов, для получения достоверных результатов анализируемые резцы подвергали специальной механической обработке в целях создания на них указанных поверхностей. Для определения твердости сердцевины резца каждая зона предварительно разрезалась в направлении, перпендикулярном его оси.

Замеры твердости показали, что по окружности корпуса резца РС32 твердость поверхности каждой зоны практически одинакова (рис. 12.2). В то же время по длине резца она распределена крайне неравномерно: максимальна ( $\sim 55$  HRC<sub>9</sub>) на самой широкой части корпуса (рис. 12.2, зона I) и минимальна ( $\sim 32$  HRC<sub>9</sub>) в его средней части (зона III), несколько больше в головной (зона IV). Причем зо-

ны III, IV как раз и контактируют с разрушаемой породой в процессе эксплуатации, подвергаясь абразивному износу. Кроме того, твердость сердцевины корпуса резца PC32 (кривая 1, рис. 12.3) меньше, чем на поверхности (кривая 2) и также убывает по направлению к головной части.

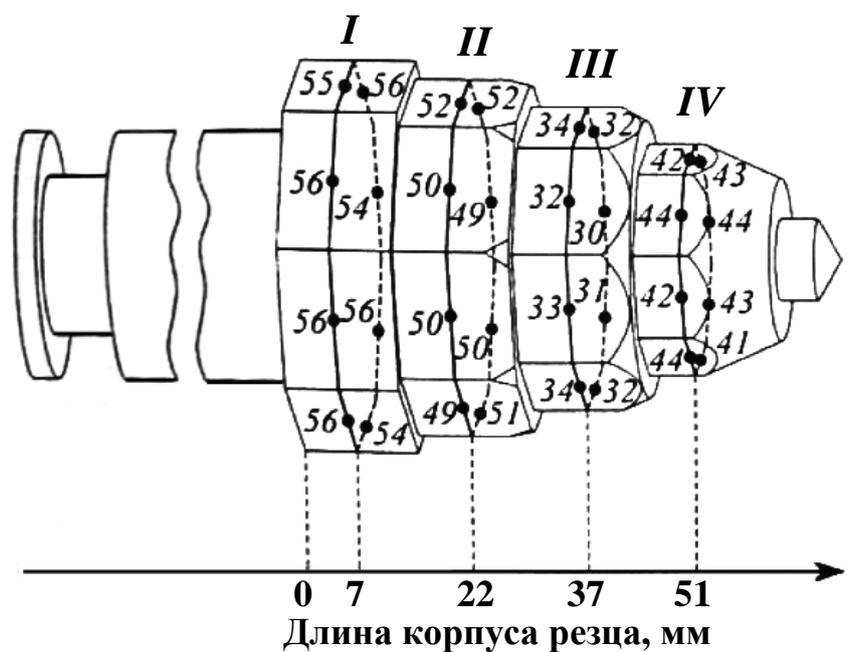


Рис. 12.2. Распределение твердости (HRC<sub>s</sub>) по длине головной поверхности резца PC32

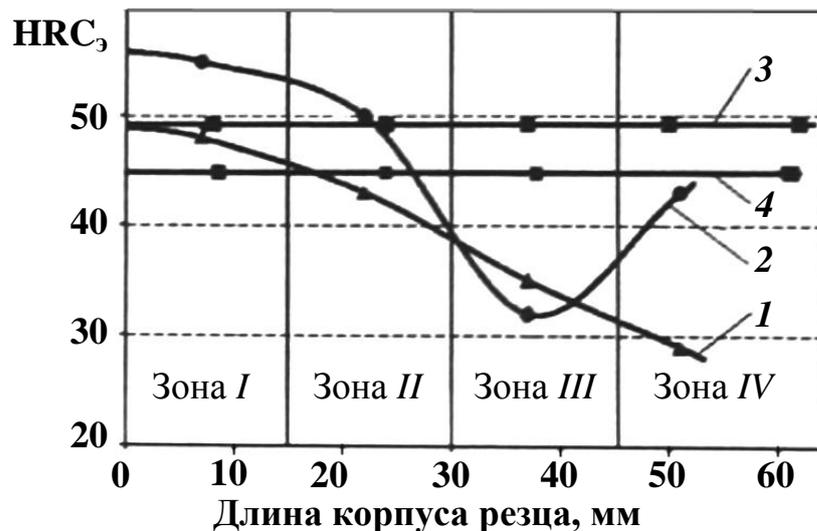


Рис. 12.3. Распределение твердости по длине резцов: 1 – в середине резца PC32; 2 – на поверхности резца PC32; 3 – на поверхности резца Q2AA; 4 – в середине резца Q2AA

Исследования корпуса резца Q2AA показали, что твердость поверхности по всей его длине остается неизменной (кривая 3) и имеет величину  $\sim 49 \text{ HRC}_3$ , достаточную для обеспечения высокой износостойкости материала. Твердость в середине резца Q2AA также неизменна и составляет  $\sim 45 \text{ HRC}_3$  (кривая 4).

Таким образом, исследования показали, что резцы марки PC32 имеют различную твердость корпуса по его длине, причем минимальная твердость наблюдается в головной части корпуса резца.

Низкая твердость и, как следствие, недостаточная износостойкость головной части корпуса резцов обусловлена закалкой материала этой зоны не на мартенсит, а на более мягкие сорбит и бейнит. Эта неоднородность появляется в процессе охлаждения перед изотермической закалкой изделий. Коническая форма резца приводит к неравномерному его охлаждению. В результате к этапу изотермической заправки изделие имеет разную температуру от твердосплавной вставки до хвостовика резца. Охлаждение не на воздухе, а в жидкой среде (расплаве соли) позволит получить одинаковую по всей длине изделия температуру и избежать появления неоднородности в структуре в процессе изотермической заправки.

Стойкость тангенциального инструмента зависит от стойкости твердосплавной вставки и стойкости корпуса. Эти факторы взаимосвязаны и определяют скорость износа резца. Наилучший результат достигается тогда, когда скорость износа твердосплавной вставки равна скорости износа головной части и износ происходит равномерно по всему периметру. Худший вариант, когда опережающий износ головной части приводит к “вымыванию” твердосплавной вставки и ее последующему выпадению.

До настоящего времени для производства корпуса тангенциальных резцов основными технологическими операциями являлись резание или штамповка. В зависимости от технологии производства корпус резца наследует свойственную этой технологии макроструктуру. Для производства корпуса резца, как правило, используется пруток, полученный методом прокатки. Макроструктура исходного материала содержит непрерывные волокна, направленные вдоль образующей и примерно равномерно распределенные по сечению (рис. 12.4) [56].



Рис. 12.4. Макроструктура материала перед обработкой

При производстве корпуса резца из этого материала методом резания часть волокон перерезается, они перестают быть непрерывными (рис. 12.5), а это, как известно, существенно снижает общую прочность корпуса. На режущей части резца волокна выходят на образующую рабочей поверхности ( $A$ ) под углом ( $\gamma$ ). При последующей эксплуатации резца вдоль поверхности ( $A$ ) действует сила трения ( $Q$ ), направление которой совпадает с направлением образующей. Очевидно, что это обстоятельство вызывает снижение прочности материала в направлении действия силы трения. Как показали результаты исследований, величина снижения прочности головной части резца пропорциональна синусу угла ( $\gamma$ ).

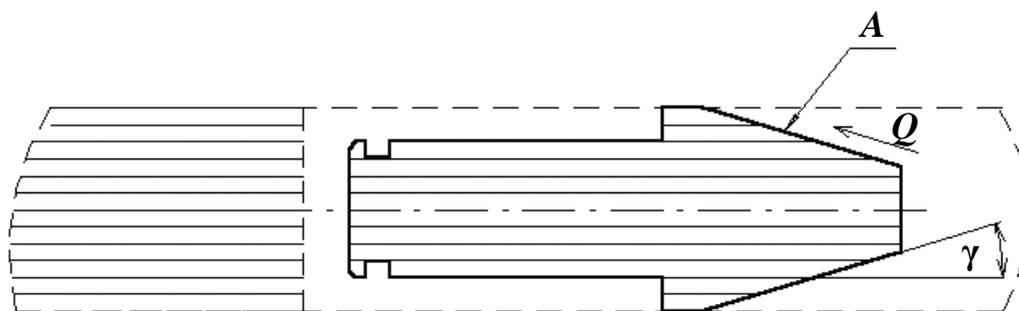


Рис. 12.5. Макроструктура корпуса резца, изготовленного точением заготовки

При производстве корпуса резца методом штамповки прутки деформируют, вызывая течение материала. При этом течение материала является неравномерным и преобладает направление, поперечное оси резца. При горячей штамповке волокна сохраняют свою непрерывность, а при холодной – нарушается непрерывность значительной части волокон металла.

На рис. 12.6 показана макроструктура, характерная процессу горячей штамповки. Макроструктура корпуса резца после горячей

штамповки содержит две ярко выраженные зоны: зону (*A*), где волокна уплотнены к поверхности и их направление совпадает с направлением силы трения (*Q*), и зону (*B*), где волокна удалены на более значительное расстояние, чем в зоне (*A*), и направлены под углом  $\gamma$  к направлению силы трения (*Q*). Износостойкость зоны (*A*) значительно выше, чем зоны (*B*). Таким образом, по периметру рабочей части изделия возникают две разнопрочные зоны – (*A*) и (*B*), наличие которых обуславливает неравномерный износ резца по периметру рабочей части. Это явление вместе с несоосностью рабочей части относительно хвостовика является причиной одностороннего износа. Как показано на рис. 12.7, в зоне (*K*) образуется выработка в виде кратера или плоской поверхности. Резцы, износ которых приобретает характер одностороннего, перестают вращаться, их дальнейший износ происходит лавинообразно. Обычно, если на резцах проявляется односторонний износ, их заменяют сразу, не дожидаясь полного износа.

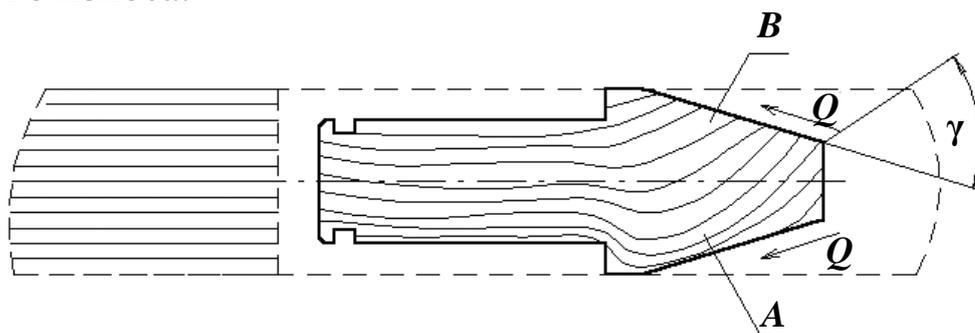


Рис. 12.6. Макроструктура корпуса резца, изготовленного штамповкой заготовки

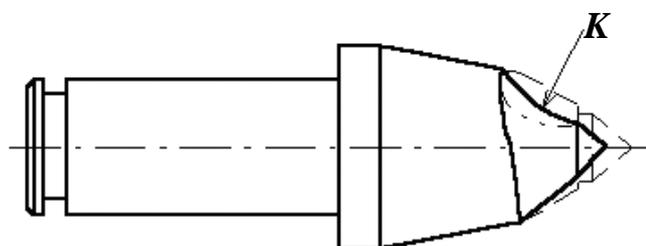


Рис. 12.7. Резец с односторонним износом рабочей части

За последние годы в ЗАО “Белтехнология и М” ([www.beltechnologia.com/cutters](http://www.beltechnologia.com/cutters)) разработана новая технология производства корпусов тангенциальных поворотных резцов – клиновой прокатки, которая относится к процессам горячего деформирования. При клиновой прокатке деформация вращающейся заготовки

осуществляется в радиальном направлении. Такая схема воздействия на заготовку позволяет сформировать осесимметричную макроструктуру с непрерывными волокнами, где волокна уплотнены к поверхности и направлены вдоль образующей (рис. 12.8).

Расположение волокон корпуса резца, полученного методом клиновой прокатки (рис. 12.18), указывает на возможность формирования макроструктуры, наилучшим образом удовлетворяющей условиям эксплуатации, которая позволяет достичь значительно более высокой прочности, чем при точении или штамповке.

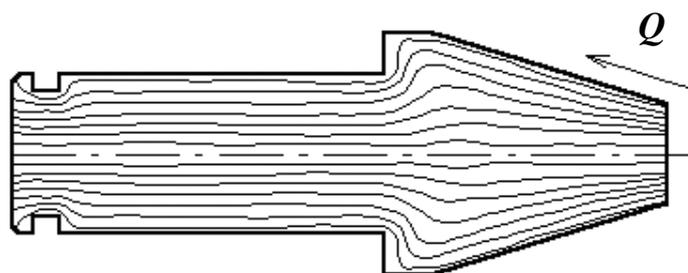


Рис. 12.8. Макроструктура корпуса резца, изготовленного клиновой прокаткой заготовки

Для проверки сделанных выводов были проведены промышленные испытания горного инструмента, полученного клиновой прокаткой. Испытания проводились в шахтах ПО “Беларуськалий” (г. Солигорск) и на шахтах Донецкого угольного бассейна.

На шахтах ПО “Беларуськалий” испытывались резцы РКС-1, полученные методом резания и методом клиновой прокатки. В результате испытаний установлено, что износостойкость корпуса возросла в среднем на 30 %. В результате износ твердосплавной вставки стал опережать износ корпуса. Это позволило изменить конструкцию самого резца путем уменьшения угла его заострения с  $28^\circ$  до  $22^\circ$  (рис. 12.9). Уменьшение угла заострения резца способствовало снижению усилия резания в пределах от 5 до 10 %.



Рис. 12.9. Конструкция резца РКС-1, изготовленная по традиционной (а) и новой (б) технологиям

Результаты испытания резцов на ПО “Беларуськалий” были использованы при разработке резцов для очистных и проходческих комбайнов. Новая конструкция головной части резца имеет меньший на 30 % объем металла. На рис. 12.10 традиционная конструкция головной части резца (линия 2) совмещена с новой конструкцией (волнистая линия 1). Площадь максимального сечения рабочей части резца традиционной конструкции ( $S_2$ ) уменьшена относительно площади сечения резца новой конструкции ( $S_1$ ) на 60 %.

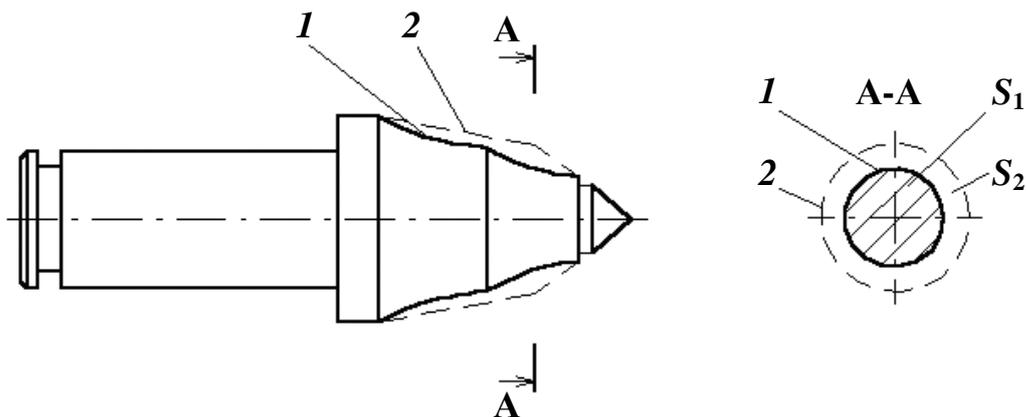


Рис. 12.10. Конструкция режущей части резца для угольных комбайнов:

- контур 1 резца, изготовленного клиновой прокаткой;
- контур 2 резца, изготовленного по существующим технологиям;
- $S_1$  – площадь сечения рабочей части резца по контуру 1;
- $S_2$  – площадь сечения рабочей части резца по контуру 2

Результаты испытаний, которые проводились на шахте Краснолиманская (Украина), показали, что стойкость новых резцов, корпуса которых были получены клиновой прокаткой, возросла более чем в два раза.

## 12.4. Особенности технологии изготовления буровых резцов

### 12.4.1. Припой для пайки бурового инструмента

Припой ЛМцЖ 57-1,5-0,75 (табл. 12.3) – однослойный, выпускается в ленте толщиной 0,3 и 0,5 мм, рекомендуется для пайки с индукционным и электроконтактным нагревом всех марок твердых сплавов, обеспечивает среднюю прочность паяных соединений инструмента, хорошо растекается по паяемым поверхностям в условиях флюсовой защиты боратнофторидными флюсами, в ряде случаев позволяет снизить уровень остаточных напряжений и повысить

надежность работы инструмента. Температура пайки с применением этого припоя составляет 920–930 °С [72].

Таблица 12.3

## Химический состав припоев

Марка припоя	Химический состав, %										Температура плавления, °С	
	Основные компоненты											
	медь	никель	марганец	бор	железо	кремний	цинк	олово	хром	алюминий	солидус	ликвидус
П102	Ост.	1-2			2-4		8-10	8-10	0,5-1,5		650	900
ПрМНМц 68-4-2	62-68	4-5	1,5-2,5				Ост.				950	980
ПрАНМц 0,6-4-2	Ост.	3-4	1,5-2,5						0,5-0,6		1050	1070
ПрЛМцЖ 57-1,5-0,75	56-58		1-1	0,07-0,15	0,5-1	0,1-0,2	Ост.				865	873

Припой МНМц 68-4-2 выпускается в ленте толщиной 0,6 мм или в слитке 50×250×350 мм, рекомендуется для пайки с индукционным или электроконтактным нагревом всех марок твердых сплавов, хорошо растекается по паяемым поверхностям, по сравнению с припоем ЛМцЖ 57-1,5-0,75 обеспечивает более высокую прочность паяного шва, но вызывает более высокий уровень остаточных паяльных напряжений в твердом сплаве. Рекомендуется для пайки металлорежущего инструмента, работающего в тяжелых условиях при повышенных температурах. Припой АНМц 06-4-2 выпускается в ленте толщиной 0,6 мм или в слитках 50×200×350 мм, рекомендуется для пайки при индукционном или электроконтактном нагреве соединений, работающих в тяжелых условиях с весьма нагруженным пая-

ным швом малой протяженности. Применение наиболее целесообразно в сочетании с флюсом марки Ф100. Припой П102 порошковый, занимает особое положение по сравнению с предыдущими. Это обусловлено его медно-оловянной основой, обладающей наименьшей объемной усадкой (до ~1,0 %) из перечисленных припоев, низкой температурой солидуса (~650 °С), что приближает его по температуре кристаллизации к серебряным припоям. Припой содержит ограниченное количество легкоиспаряемого компонента – цинка, что позволяет использовать его при пайке в печах с нейтральной и восстановительной газовой средой и частично в вакууме.

Механические свойства припоев

Таблица 12.4

Марка	Предел плавления, °С		Механические свойства припоев при разных температурах, °С					Ударная вязкость, Дж/см <sup>2</sup>	
	Начало	Конец	Предел прочности при растяжении, МПа		Предел текучести при растяжении, МПа		Удлинение, %		
			20	600	20	600		20	20
П102	650	900	375	–	130	–	32-38	65	40
ПрМНМц 68-4-2	950	980	330	100	140	70	43	130	3–5
ПрАНМц 06-4-2	1050	1070	260	120	120	60	36,5	120	80
ПрЛМцЖ -57 -1,5-0,75	865	873	460	25	250	170	25	45	91

*Примечания: При пайке жидкая фаза припоя, взаимодействуя с основными металлами, частично их растворяет, поэтому свойства паяного соединения обуславливаются не только механическими характеристиками припоя, но и степенью диффузионного взаимодействия, зависящего от температуры пайки, величины зазора, состава припоя и характера кристаллизации жидкой фазы, который зависит от скорости охлаждения и теплофизических свойств основных материалов.*

Все перечисленные свойства припоя П102 (табл. 12.4) позволяют использовать его в качестве заменителя серебряных припоев на ряде видов инструмента. Это особенно важно при производстве сложного многолезвийного инструмента с особо жесткими требованиями к качеству паяных соединений. Припой обеспечивает требуемую прочность паяных соединений (25–30 кгс/мм<sup>2</sup>, или 245–294 МПа), повышает надежность работы инструмента, позволяет снизить уровень паяльных напряжений, обеспечивает оптимальную толщину шва. Кроме того,

применение припоя в виде паяльной пасты значительно упрощает технологический процесс и создает предпосылки для широкой его механизации при использовании высокопроизводительных печей непрерывного действия типа СКЗ. Припой можно также использовать при пайке с индукционным нагревом в виде прессованных заготовок из смеси припоя и флюса. Это делает порошковые припои типа П102 достаточно универсальными и удобными в применении.

Кроме выше отмеченных для пайки буровых резцов применяются припои: Л63, ПрМнМq 68-4-2, ЛНКоМц 49-9-0,2-0,2.

#### **12.4.2. Флюсы для пайки буровых резцов**

В тех случаях, когда пайка инструмента сопряжена с нагревом на открытом воздухе, то есть при индукционной пайке, пайке методом электросопротивления и другими, применяются флюсы – неметаллические вещества, предназначенные для защиты паяемых поверхностей основных материалов и припоя от окисления, удаления с этих поверхностей дефектных, в том числе окисных, пленок предотвращения их образования во время пайки, снижения поверхностного натяжения расплава припоя и иногда для высаживания металлического слоя. При пайке инструмента применяют, как правило, флюсы боридофторидной группы.

Активность флюсов проявляется в строго определенном температурном интервале их жидкого состояния. Температура плавления порошковых флюсов, применяемых в виде порошка или паст, ниже температуры плавления припоев в среднем на 100–150 °С. Интервал активного действия флюсов для пайки твердосплавного инструмента припоями на медной основе находится в пределах 850–1100 °С [72].

При превышении верхней температурной границы этого интервала происходит частичное или полное испарение, разложение или выгорание компонентов флюса, что может привести к снижению качества паяных соединений. При недостаточной же активности флюса требуется перегрев расплавленного припоя, что приводит к его частичному вытеканию из зазора и, следовательно, к дефектам паяного соединения. Активность флюса может быть также ограничена во времени вследствие взаимодействия с окружающей газовой средой, паяемыми материалами и припоем.

Таким образом, прочность и плотность паяного шва при флюсовой пайке зависят от правильного выбора марки флюса, температуры и скорости процесса при прочих равных условиях.

Температурный интервал активности флюсов является неотъемлемой частью их характеристики и может быть определен с помощью технологической пробы на растекаемость припоя. Такая проба должна производиться при аттестации партии флюса после его изготовления и может также служить показателем качества флюса в производственных условиях.

Наибольшей активностью в указанном температурном интервале обладает флюс марки Ф100 (табл. 12.5), являющийся основным при пайке на воздухе трудносмачиваемых твердых сплавов марок Т15К6, Т30К4 и др.

Таблица 12.5

## Химический состав флюсов

Марка флюса	Химический состав, %						Температура, °С		Вид применения
	окись кобальта $\text{Co}_2\text{O}_3$	окись вольфрама $\text{WO}_3$	бура обезжиренная $\text{Na}_2\text{D}_4\text{O}_7$	фторборат калия $\text{KBF}_4$	борный ангидрид $\text{B}_2\text{O}_3$	фториды и другие соединения	плавления	интервала активного действия	
Ф100	2–3	14–16	32–36	45–52			635	1000–1100	С припоем в виде ленты, проволоки, порошка (1:4). С бурой (1:1).
Бура			100				741	800–1100	С флюсом Ф100. С припоем в виде порошка.
ВНИИ			69–73		21–22	5–10	620	800–1100	С припоем в виде порошка.
№ 200			19–21		68–72	8–10	635	850–1150	С припоем в виде порошка. С припоем в виде водной пасты.
№ 201			13–15		79–81	5–6	635	850–1150	С припоем в виде порошка. С припоем в виде водной пасты.

Действие флюса марки Ф100 основано на высаживании чистых металлов (вольфрама и кобальта) на паяемых поверхностях при температуре не ниже 1000 °С, поэтому его применение наиболее эффективно при пайке припоем марки АНМц 06-4-2, имеющим температуру плавления 1020 °С.

При пайке инструмента другими припоями с меньшей температурой ликвидуса необходим перегрев до указанной температуры. В противном случае активность флюса Ф100 не только не проявляется, но происходит и ухудшение качества паяного соединения. Порошковые флюсы могут быть использованы непосредственно в виде порошка, смесей с порошковыми припоями или в виде водных паст (при электроконтактной пайке). Норма расхода флюсов при указанных способах пайки в среднем составляет 25–30 % веса припоя, идущего на образование паяного соединения, или 0,15–0,20 г на 1 см<sup>2</sup> площади пайки.

Следует отметить, что на поверхности пластин твердых сплавов всех марок часто встречается такой распространенный дефект производства, как графитный или карбидный слой, по которому не растекаются припой в регламентированном интервале активного действия флюсов всех марок при пайке на воздухе. В этих случаях следует проводить очистку поверхностей пластин перед пайкой.

При пайке в печах с защитной газовой средой припой хорошо смачивает паяемые поверхности, и необходимость в дополнительных операциях очистки твердого сплава отпадает.

### **12.4.3. Технологический процесс пайки буровых резцов**

*Пайкой* называется образование соединения с межатомными связями посредством нагрева соединяемых материалов ниже температуры плавления, смачивания их припоем, затекания припоя в зазор и последующей его кристаллизации.

Пайка является одним из наиболее распространенных способов получения неразъемных соединений деталей машин, элементов инструментов и приборов.

*Основное достоинство пайки* – формирование паяного шва при температуре ниже температуры автономного плавления соединяемых металлов. Это позволяет получать соединения в труднодоступных местах, соединять детали не только последовательно по контуру шва, но и по поверхности.

Основные признаки пайки [72]:

1. Пайка осуществляется при температуре ниже точек плавления соединяемых металлов.

2. Процесс пайки во всех случаях связан с введением в зазор между соединяемыми металлами жидкой металлической прослойки (расплавленного припоя).

3. Соединение образуется в результате взаимодействия твердого основного металла с жидким припоем, который после завершения пайки кристаллизуется. Если условия для такого взаимодействия отсутствуют, то паяное соединение не образуется.

Свойство материалов образовывать паяное соединение при заданном режиме пайки называется паяемостью. В качестве припоя при пайке, как правило, используется металл или сплав с температурой плавления ниже температуры плавления паяемых материалов. Для удаления оксидов с поверхности паяемых материалов и припоя и предотвращения их образования в процессе пайки применяется вспомогательный материал, называемый паяльным флюсом. В настоящее время для пайки применяют восемь способов:

- 1) пайка горелкой;
- 2) пайка независимой угольной дугой;
- 3) пайка в печи;
- 4) индукционная пайка;
- 5) пайка сопротивлением;
- 6) пайка погружением;
- 7) пайка нагретым блоком;
- 8) пайка путем заливки припоя.

При любом из указанных способов пайки в качестве припоя применяется сплав из цветных металлов с температурой плавления выше 425 °С, но ниже, чем температура плавления основного металла.

*Паяное соединение* – элемент паяного изделия, включающий паяный шов и прилегающие к нему участки основного металла. Различают следующие основные зоны паяного соединения (рис. 12.11).

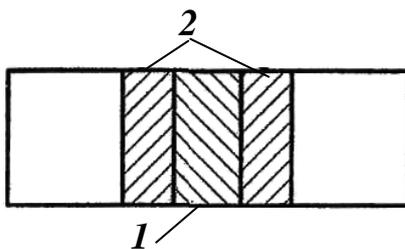


Рис. 12.11. Основные зоны паяного соединения

*Зона сплавления 1* – прослойка между соединенными деталями, образуется в результате взаимодействия жидкого припоя с металлом. *Диффузионная зона 2* – граничащий с зоной сплавления слой основного металла, образовавшийся в результате диффузии компонентов припоя и основного металла. Принципиальную роль в образовании качественного паяного соединения играют явления смачивания и капиллярности.

*Смачивание* – физико-химическое взаимодействие расплавленного припоя с паяемым металлом, проявляющееся в растекании припоя. Растекание флюсов по оксидным пленкам, затекание в зазоры, химическое растворение оксидных пленок во флюсе – все эти процессы также связаны со смачиванием. Без смачивания флюсами паяемых металлов вообще невозможна флюсовая пайка, которая в общем объеме пайки занимает приблизительно 95–98 %.

Буровые резцы (рис. 4.4 и прил. 1, 5) представляют сложное паяное соединение, на примере которого студенты смогут освоить методологию решения комплекса технологических задач. Паяные соединения твердых сплавов со стальными корпусами (стали 55Л и 60) буровых резцов выходят из строя из-за поломок, обусловленных остаточными напряжениями соединений после пайки. Уменьшение напряжений – основной резерв повышения качества паяных буровых резцов.

Технологический процесс пайки буровых резцов (рис. 12.12) включает сборку под пайку – укладку таблеток и вставок в паз, фиксацию правильного положения вставки и таблетки в пазах, ввод собранного изделия в зону нагрева, непосредственно пайку, выдержку для полного выравнивания температур корпуса и вставки, поджатие припаиваемой вставки, вывод изделия из зоны нагрева, выдержку на воздухе для полной кристаллизации припоя, перемещение изделия в емкость для охлаждения.

Режимы пайки резцов при нагреве ТВЧ на установках типа ВЧГ 1-60/0,06644:

- |                                   |              |
|-----------------------------------|--------------|
| - скорость нагрева                |              |
| первоначальная до 600–700 °С      | 100–200 °С/с |
| до температуры пайки 1000–1050 °С | 45–50 °С/с   |
| - скорость охлаждения             | 10–20 °С/с   |
| - температура пайки               | 1000–1050 °С |
| - время выдержки при пайке        | 15–20 с      |

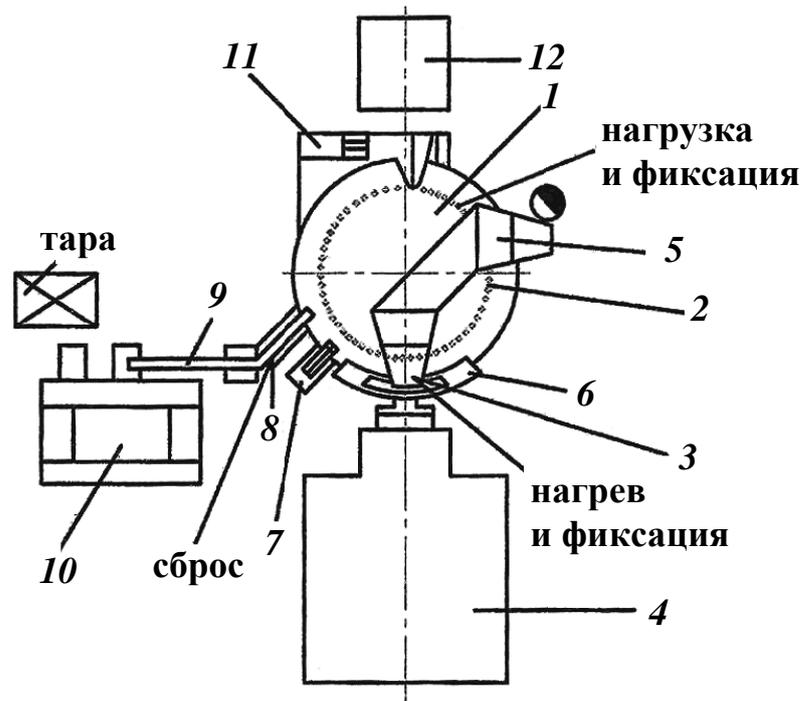


Рис. 12.12. Установка для пайки буровых резцов

В АО «ВНИПТИМ» (г. Кемерово) разработана, изготовлена и внедрена в ОАО «Кузнецкгормаш» механизированная установка для пайки буровых резцов (рис. 12.12), состоящая из загрузочного роторного стола 1 со штырями 2, щелевого индуктора 3 с высокочастотным блоком 4, дозаторов 5, 6, фиксатора 7, автосъемника 8, конвейера 9, ванны 10 для изотермической заправки, шагового привода 11 и шкафа управления 12.

В зависимости от варианта технологического осуществления выбирают тот или иной цикл пайки с соблюдением основных параметров.

Один из вариантов пайки резцов таблетированным припоем – пайка на роторном столе с тремя основными позициями: загрузка и фиксация, нагрев и фиксация, разгрузка в емкость для охлаждения (рис. 12.12).

Длительность пребывания резца на каждой позиции ограничивается основным технологическим временем – выдержкой при нагреве во время непосредственно пайки (20 с). Загрузочные операции и разгрузка укладываются по времени в эту расчетную длительность.

Общий цикл и последовательность операций могут быть в этом случае такими:

- укладывают в гнездо резец (2–3 с);

- затем в паз укладывают таблетку, а сверху – твердосплавную вставку (5–10 с);

- фиксируют детали собранного узла специальным фиксатором (1–3 с);

- подают деталь в зону нагрева, в индуктор, со скоростью межпозиционного вращения роторного стола;

- производят первичный подогрев паяемого узла (1–2 с);

- производят нагрев детали до температуры пайки (14–13 с);

- осуществляют прижим твердосплавной вставки к основанию паза (1–3 с);

- выводят резец из индуктора со скоростью межпозиционного вращения роторного стола;

- выдерживают резец на воздухе в течение нескольких секунд до полной кристаллизации припоя;

- производят разгрузку резца в лоток (2–3 с).

После этого резцы направляют на закалку и последующую механическую обработку (очистку, заточку).

Равномерный и качественный прогрев корпуса и вставок обеспечивается правильно выбранной скоростью вращения роторного стола и длительностью нахождения деталей в индукторе.

Во избежание выгорания компонентов припоя, приводящего к пористости и хрупкости паяного соединения, время выдержки припоя в расплавленном состоянии не должно быть большим и может составлять примерно 5–15 с.

Усилие поджатия твердосплавной вставки устанавливается из расчета 1–2 кг на 1 см<sup>2</sup> поверхности основания. Во время процесса кристаллизации и охлаждения какого-либо сдвига или перемещения вставок по пазу не должно быть.

Для обеспечения качественной пайки и последующей термообработки скорость охлаждения резца должна быть малой с последующим выравниванием температуры на уровне закалочной. Это обеспечивает резкое снижение внутренних остаточных напряжений в соединении “сталь – припой – твердый сплав”. Растягивающие напряжения на наружной поверхности твердого сплава минимальны. Это увеличивает эксплуатационную стойкость бурового инструмента.

Оборудование для пайки выбирается таким образом, чтобы при сочетании высокой производительности пайки с оптимальной

скоростью нагрева обеспечить высокое качество паяного шва и заданную прочность соединения.

По сложившейся практике этим требованиям соответствуют установки индукционного нагрева ТВЧ. Основные характеристики некоторых из них приведены в табл. 12.6.

Таблица 12.6

## Техническая характеристика высокочастотных генераторов

Параметр	Марка генератора	
	ВПЧ-60/0,066	ВПЧ-100/0,066
Напряжение питающей сети, В	380	380
Частота питающей сети, Гц	50	50
Число фаз	3	31
Мощность, потребляемая от сети, кВт, не более	85	41
Мощность колебательная, кВт, не менее	60	100
Частота рабочая, кГц	$66_{6,6}^{+7,9}$	$66_{6,6}^{+7,9}$
Напряжение анодное, кВ, номинальное	10	11
Напряжение на контуре, кВ, не более	7	7
Ток анодный, А, не более	8	13,5
Ток сеточный, А, не более	1,5	1,7
Коэффициент мощности при номинальном анодном напряжении, не менее	0,85	0,85

В комплекс оборудования для индукционной пайки буровых инструментов входит щелевой индуктор, обеспечивающий оптимальное сочетание равномерности прогрева и режимов работы источника ТВЧ. Конструктивные особенности индуктора (ширина и рельеф внутренней поверхности, высота, длина активной части, зазор между деталью и индуктором) должны обеспечивать равномерный прогрев твердого сплава и корпуса инструмента со скоростью, близкой к скорости передачи тепла внутрь материала этих элементов. Эти скорости выбирают в пределах 5–15 °С/с. Более ускоренный и интенсивный нагрев может вызвать большие внутренние напряжения и способствовать образованию микротрещин как в твердом сплаве, так и в стали.

Так, для пайки буровых резцов (рис. 12.13) используется проходной индуктор (рис. 12.14), изготовленный из медной трубки (ГОСТ 617-90) [73] диаметром 8–10 мм. В индукторе предусмотрен подвод и отвод охлаждающей воды.

При использовании ламповых генераторов для пайки угольных или породных резцов используются индукторы кольцевого и щелевого типов.

Необходимая концентрация магнитного поля достигается за счет конструкции индуктора: он выполняется с двусторонними выточками в П-образных пластинах магнитопровода.

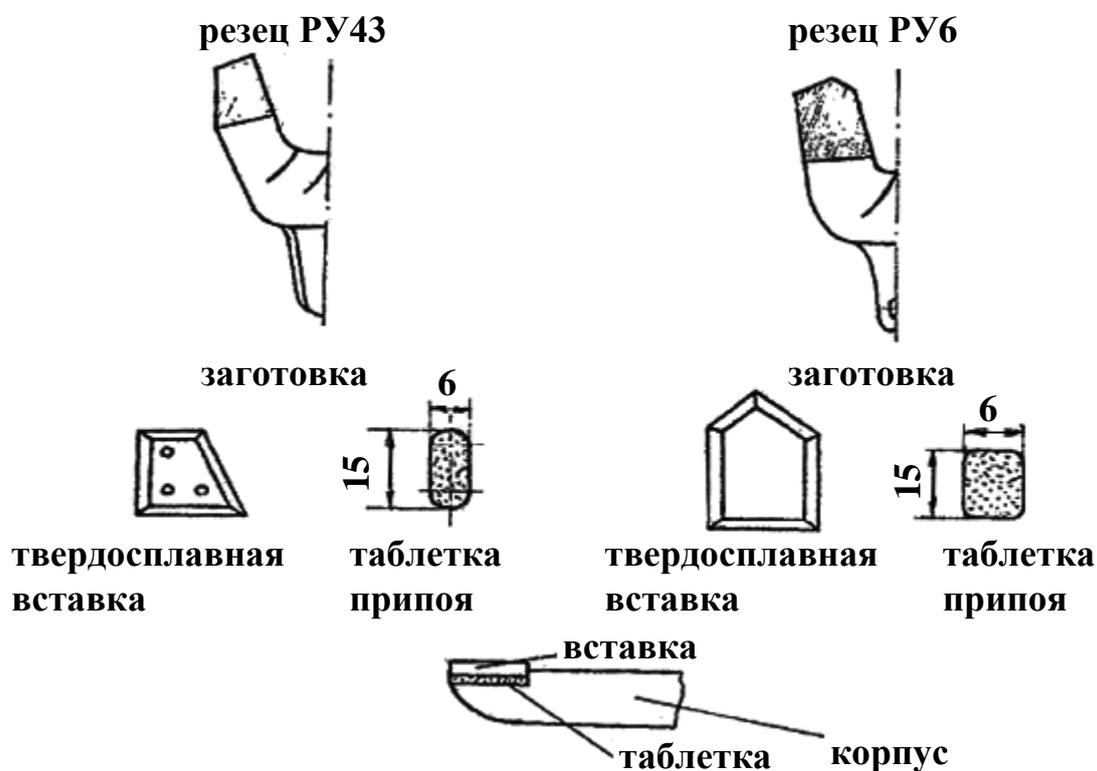


Рис. 12.13. Общий вид элементов пайки и узла в сборе

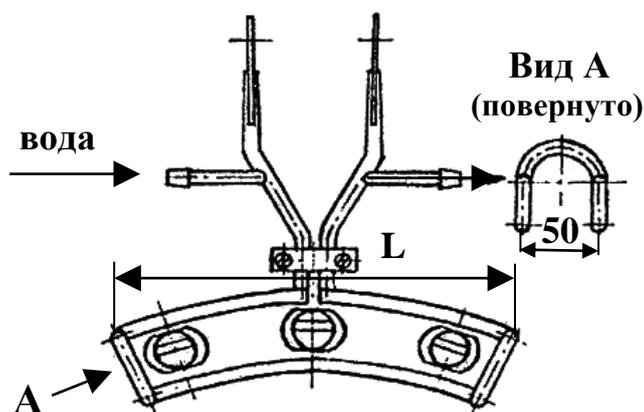


Рис. 12.14. Индуктор для пайки буровых резцов

Корпуса буровых резцов изготавливаются из сталей 60 и 55А, 35ХГСА. Для армирования бурового инструмента применяются изделия по ГОСТ 880-75 [53] из твердого сплава ВК11В, ВК8В и другие по ГОСТ 3882-74 [62].

При изготовлении таблеток для пайки бурового инструмента используется мелкодробленая стружка припоев латуни Л63, ПрМнМд 68-4-2, ЛНКоМЦ 49-9-0,2-0,2, обеспечивающих прочность паяного соединения на срез около 150 МПа.

За последние годы для изготовления таблеток стали широко применяться порошковые припои марок П100 (ПД53Цн2ГГН) и П102 (ПД760л9Цн9Н), ТУ 14-1-231-78, выпускаемые ОАО “Тулачермет”. Для изготовления таблетки готовится специальный клей. В сосуд со спиртово-ацетоновой смесью (1:1) небольшими порциями вводится предварительно просушенный поливинилбутираль и тщательно перемешивается, после чего выдерживается на водяной бане при температуре не выше 40 °С до полного растворения.

Для приготовления 1 кг клея необходимо:

- поливинилбутирала – 70 г;
- спирта этилового – 465 г;
- ацетона – 465 г.

После приготовления таблетки высушиваются на воздухе в течение 2–3 часов для удаления растворителей.

*Особенности пайки таблетками.*

Неправильно считать паяльную смесь в таблетке простой механической смесью. В этой смеси в тесном контакте находятся мелкодисперсные вещества с высокой поверхностной энергией. Площадь поверхности такого порошка может в несколько сотен раз превышать площадь поверхности проволоки или фольги. Отличие поверхностной энергии такого порошка от монолитного металла приводит к тому, что паяльная смесь плавится при меньшей затрате энергии, поэтому при индукционной пайке сокращается время нагрева.

Кроме того, широкое применение флюса Ф100 обеспечивает хорошую растекаемость припоя и хорошо очищает поверхности в процессе пайки от загрязнений и продуктов химических реакций. Однако недостатком этого флюса является его токсичность – при пайке выделяются фтористые соединения, поэтому пайка должна производиться при хорошей вентиляции. Установлено испытаниями, что использо-

вание флюса Ф100 приводит к повышению прочности паяного шва на срез.

#### **12.4.4. Контроль качества паяного соединения**

После завершения пайки контролируется качество соединения твердосплавной вставки и корпуса резца.

*Внешний осмотр паяных соединений* – наиболее простой и распространенный способ контроля качества пайки. Признаками качественной пайки бурового инструмента являются правильное положение припаянной твердосплавной вставки, непрерывный валик-галтель вдоль всего паяного шва, отсутствие не пропаянных раковин, наплывов, трещин. После окончательной подготовки бурового резца определяются два параметра качества пайки: наличие или отсутствие не пропаянных раковин и прочность паяного шва [72].

В соответствии с ГОСТ 6086-75 [74] допускается общая длина видимой не пропаянной раковины не более 5 % периметра паяного шва.

*Метод цветной дефектоскопии* основан на способности специальных красителей проникать в мелкие поры, трещины, раковины и изменять цвет красок.

Контролируемая деталь очищается от излишков флюса и припоя, твердосплавная пластинка отшлифовывается, производится обезжиривание паяного шва. Затем на подготовленные поверхности кистью наносится красный краситель и просушивается в течение одной минуты. После этого слой краски удаляется тампоном, смоченным в растворе керосина и трансформаторного масла (3:7), и наносится тонкий слой белой краски. Трещины, раковины при этом проявляются в виде красных линий, копирующих их расположение.

Составы красок следующие:

##### *Красная краска*

Состав 1: 95 мл бензола, 5 мл авиационного масла МК8 и 1 г темно-красного красителя “Судан 4”;

Состав 2: 20 мл скипидара, 30 мл керосина, 1 г красителя “Судан 3”.

##### *Белая краска*

Состав 1: 70 мл коллодия, 20 мл бензола, 10 мл ацетона, 5 г густотертых цинковых белил;

Состав 2: 1 л воды (или керосина), 300–400 г каолина.

*Люминесцентный метод* контроля качества паяного соединения основан на способности люминофоров светиться при ультрафиолетовом облучении. В качестве люминофора используются следующие составы, % :

Состав 1: триэтаноламин, 5–6; олеиновая кислота, 9–10; керосин, 23–24; трансформаторное масло, 61–63;

Состав 2: керосин, 75 трансформаторное масло, 25.

Буровой резец погружается на 3–5 минут в состав, затем промывается в проточной воде и сушится в струе воздуха. После этого он облучается ультрафиолетом в затемненной кабине. Имеющиеся в паяном шве трещины, раковины ярко светятся.

Прочность паяного шва на буровом инструменте определяется на образцах при испытании на статический срез.

#### **12.4.5. Перспективы совершенствования технологии пайки буровых резцов**

Перспективой совершенствования технологии пайки инструмента дозированным припоем является создание автоматизированного участка или комплекса сборки – пайки – термообработки. Для улучшения качества паяного шва, снижения его пористости, уменьшения газовых пор и не пропаянных раковин при использовании таблеток припоя перспективно использование эффекта воздействия ультразвуковых колебаний на ванну припоя. Ультразвук способствует перемешиванию расплавленных масс припоя, дегазации ванны припоя, перемещению частиц шлаковых включений вверх, ускоренной диффузии на границе жидкость – твердое тело.

Для изготовления таблеток припоя в объемах более 10 тысяч штук в год целесообразно сформировать на заводе автоматизированный участок с роторной линией по подготовке исходных материалов, их перемешиванию, прессованию таблеток, последующей обработке (например, сушке), перемещению на участок пайки.

Для крепления твердосплавных вставок в пазах бурового инструмента и их надежной фиксации перспективно использование сплавов с эффектом памяти в виде гофрированной фольги (ленты). Перспективным при изготовлении бурового инструмента можно считать применение пастообразных припоев, что позволило бы решить проблему крепления твердосплавных вставок в пазах перед

пайкой, а при дозировании пасты – экономить припой в значительных количествах.

Таким образом, технология пайки бурового инструмента дозированным припоем в виде компактных таблеток лишена многих недостатков традиционной технологии пайки и позволяет экономно расходовать припой.

Применение новых материалов припоя, входящих в составы таблеток с повышенной прочностью на срез, позволяет повысить эксплуатационную стойкость бурового инструмента не менее чем на 20 %, что в свою очередь создает значительный экономический эффект в народном хозяйстве.

#### **12.4.6. Пайка пластин из твердого сплава**

##### *Пайка спеченных твердых сплавов*

Спеченные твердые сплавы состоят из карбидов вольфрама, титана, тантала и кобальта. Твердые сплавы изготавливают методом прессования из смеси тонкоразмолотых порошков карбида и металла с последующим спеканием в защитной атмосфере при 1400–1600 °С. По ГОСТ 3882-74 [62] промышленность выпускает три типа спеченных твердых сплавов: вольфрамовые, титано-вольфрамовые и титанотанталовольфрамовые ([www.ritscomp.ru](http://www.ritscomp.ru)).

Приготовленные методом спекания пластины твердого сплава припаивают к корпусу инструмента, изготовленного из углеродистой стали. Коэффициент линейного расширения применяемых сталей в 2–3 раза больше, чем у твердого сплава. Это обстоятельство требует, чтобы нагрев и охлаждение твердосплавного инструмента при пайке происходили равномерно, в противном случае на пластинах твердого сплава образуются трещины. Влияние разности коэффициентов линейного расширения стали и твердого сплава снижают применением компенсационных прокладок, изготовленных из сплава железа с никелем (45 % Ni) и устанавливаемых при пайке между двумя соединяемыми материалами.

Перед пайкой пластины твердого сплава очищают песком и шлифуют по опорным плоскостям шлифовальными кругами. Подготовленные для пайки пластины не должны иметь трещин, расслоений и посторонних включений. В корпусе инструмента фрезеруют паз по конфигурации пластины, куда устанавливают для припайки предварительно обезжиренную и очищенную пластину.

Паз под пластину должен быть ровным, не иметь завалов, ступенек и заусенцев. Пластина должна быть хорошо пригнана к основной грани паза.

Во избежание выпадения пластины из паза во время пайки ее предварительно закрепляют. Крепление проволокой неудобно тем, что она всегда припаивается к корпусу и для ее удаления требуется дополнительная механическая обработка. Кроме того, проволока нагревается быстрее твердого сплава, что приводит к образованию трещин в местах касания пластин с проволокой, поэтому такой метод крепления применяют очень редко. Закрепление хрупких пластин твердого сплава чеканкой и клиньями иногда приводит к их поломке.

Наиболее приемлемым способом считают закрепление пластин при помощи компенсационных прокладок различной толщины технологической стенки. При контактной пайке или при пайке нагревом ТВЧ применяют различные приспособления для крепления и прижима пластины твердого сплава к корпусу резца.

Спеченные твердые сплавы можно паять методами электросопротивления, нагревом ТВЧ, в печах с восстановительной средой и погружением в расплавленный припой.

Пайка инструмента электросопротивлением состоит в том, что подготовленную под пайку пластину вставляют в корпус инструмента, который зажимают между контактами сварочной машины. Перед включением тока пластину посыпают порошком флюса, сверху кладут припой, который также покрывают флюсом. Чтобы не происходил перегрев, ток в процессе нагрева включают периодически. Во время расплавления флюса следят за тем, чтобы он был в достаточном количестве и смачивал соединяемые поверхности, в противном случае флюс добавляют. В момент начала расплавления припоя ток выключают и дают возможность припою растечься по пластине и заполнить шов. Пластину поджимают к корпусу резца до температуры 800 °С, затем давление снимают до момента прекращения растекания припоя и продолжают прижимать до полной кристаллизации припоя. При пайке с нагревом ТВЧ большое значение имеет правильный выбор формы и размеров индуктора. Последовательность пайки следующая: в паз корпуса резца вносят небольшое количество флюса, укладывают компенсационную прокладку, покрывают ее тем же флюсом, после чего укладывают пластину.

На пластину в зоне соединения с корпусом резца помещают припой, который также покрывают флюсом. Собранный таким образом инструмент помещают в индуктор. Ток при этом включают периодически. Скорость нагрева для лучшего смачивания припоем и уменьшения окисления пластины и перегрева стали державки должна быть строго определена и составляет  $30\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{с}$  – для инструмента с поперечным сечением до  $150\text{ мм}^2$  и  $60\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{с}$  – для инструмента с поперечным сечением до  $1000\text{ мм}$ .

При пайке твердосплавного инструмента важным условием получения качественного соединения является обеспечение равномерного нагрева. Для этой цели инструмент помещают в индуктор так, чтобы в первую очередь нагреть корпус инструмента и за счет его теплопроводности прогреть пластину твердого сплава. После прогрева для выравнивания температуры производят нагрев места пайки.

Во время пайки положение пластины в пазу поправляют (если нет зажимного приспособления) фарфоровой или асбестовой палочкой). Спаянный инструмент охлаждают в печи или на воздухе, для чего его укладывают на кирпичные, асбестовые, керамические или другие подставки. При охлаждении в печи инструменту дают отпуск при  $200\text{--}250\text{ }^{\circ}\text{C}$  в течение 6 часов. В результате нагрева изделия при пайке твердость корпуса инструмента снижается, поэтому он нуждается в дополнительной термической обработке. Если требуется закалка, то ее производят сразу же после пайки. Для предотвращения появления трещин в пластинах их закалывают в среде с температурой  $260\text{--}320\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Пайку инструмента можно осуществить в печи с восстановительной атмосферой. При этом пластины из вольфрамокобальтовых сплавов на сталь напаяют без флюса, а пластины из титановольфрамовых сплавов требуют применения высокоактивных флюсов. Трудность печной пайки в основном сводится к креплению пластины к корпусу инструмента. Наиболее рациональным способом крепления при этом методе пайки является обвязка головки инструмента асбестовым шнуром с предварительным размещением компенсационной прокладки, припоя и флюса.

Пайку инструмента погружением в расплавленный припой обычно применяют для совмещения пайки с термической обработкой корпуса. Процесс пайки-закалки состоит из трех основных опе-

раций: предварительного нагрева в соляной ванне до 800–850 °С, пайки погружением в расплавленный припой и закалки инструмента. Предварительный нагрев при температуре 260–280 °С осуществляют в ванне, содержащей, %: 70 BaCl<sub>2</sub>, 30 NaCl. Закалку сплавов марок ВК8 и Т15К6 производят в расплаве солей при 380–400 °С состава, %: 70 КОН, 30 NaOH. Для сплава Т15К.6 после основной закалки необходима дополнительная закалка в нагретой до 180–200 °С селитре.

При пайке погружением требуется тщательное крепление порошковой пластины и обработка собранного под пайку инструмента в кипящем насыщенном водном растворе буры (для пластин из вольфрамкобальтовых сплавов) или в растворе с 35 % фтористого калия (для пластин из титановольфрамовых сплавов).

В связи с резким различием теплового коэффициента линейного расширения соединяемых материалов пайку твердосплавного инструмента нельзя вести при высоких температурах. Наилучший результат, т. е. наибольшая долговечность инструмента, достигается при пайке серебряными припоями, легированными для повышения теплостойкости никелем или марганцем, однако из-за дефицитности серебряные припои применяют редко.

Наибольшее распространение получили медно-цинковые припои типа Л63, легированные для повышения теплостойкости небольшими добавками никеля, марганца или алюминия, обеспечивающими высококачественные соединения. В качестве флюса употребляют буру или буру с добавками ферромарганца, фтористого калия или борной кислоты.

Практика показала, что при пайке твердых сплавов группы WC-Co с большим содержанием кобальта стандартные флюсы ПВ200 и ПВ201 обеспечивают получение качественных соединений, но при пайке сплавов группы WC-TiC-Co и WC-Co с малым содержанием кобальта (Т15К6 и Т3ОК4) активность этих флюсов недостаточна, поэтому требуется вводить дополнительные операции подготовки поверхности твердого сплава: пескоструйную или дробеструйную, электрохимическую или химико-механическую. Эти операции не обязательны при применении флюса марки Ф100 следующего состава, %: 46,5 KBF<sub>4</sub>; 36,5 Na<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub>; 13,5 WO<sub>3</sub> и 3,5 Co<sub>2</sub>O<sub>8</sub>. Флюс плавится при 500 °С и имеет температуру активного действия 900–1100 °С. Использование этого флюса позволяет в

4–8 раз увеличить площадь растекания припоя по поверхности твердого сплава и повысить прочность паяных соединений. Этот флюс из-за токсичности испарений целесообразно применять только на мелкосерийных предприятиях при условии хорошей вентиляции на рабочих местах. На крупных предприятиях вместо флюса Ф100 применяют стандартные флюсы, но поверхности твердого сплава при этом обрабатывают специальным методом. Сущность этого метода заключается в нагреве сплава в печах в атмосфере воздуха до 800 °С в течение 10–30 мин с последующим удалением окисленного слоя во вращающемся барабане со смесью речного песка, древесных опилок и раствора каустической соды. В настоящее время для замены дефицитных серебряных припоев рекомендован ряд сплавов на медно-цинковой основе. Наряду с литыми припоями в последние годы разработаны порошковые сплавы П-100, П-102 и трехслойный припой марки ТП-1. Эти припои позволяют паять соединения с некапиллярными зазорами, т. е. более 0,3 мм. Порошковый припой П-100 имеет  $T_{пл} = 870$  °С и состав: 2 % Сг, 1 % Ni, 8 % Mn, 15 % Fe, 23 % Zn и 31–36 % Cu, а также 15–20 % порошка стали X18H15 (наполнителя). Припой может быть использован в виде прессованных пластин или пасты.

Припой ТП-1 представляет собой триметаллическую полосу, полученную прокаткой. Плавающие в процессе пайки наружные слои толщиной 0,2 мм состоят из латуни марки ЛНМц 50-2-2, имеющей  $T_{пл} = 872$  °С. Внутренний слой не плавится в процессе пайки и служит прокладкой, изготовлен из бронзы марки БрНБ 7-0,5 толщиной 0,4 мм и имеет  $T_{пл} = 1126$  °С. Главным преимуществом трехслойного припоя является получение паяного шва достаточной прочности, способного компенсировать разность сокращения размеров стали и твердого сплава при охлаждении паяного соединения в большей степени, чем все известные припои, в том числе и серебряные. Припой ТП-1 меньше, чем другие припои, деформируется во всем температурном интервале (от температуры солидуса наружных слоев до 20 °С). Это объясняется низким пределом текучести паяного шва, не превышающим во всем температурном интервале охлаждения 132 МПа. Снижению остаточных напряжений в паяном шве и твердом сплаве способствует и толщина паяного шва, равная в этом случае 0,7–0,8 мм. Следует отметить, что для получения качественных паяных соединений помимо правильно выбранных при-

поя и флюса требуется также выбрать сталь для корпуса инструмента, режимы пайки и термической обработки. Нагрев под пайку следует производить на высокочастотных установках, имеющих частоту тока 2,5–8,5 кГц, дающих более глубокий и равномерный нагрев, чем установки, имеющие частоту 60 кГц.

### **13. ОСНОВЫ ПРИЕМОСДАТОЧНЫХ И РЕСУРСНЫХ ИСПЫТАНИЙ ЭЛЕМЕНТОВ ГОРНОГО РАБОЧЕГО ИНСТРУМЕНТА**

#### **13.1. Правила приемки**

При разработке и эксплуатации резцы должны быть подвергнуты в соответствии с ГОСТ 16504-81 [75] предварительным, приемочным (межведомственным), квалификационным и эксплуатационным испытаниям. Конкретный перечень испытаний, которым должны быть подвергнуты резцы, определяется техническим заданием.

При изготовлении резцы должны быть подвергнуты приемосдаточным и периодическим испытаниям.

Предварительные приемочные (межведомственные), квалификационные и эксплуатационные испытания резцов проводят по специальным методикам, разрабатываемым в соответствии с разделом 8 по ГОСТ Р 51047-97 [18] для резцов конкретных видов.

При приемосдаточных испытаниях резцов должны быть выполнены следующие проверки:

- Соответствие требованиям ТУ материалов, применяемых при изготовлении резцов.

- Линейные и угловые размеры. Для проверки отбирают не менее пяти резцов от партии в 100 шт.

- Прочность паяного соединения твердосплавной вставки с державкой. Для испытаний ежемесячно отбирают по 3 резца от партии в 100 шт.

- Твердость резцов после термообработки. Для испытаний ежемесячно отбирают по 5 резцов от каждой установки для закалки или по 5 резцов от каждой партии в 100 шт.

- Отсутствие наплавов припоя или флюса – на каждом резце.

- Отсутствие разрывов стоя припоя – на каждом резце.

- Отсутствие трещин на твердосплавных вставках. Для испытаний отбирают по 10 резцов от каждой партии в 100 шт.

Применяемость показателей в зависимости от видов испытаний приведена в табл. 13.1.

Таблица 13.1

## Применяемость показателей в зависимости от видов испытаний

Наименование показателя	Виды испытаний					
	Предварительные	Приемочные	Приемо-сдаточные	Квалификационные	Эксплуатационные	Сертификационные
1. Габаритные размеры	+	-	-	+	-	-
2. Конструктивный вылет и длина хвостовика	+	-	-	+	-	+
3. Размеры сечения хвостовика или диаметр	+	-	+	+	-	+
4. Задний конструктивный угол	+	-	+	+	-	-
5. Угол заострения	+	-	+	+	-	-
6. Твердость державки в зонах закалки, вставки	+	-	+	+	-	+
7. Прочность соединения вставки с резцом	+	-	+	+	-	+
8. Прочность резца	+	-	-	+	-	+
9. Суммарная длина разрыва слоя припоя	-	-	+	+	-	-
10. Трещины и выкрашивание вставок	-	-	+	+	-	-
11. Нависание и западание вставок по задней и боковой поверхностям	-	-	+	+	-	-
12. Режущая способность резца	-	+	-	-	-	+
13. Удельный расход резцов	-	+	-	-	+	-
14. Нарботка на резец	-	+	-	-	+	-
15. Масса резца	+	-	-	-	-	-
16. Удельная масса резца	-	+	-	-	-	-
17. Удельная масса вставок резцов	-	+	-	-	-	-
18. Показатель приведенной степени измельчения угля	-	+	-	-	-	-
19. Относительная взрывобезопасность	-	+	-	-	-	+

*Примечание: знаком “+” отмечены показатели, которые контролируются при испытаниях; знаком “-” – отмечены показатели, которые не контролируются при испытаниях.*

При неудовлетворительных результатах проверки по одному из выше приведенных пунктов должны быть проведены повторные испытания на удвоенном количестве резцов, взятых из той же партии.

При неудовлетворительных результатах повторной проверки бракуют всю контрольную партию резцов.

Периодические испытания следует проводить не реже одного раза в год в объемах, установленных нормативной документацией на резец конкретного типа.

### **13.2. Цели приемочных испытаний**

Приемочные испытания опытных образцов (опытных партий) резцов проводятся с целью определения их соответствия техническому заданию, требованиям стандартов и конструкторской документации, техники безопасности и промышленной санитарии, возможности постановки на промышленное производство (или разработки предложений о целесообразности продолжения работ по данному изделию), а также для подготовки рекомендаций по категории качества.

Программа и методика испытаний должны обеспечивать получение данных, необходимых для определения фактической технической характеристики изделия, его эксплуатационных качеств, экономической эффективности промышленного применения.

Оценка эксплуатационных качеств режущего инструмента должна производиться по следующим основным показателям:

- а) производительности горной машины;
- б) удельному расходу резцов (шт./1000 т) – общему, приведенному и по видам отказов (износу, поломкам и выпадению твердосплавной вставки (пластины), поломкам корпусов резцов и их потерям;
- в) наработке на резец (т/шт.) – при применении на исполнительных органах резцов разных типов;
- г) удельному весу (%) резцов, пригодных для повторного использования;
- д) удельному расходу твердого сплава (г/1000 т);
- е) сортности добываемого угля и пылеобразованию;
- ж) энергоемкости выемки угольного пласта;
- з) динамической нагруженности горной машины;

и) интенсивности изнашивания резцов (мм/км, мм<sup>2</sup>/км) – только при испытании резцов с новыми марками твердого сплава.

При испытании новых средств крепления резцов оценка их эксплуатационных качеств производится по следующим показателям:

а) трудоемкости крепления – времени на замену резца, мин/резец;

б) надежности крепления – удельному расходу резцов из-за потерь, шт./тыс. т;

в) сроку службы (ч) или наработке (т/шт.) крепления, его отдельных элементов и резцедержателей;

г) степени универсальности крепления (возможность применения на одном или нескольких исполнительных органах и резцах).

По результатам испытаний резцов и средств крепления также устанавливаются:

- экономическая эффективность их промышленного применения;

- объем производства установочной серии.

### **13.3. Виды приемочных испытаний**

Программа и методика должны предусматривать проведение испытаний новых изделий в сравнении с серийно выпускаемыми резцами и средствами их крепления в случаях, если:

а) новое изделие (режущий инструмент или конструкция крепления) предназначено для замены определенного изделия, серийно выпускаемого для данной области применения и данного типа машины;

б) в модернизированном изделии изменена конструкция, технология изготовления или материал и оно соответствует по области применения серийно выпускаемому изделию.

Сравнительные испытания проводятся на одной машине и в одном забое. Испытания режущих инструментов рекомендуется проводить при одинаковых способах крепления.

### **13.4. Объект испытаний**

В программе и методике испытаний должны быть отражены:

- наименование испытываемого изделия;

- назначение;

- соответствие типоразмерному ряду (для резцов);

- конструкция;
- предполагаемая область применения;
- соответствие изделия ТЗ;
- необходимая рабочая документация в соответствии с ОСТ 12.47.008-74 [76].

Техническая характеристика испытываемых резцов составляется по форме (табл. 13.2).

Техническая характеристика испытываемых креплений должна содержать сведения о конструкции резцедержателя и резца, зазорах в соединении резца и резцедержателя, конструктивных особенностях, материале, способах установки и снятия резца.

В методике указывается тип комбайна, на котором будут проводиться испытания, и принятая схема (чертеж) расстановки испытываемых резцов на исполнительном органе.

При испытаниях новых резцов, предназначенных для работы с прогрессивными параметрами резания, должны применяться исполнительные органы со схемами расстановки резцов, обеспечивающими достижение параметров резания (сечения, шага и толщины среза), предусмотренных техническим заданием. Параметры схемы расстановки резцов должны быть указаны в методике по форме (табл. 13.3).

Сравнительные испытания резцов, имеющих одинаковое назначение, область применения и параметры резания, должны проводиться при одинаковых схемах расстановки резцов.

Сравнительные испытания средств крепления должны проводиться с резцами, имеющими одинаковые конструктивные параметры (вылет, сечение, длина хвостовика, величина упора и др.) при одинаковых схемах их расстановки.

Опытные образцы изделий (резцы и крепления), предъявляемые для испытаний, должны подвергаться заводским испытаниям и контролю, результаты которых оформляются протоколом комиссии (ОСТ 12.47.008-74) [76].

Разработчик перед началом приемочных испытаний передает междуведомственной комиссии (МВК) результаты стендовых (лабораторных) испытаний по:

- оценке эффективности разрушения углей испытываемыми резцами;
- установлению прочностных характеристик корпусов резцов и паяного соединения.

Таблица 13.2

**Форма для записи параметров технической характеристики резцов**

Типоразмер резца	Шифр резца	Масса резца, г	Характеристика режущей части										Характеристики хвостовика				Способ крепления в резцедержателе	Дополнительные данные	
			Вылет резца, мм	Ширина режущей кромки, мм	Форма режущей кромки	Форма передней грани	Углы резца, град			Форма твердосплавной вставки* и масса, г	Марка твердого сплава	Марка припоя	сечение, мм×мм	длина, мм	размеры упора	марка стали			
							заострения	задний	боковой										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	

*Примечание: \* В случае применения нестандартной твердосплавной вставки должен быть приведен ее чертеж и основные размеры.*

Таблица 13.3

**Форма регистрации параметрической схемы расстановки резцов**

Тип исполнительного органа	Параметры схемы расстановки линейных резцов						Параметры схемы расстановки кутковых резцов					
	Тип резца	Кол-во линий резания	Число резцов в линии резания	Общее число резцов	Шаг резания, мм	Угол наклона резца, град	Тип резца	Кол-во линий резания	Общее число резцов	Число резцов в линии резания	Шаг резания, мм	Угол наклона резца, град
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13

### 13.5. Условия и объем испытаний

Выбор места и условий испытаний режущего инструмента и средств крепления производится в соответствии с ОСТ 12.47.008-74 [76] и оформляется протоколом.

Испытания опытных образцов (партий) резцов и средств крепления, предназначенных для применения на различных машинах, рекомендуется проводить на двух (наиболее распространенных) типах машин. Для каждого типа машин выбирается два забоя с различными горнотехническими условиями.

Горнотехнические условия испытаний резцов должны максимально соответствовать области их применения, определяемой типоразмерным рядом и техническим заданием на проектирование.

Характеристиками условий испытаний являются:

- показатели сопротивляемости угольных пластов и породных прослоек разрушению;

- класс относительной абразивности угольного пласта и породных прослоек, определяемый по удельному расходу серийных резцов;

- показатели, характеризующие содержание крупных твердых включений; средняя площадь твердых включений ( $S$ , см<sup>2</sup>), плотность включений  $n$  (количество включений на 100 м длины исследуемого забоя, шт./100 м), удельное содержание включений (отношение площади включений к площади забоя, %).

В случаях, если требования к области применения не оговорены в техническом задании или резцы предназначены для применения на пластах любой сопротивляемости разрушению и абразивности, для испытания опытных образцов (партий) резцов и средств крепления для каждого типа машин должны быть выбраны два забоя.

В одном забое угольный пласт по разрушаемости должен относиться к категории не ниже крепких при сопротивляемости разрушению не менее 240–300 Н/мм, по удельному расходу резцов – не ниже IV класса при наличии значительных твердых включений.

В другом забое угольный пласт по разрушаемости должен относиться к категориям средней и выше средней крепости ( $A= 150–240$  Н/мм), по удельному расходу резцов – к II–III классам при наличии незначительных твердых включений.

Когда требования к области применения оговорены в техническом задании (указана предельная сопротивляемость), один забой

должен соответствовать предельной области применения по ТЗ, а другой – наибольшей области применения режущего инструмента.

Объем испытаний режущего инструмента и средств крепления определяется, например для очистного комбайна, по объемам добываемого угля. Количество опытных резцов, поставляемых для испытаний, должно быть не менее потребности в серийных резцах для установленного объема добычи.

Объемы добычи угледобывающими машинами должны составлять:

- при испытаниях каждого типа опытных образцов (опытных партий) резцов 20–50 тыс. т в зависимости от горно-геологических условий;

- при испытаниях каждого типа опытных образцов (опытных партий) средств крепления – не менее 50 тыс. т.

Для сравниваемого серийного инструмента или серийных средств крепления объемы добычи могут быть уменьшены на 30 %.

На крутых и тонких (до 1,0 м) пологих пластах допускается уменьшение объема испытаний на 25 %.

### **13.6. Организация и порядок проведения приемочных испытаний**

Приемочные испытания образцов (опытных партий) резцов и средств крепления проводятся междуведомственной комиссией, задачи которой и состав определяются в соответствии с ОСТ 12.47.008-74 [76].

По каждой шахте, в забоях которой намечено проведение испытаний, служебным распоряжением председателя МВК назначаются из участников испытаний рабочие комиссии, в состав которых входят работники шахты и представители организаций и предприятий.

В задачу рабочих комиссий (по ОСТ 12.47.008-74) [76] входит:

- а) подготовка места испытаний;
- б) проведение инструктажа рабочих бригад и руководства участка (шахты) по целям и методике испытаний;
- в) контроль за оснащением горной машины только испытываемыми резцами (резцы других типов должны быть изъяты);
- г) обеспечение работоспособного состояния испытываемого изделия и комбайна, на котором проводятся испытания;

д) регистрация результатов наблюдений в журналах установленной формы;

е) учет выдачи новых и возврата использованных резцов (или креплений) по каждому забою;

ж) проведение предусмотренных программой и методикой измерений;

з) постоянное наблюдение за изменением горно-геологических условий в процессе испытаний;

и) обеспечение сохранности резцов и средств крепления, подвергнутых дефектовке до утверждения акта испытаний;

к) обобщение результатов испытаний и представление полученных данных и материалов междуведомственной комиссии.

На период испытаний приказом по шахте устанавливается единый порядок выдачи и учета испытываемых резцов, предусматривающий:

а) ежедневную выдачу маркированных резцов в объеме суточной потребности при условии сдачи не менее 80 % резцов, полученных в предыдущие сутки, с фиксацией в специальном журнале;

б) хранение всех резцов, возвращенных после эксплуатации, и передача их междуведомственной комиссии;

в) учет общего расхода элементов крепления резцов, выданных для замены вышедших из строя в период испытаний.

Обеспечение испытываемыми изделиями (резцы, средства крепления, исполнительные органы), принятыми ОТК, осуществляется организациями-разработчиками и заводом-изготовителем в сроки, предусмотренные ОСТ 12.47.008-74 [76].

Резцы должны иметь отличительную маркировку (рекомендуется нанесение маркировки механическим способом в местах, не подвергаемых износу). При использовании на исполнительном органе резцов разных типов они должны быть маркированы различными метками. Передача маркированных резцов для испытаний производится согласно протоколу. Использование при испытаниях однотипных немаркированных резцов не допускается.

Повторное (после заточки) использование резцов допускается только при проведении ресурсных испытаний.

При испытаниях средств крепления учет выдачи элементов испытываемых креплений фиксируется в журнале (табл. 13.4 и 13.5).

Перед началом проведения испытаний оформляется протокол передачи опытных образцов (опытно-промышленной партии) резцов на испытания, который утверждается представителем организации-разработчика, представителем междуведомственной комиссии, главным инженером и начальником участка шахты (см. ниже).

В протоколе фиксируется передача междуведомственной (рабочей) комиссией опытных образцов (опытной партии) маркированных резцов. Указывается тип режущего инструмента и его количество. В протоколе обязательно отмечается соответствие резцов технической документации на изготовление и ОТК. При испытаниях необходимо согласовать место их провекдения (участок, шахта, забой).

В процессе испытаний ведутся журналы: учета выдачи и возврата резцов; учета выдачи элементов крепления резцов (табл. 13.4, 13.5).

В процессе испытаний должны осуществляться контроль состояния исполнительного органа, в целом горной машины и фиксироваться добыча полезного ископаемого (суточная и с начало испытаний).

Горнотехнические условия и организация работ в забое во время испытаний должны обеспечивать достижение режимных параметров машины, соответствующих технической характеристике испытываемого изделия.

При проведении испытаний должен обеспечиваться контроль за правильной эксплуатацией резцов. Резцы рекомендуется заменять при достижении длины площадки износа по задней грани не более толщины твердосплавной пластины.

В процессе испытаний организацией-разработчиком и шахтой должно быть обеспечено проведение всех необходимых измерений, предусмотренных программой и методикой.

Распределение обязанностей между участниками испытаний осуществляется в соответствии с ОСТ 12.47.008-74 [76].

Журналы и протокол обязательно должны заверяться представителями: организации-разработчика; междуведомственной (рабочей) комиссией; горного предприятия.

**ПРОТОКОЛ**

передачи опытных образцов (опытно-промышленной партии) резцов \_\_\_\_\_ на испытания

Дата \_\_\_\_\_ Место составления протокола

\_\_\_\_\_

1. Организацией-разработчиком

\_\_\_\_\_ переданы междуведомственной (рабочей) комиссии для испытания на участке № \_\_\_\_\_ шахты \_\_\_\_\_ в \_\_\_\_\_ забое

опытные образцы (опытные партии) резцов типа

\_\_\_\_\_

в количестве \_\_\_\_\_ штук.

2. Предназначенные для испытаний резцы приняты ОТК и соответствуют предъявленной технической документации на изготовление.

3. Резцы \_\_\_\_\_ маркированы \_\_\_\_\_ путем \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Представитель  
организации-разработчика \_\_\_\_\_ (должность, подпись)

Представитель междуведомственной  
(рабочей) комиссии \_\_\_\_\_ (должность, подпись)

Главный инженер  
шахты \_\_\_\_\_ (подпись)

Начальник участка № \_\_\_\_\_ шахты \_\_\_\_\_ (подпись)

Таблица 13.4

## Журнал учета выдачи и возврата резцов при испытаниях

Дата	Добыча, т		Резцы типа *				Резцы типа *				Подпись ответственного представителя шахты
	суточная	с начала испытаний	Выдано, шт.		Возвращено, шт.		Выдано, шт.		Возвращено, шт.		
			в данные сутки	с начала испытаний	в данные сутки	с начала испытаний	в данные сутки	с начала испытаний	в данные сутки	с начала испытаний	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

Примечание: \* Заполняется по каждому типу резца, устанавливаемому на исполнительном органе.

Таблица 13.5

## Журнал учета выдачи элементов крепления резцов

Дата	Добыча, т		Крепление типа * резца				Крепление типа * резца				Подпись ответственного представителя шахты	Примечание
	суточная	с начала испытаний	Элемент _____ **		Элемент _____ **		Элемент _____ **		Элемент _____ **			
			выдано в данные сутки	выдано с начала испытаний	выдано в данные сутки	выдано с начала испытаний	выдано в данные сутки	выдано с начала испытаний	выдано в данные сутки	выдано с начала испытаний		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13

Примечание: \* Заполняется по каждому виду крепления, примененному на исполнительном органе.

\*\* Заполняется по каждому элементу согласно рабочему чертежу.

## 13.7. Методы контроля при испытаниях

### 13.7.1. Контролируемые показатели

При испытаниях контролируют показатели резцов по ГОСТ Р 51047-97 [18], приведенные в табл. 13.6.

Таблица 13.6

#### Номенклатура показателей, методы контроля и средства измерений

Наименование показателя	Методы контроля и средства измерений
Длина, ширина, диаметр, конструктивный вылет, длина хвостовика, размеры сечения хвостовика, мм	Универсальными измерительными инструментами по ГОСТ 166-89 [77], ГОСТ 427-75 [78], ГОСТ 8.401-80 [79]
Задний конструктивный угол, угол заострения, град	Угломерами по ГОСТ 2875-88 [80], шаблонами по ГОСТ 9013-59 [81]
Прочность соединения вставки с корпусом резца, кН	На испытательном стенде по значению равномерно распределенной статической нагрузки, приложенной к армирующей вставке (см. рис. 13.5)
Прочность резца, кН	На испытательном стенде путем вдавливания резца в эталонную стальную пластину
Длина раковины слоя припоя, мм; трещины, выкрашивания и нависания вставки	Оптический прибор с увеличением в 2,5–4 раза
Режущая способность резца, кВт·ч/м <sup>3</sup>	На стенде с помощью динамометра и штангенциркуля при резании образцов угля, породы и расчетом по формуле $H_w = 0,00272 Z/t h$ , где $Z$ – средняя сила резания, $H$ ; $t$ и $h$ – ширина и глубина стружки, мм
Удельный расход резцов, шт./1000 т или шт./м <sup>3</sup>	По результатам испытаний в производственных условиях и расчетом по формуле $N_{py} = \sum N/Q$ , где $\sum N$ – общий расход резцов за время испытаний, шт.; $Q$ – объем добычи, тыс. т (проходки, м <sup>3</sup> ) за время испытаний
Наработка на резец, т или м <sup>3</sup>	По результатам испытаний в производственных условиях и расчетом по формуле $q = Q/\sum N$ , где $\sum N$ – общий расход резцов за время испытаний, шт.; $Q$ – объем добычи, тыс. т (проходки, м <sup>3</sup> ) за время испытаний
Масса резца, кг	По результатам взвешивания 10 резцов на технических весах (ГОСТ 24104-2001) [82]
Удельная масса резца и вставок, кг/1000 т или кг/м <sup>3</sup>	По результатам взвешивания и расчетом по формулам: $M_{py} = M_p N_{py}$ ; $M_{vy} = M_v N_{py}$ , где $M_{py}$ , $M_{vy}$ – удельные массы резца и вставки, кг/1000 т или кг/м <sup>3</sup> ; $M_p$ , $M_v$ – массы резца и вставки, кг; $N_{py}$ – удельный расход резцов, шт./1000 т или шт./м <sup>3</sup>

Испытательные средства и средства измерений должны обеспечивать проверку резцов в соответствии с предложенными методами контроля, схемами и режимными параметрами, а также регистрацию значений необходимых параметров.

Испытательные средства должны быть аттестованы.

Для проведения испытаний применяют поверенные серийные средства измерений. Допускается использовать специальные средства измерений или контроля при условии обеспечения ими необходимой точности измерений.

Объемы испытаний, допустимые значения и погрешности параметров резцов в случаях, не указанных в настоящем стандарте, должны быть установлены в ТУ на эти резцы (для приемосдаточных и периодических испытаний), в методиках приемочных и квалификационных испытаний, а также в нормативной документации, регламентирующей сертификацию резцов.

Результаты испытаний должны быть обработаны для возможности сравнения их со значениями, установленными нормативной или технической документацией.

Результаты испытаний получают расчетом по формулам, приведенным в табл. 13.6, или путем измерений соответствующими средствами измерений с точностью, предусмотренной нормативными документами на эти средства измерений.

Для математической обработки данных применяют автоматизированную систему сбора и обработки информации.

### **13.7.2. Испытание резцов на усталость**

В общем случае при работе на резец действует усилие, которое можно разложить на составляющие: резания  $Z$ , подачи  $Y$  и боковое  $X$ . Анализ напряженного состояния опасного сечения корпусов, обусловленного действием указанных нагрузок, с учетом вероятных значений отношения  $Y/Z$  показал, что наиболее нагруженные зоны, подверженные максимальным растягивающим напряжениям, расположены у радиальных резцов на границе боковой и передней поверхностей, у тангенциальных – на границе боковой и задней поверхностей [83].

Исследования, проведенные в ИГД им. А. А. Скочинского, показали, что уровень среднепиковых сил резания при разрушении угля составляет  $Z_y = 5\text{--}10$  кН, а при резании включений –  $Z_b = 25\text{--}50$  кН.

Экспериментально при испытаниях корпусов резцов ЗР1.80 при различных схемах нагружения установлено, что усилия, соответствующие пределу ограниченной выносливости, составляют  $Z_{\text{пв}} = 25\text{--}33$  кН, т. е. существенно выше нагрузок  $Z_y$  и соизмеримы с усилиями  $Z_b$ . Следовательно, усталостные повреждения в корпусах возникают преимущественно при прорезании твердых включений.

Методика испытаний резцов на усталость предопределяет последовательность действий: подготовка резцов к испытаниям; выбор схемы нагружения и величины нагрузки; проведение усталостных испытаний; расчет параметров кривой усталости по результатам испытаний; расчет пути резания резца до усталостной поломки корпусов.

Объектом испытаний являются корпуса резцов без твердосплавной вставки, механически обработанные (за исключением паза под твердосплавную вставку) и термообработанные в соответствии с рабочей документацией.

Схема нагружения принимается в соответствии с типом резца и формой сечения хвостовика резца:

- радиальные резцы с прямоугольной и овальной формами сечения хвостовика испытываются при приложении нагрузки, перпендикулярной к передней (рис. 13.1, схема 1) и боковой (см. рис. 13.1, схема 2) поверхностям;

- тангенциальные резцы с прямоугольным сечением хвостовика державки испытываются при приложении нагрузки, перпендикулярной к задней (рис. 13.2, схема 1) и боковой (рис. 13.2, схема 2) поверхностям хвостовика;

- тангенциальные резцы 1 с круглым сечением хвостовика державки 2 испытываются при одной схеме установки (рис. 13.3), соответствующей приложению нагрузки, перпендикулярной к продольной оси державки.

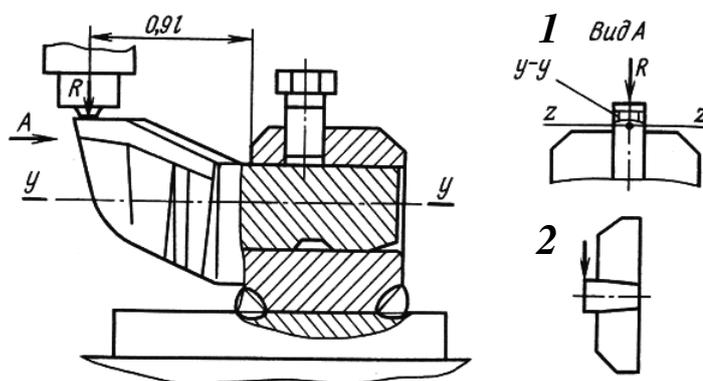


Рис. 13.1. Схема нагружения радиальных резцов

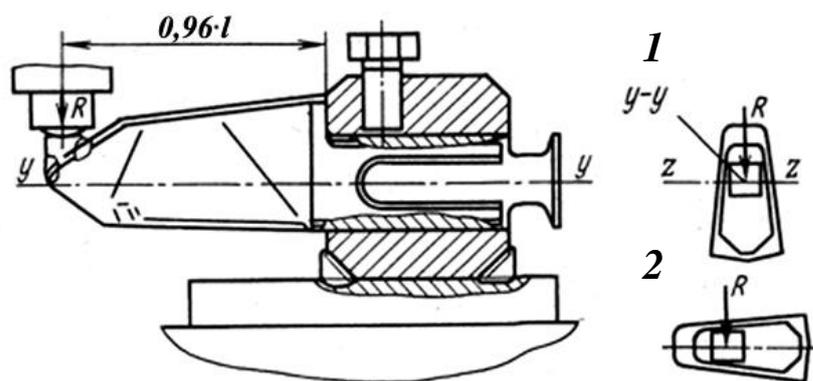


Рис. 13.2. Схема нагружения тангенциальных резцов с прямоугольным сечением хвостовика

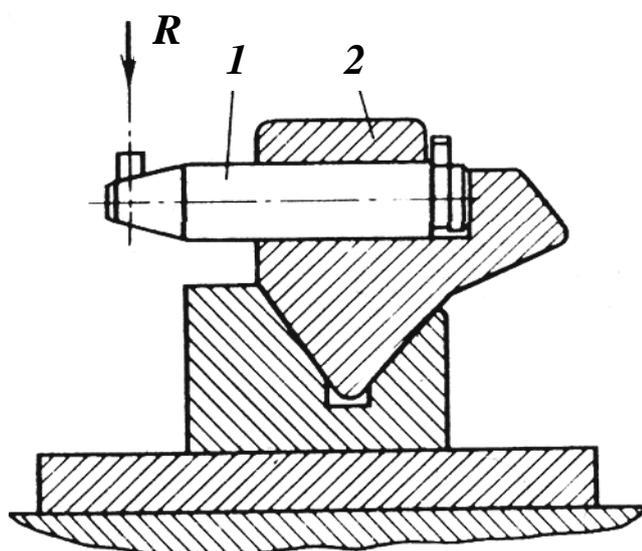


Рис. 13.3. Схема нагружения тангенциальных резцов с круглым сечением хвостовика:  
1 – тангенциальный резец; 2 – резцедержатель

Испытания резцов проводятся на гидропульсационных машинах (например, МУП50). Колебания их подвижной траверсы в горизонтальной плоскости с амплитудой более 2 мм не допускаются. Для обеспечения этого требования необходимо ввести в конструкцию стенда дополнительные устройства, ограничивающие перемещение подвижной траверсы в горизонтальной плоскости.

Нагрузка на корпус резца передается через тензопуансон со встроенным (завальцованным) стальным термообработанным шариком диаметром 10–12 мм и системой тензодатчиков, обеспечивающей регистрацию нагрузок с точностью  $\pm 2,5\%$ .

Контроль, регистрация испытательной нагрузки и параметров пульсирующего цикла ( $t_n$ ,  $t_{п}$ ) производится с помощью тензоаппаратуры, включающей в себя тензоусилитель и шлейфовый осциллограф.

Рекомендуемая частота циклов нагружения  $f=10-17$  Гц.

Испытательная машина должна обеспечивать пульсирующий цикл напряжений (рис. 13.4, где  $t_{п}$  – время паузы, в течение которой сохраняется гарантированный зазор между пуансоном и корпусом резца,  $T = t_n + t_{п}$  – период цикла).

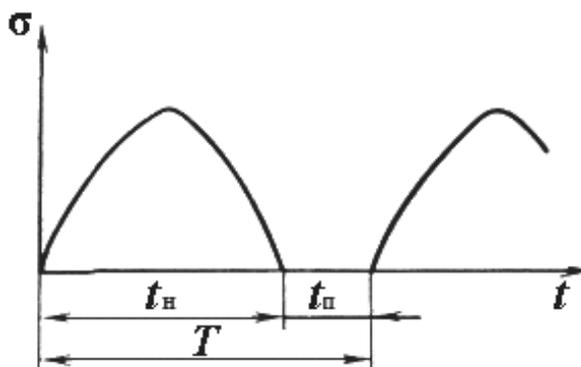


Рис. 13.4. График пульсирующего цикла нагружения

Для создания гарантированного зазора между тензопуансоном и поверхностью корпуса должно быть выполнено условие  $t_n/t_{п} \geq 0,3$ .

Испытываемый корпус резца должен с помощью болта закрепляться в резцедержателе, приваренном к плите, жестко установленной на подвижной траверсе испытательной машины. Установка плиты должна осуществляться таким образом, чтобы точка приложения нагрузки тензопуансоном находилась на расстоянии, равном 90 % от конструктивного вылета резца, в центре площадки.

Число испытываемых резцов в группе должно составлять при испытаниях: для радиальных и тангенциальных резцов с прямоугольным сечением хвостовика не менее десяти по каждой схеме; для тангенциальных резцов с круглым сечением хвостовика не менее десяти.

Испытания проводятся при мягком нагружении (заданной величиной является нагрузка) до образования видимых микротрещин или полного разрушения корпуса резца. При этом контролируется стабильность амплитуды испытательной нагрузки визуально по отклонению светового луча на экране осциллографа.

Стабильность параметров пульсирующего цикла контролируют путем снятия осциллограммы на быстро проявляемую бумагу.

Измерение циклической долговечности производится с помощью счетчика циклов испытательной машины.

Каждая из групп резцов испытывается равными количествами на двух уровнях нагрузки – нижнем и верхнем. Уровни испытательных нагрузок должны выбираться таким образом, чтобы соответствовать значениям циклической долговечности: не более 20 и не менее 130 килоциклов.

Если известна статическая разрушающая нагрузка  $R_{ст}$ , соответствующая пределу прочности  $\sigma_b$ , испытания рекомендуется проводить при уровнях нагрузки: нижнем  $R_n = 0,1 R_{ст}$ ; верхнем  $R_v = 0,4 R_{ст}$ .

При проведении контрольных испытаний, когда угловой коэффициент кривой усталости известен, допускается проведение испытаний при одном уровне нагрузки, соответствующем  $0,2-0,3 R_{ст}$ .

По результатам испытаний каждой схемы нагружения корпуса резца строятся (рассчитываются) кривые усталости в координатах  $\lg \sigma - \lg N$ , где  $\sigma$  – напряжение, МПа;  $N$  – циклическая долговечность (килоцикл).

Прочность соединения армирующей вставки с корпусом резца определяется на специальном испытательном стенде по значению равномерно распределенной статической нагрузки, приложенной к боковой грани армирующей вставки и направленной параллельно плоскостям сплава. Нагружение производят до разрушения паяного соединения (рис. 13.5 и табл. 13.6) [18].

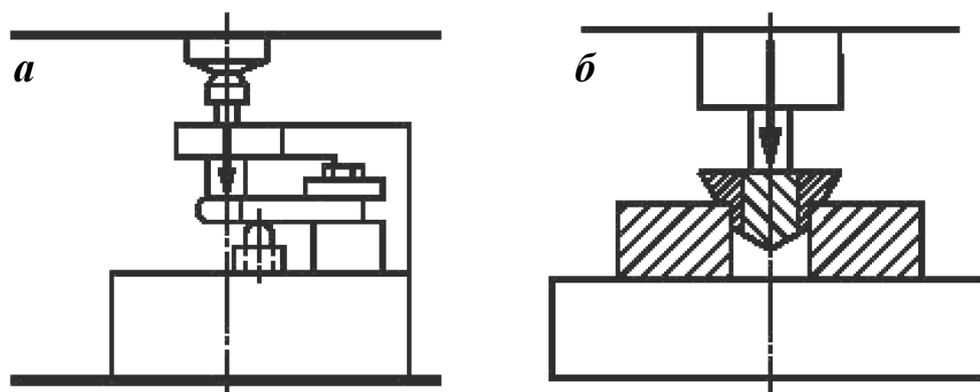


Рис. 13.5. Схема определения прочности соединения армирующей вставки с корпусом для резцов, армированных:

а – в открытый паз пластиной;

б – в закрытый паз цилиндрической вставкой

### 13.8. Определение прочности соединения резцедержателей с корпусом исполнительного органа

Методический опыт, накопленный при проведении экспериментальных работ по усталостным испытаниям корпусов резцов различных конструктивных вариантов, позволил перейти к ускоренным испытаниям соединения резцедержатель – корпус исполнительного органа горной машины.

Например, в структуре отказов шнековых исполнительных органов очистных комбайнов отрыв резцедержателей составлял 40–70 % от всего объема отказов [83].

С целью установления причин отрыва и ускорения поиска технологических и конструктивных решений, обеспечивающих существенное увеличение долговечности исполнительных органов, была разработана методика испытаний соединения резцедержатель – корпус исполнительного органа на усталость.

Исследования проводились на стенде, базой которого является гидропульсационная машина МУП50. Нагрузка на резцедержатель передавалась через пуансон со встроенным (завальцованным) стальным шариком и системой тензодатчиков, обеспечивающей регистрацию нагрузок с точностью  $\pm 2,5$  %. Испытания проводились при мягком нагружении (заданной величиной являлась нагрузка) до образования видимых микротрещин или до полного разрушения (рис. 13.6).

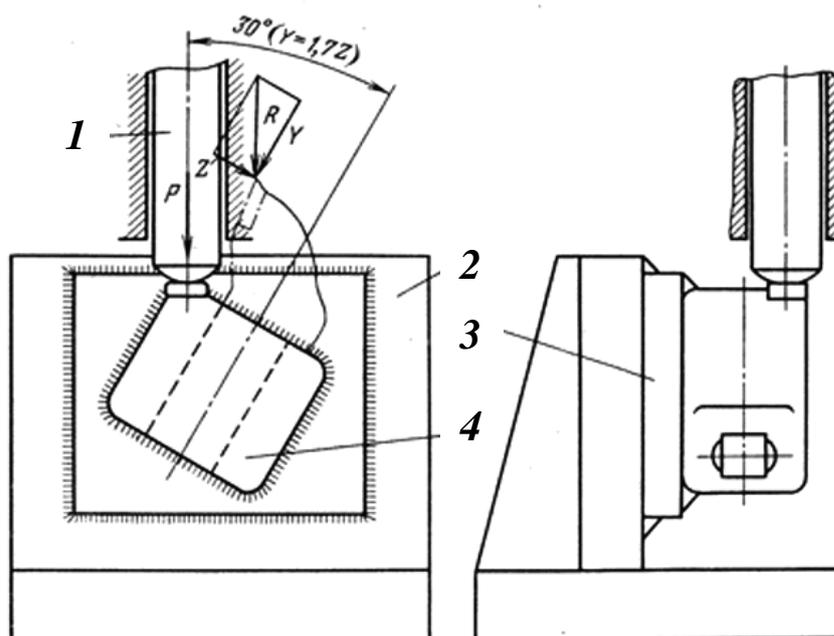


Рис. 13.6. Схема нагружения резцедержателя:  
1 – пуансон; 2 – плита; 3 – подставка; 4 – резцедержатель

Схема нагружения (рис. 13.6) соединения соответствовала отношению усилия подачи  $Y$  к усилию резания  $Z$ , равному 1,7 (случай затупленного инструмента с площадкой затупления  $1,5 \text{ см}^2$ ). Усилие  $R$ , действующее на резец при эксплуатации ( $R = 40\text{--}60 \text{ кН}$ ) для ускорения испытаний, было заменено нагрузкой  $P = 200 \text{ кН}$ , приложенной к торцу резцедержателя. При линейном характере кривой усталости в двойных логарифмических координатах такая замена допустима. Частота нагружения принималась равной 11 Гц.

Испытания проведены на примере серийного резцедержателя 2Ш88Р.061.

## 14. СПОСОБЫ ПЫЛЕПОДАВЛЕНИЯ ПРИ РАБОТЕ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА ГОРНЫХ МАШИН

### 14.1. Мероприятия и средства по борьбе с пылью

Отечественный и зарубежный опыт показывает, что при работе исполнительных органов горных машин и режущего инструмента необходимо использовать средства пылеподавления.

Современные способы добычи угля и проведения подземных горных выработок характеризуются значительным пылеобразованием. Основным источником пылеобразования (до 90 %) является процесс разрушения угля (породы) режущим инструментом горной машины. Технологические операции погрузки, перегрузки и транспортирования угля (породы) дают лишь небольшой прирост пылеобразования (до 10 %). Едиными правилами техники безопасности для угольных и сланцевых шахт установлена предельно допустимая норма концентрации пыли в воздухе, подаваемом в шахту, –  $0,2 \text{ мг/м}^3$ . Этими же правилами определено и количество пыли, которое может находиться в зоне дыхания подземных рабочих в зависимости от содержания в ней двуокиси кремния (табл. 14.1) [21, 46].

Таблица 14.1

Предельно допустимая концентрация пыли

Содержание двуокиси кремния, %	70	70–10	Менее 10	0
Предельно допустимая концентрация пыли, $\text{мг/м}^3$	1	2	4	10

Все мероприятия по борьбе с пылью при работе режущего инструмента можно разделить на следующие три группы:

- предупреждение пылеобразования;
- предотвращение распространения взвешенной пыли;
- удаление и связывание осевшей пыли.

*Для предупреждения пылеобразования применяют метод нагнетания жидкости в массив, подлежащий разрушению.*

Например, для нагнетания воды в пласт в массиве угля пробуривают шпуровые скважины, в которые специальным насосом нагнетают воду под большим давлением (до 30 МПа) в течение 10–15 мин. Вода расходится по имеющимся в угольном массиве трещинам, смачивает уголь и находящуюся в трещинах пыль. В итоге снижается запыленность воздуха при выемке угля. Нагнетание воды в пласт осуществляется через шпуровые скважины диаметром 40–90 мм, глубиной 2–5 м, через короткие скважины диаметром 42–50 мм, глубиной 5–15 м и через длинные скважины диаметром 45–160 мм и глубиной более 15 м. Описанный процесс осуществляется специальными установками – переносными или передвижными.

*Для предупреждения распространения взвешенной пыли используют следующие способы:* орошение зоны работы режущего инструмента; очистка воздушного потока от пыли с помощью водяных завес; сухое пылеулавливание у очагов пылеобразования; мокрое пылеулавливание с помощью аспирационных установок.

Удаление и связывание осевшей пыли достигается уборкой и смывом напластования пыли, обработкой осевшей пыли специальными растворами, побелкой горных выработок.

Особое место среди мероприятий по борьбе с пылью занимает обеспыливающее проветривание горных выработок, основанное на разжижении пылевого облака, выносе пыли из забойного пространства.

Орошение водой является наиболее распространенным способом гашения пыли при работе очистных, проходческих комбайнов и буровых установок. Для более эффективного пылеподавления наряду с орошением водой может осуществляться и отсос запыленного воздуха от зон погрузки угля на конвейер.

Гашение пыли может осуществляться также пеной, которая обволакивает отделенный от массива пласта уголь и не оседает в течение нескольких минут.

Воспламенение метановоздушной смеси возможно только в том случае, если одновременно существуют следующие три предпосылки [84]:

- наличие взрывоопасной метановоздушной смеси;
- наличие достаточно горячей поверхности в качестве источника воспламенения;
- достаточно длительное время контактирования метановоздушной смеси с источником воспламенения.

Системы орошения должны предотвращать образование всех трех этих предпосылок, хотя воспламенение не происходит уже при отсутствии лишь одной из них.

#### **14.2. Опыт эксплуатации средств пылеподавления на горных машинах**

Общеизвестно, что в настоящее время в РФ около 70 % угольных шахт относятся к опасным по газу (метану) и 90 % – опасны по взрыву угольной пыли. Данные статистики свидетельствуют о том, что основным источником взрывов газа и пыли при подземной добыче угля является воспламенение пылегазовоздушной смеси в результате фрикционного контакта резцов с прослойками породы и твердыми включениями в угольном массиве. Установлено [85], что начальное возгорание этой смеси возникает от искр в 10–20 мм позади вершины резца при его нагреве до 750–1200 °С.

В России и в ближнем зарубежье предложен ряд способов интенсификации процесса улавливания и осаждения пыли, а также ряд мер по усовершенствованию существующих способов: электризация капель диспергированной жидкости, добавка к воде поверхностно-активных веществ, магнитная обработка воды, распыление воды сжатым воздухом, гидроакустическое осаждение пыли, орошение с помощью пара. Однако эти способы не получили широкого распространения при работе горных машин по различным причинам: нетехнологичности, вредного влияния на здоровье рабочих, малой эффективности пылеподавления. Поэтому на практике применяется в основном внешнее орошение. Такая система орошения рассчитана на применение двух способов: гидравлического и пневмогидравлического. Эффективность пылеподавления этой системы составляет 70–90 % [86], а по мелкодисперсной пыли 50–60 %. Следовательно, актуальной задачей по совершенствованию орошения

является повышение эффективности пылеподавления, особенно по мелкой пыли, при уменьшенном расходе воды.

#### **14.2.1. Средства пылеподавления буровой установки**

При эксплуатации бурильных установок для проходки восстанавливающих скважин большого диаметра на угольных шахтах при разрушении угля резцами бурового инструмента в забойной зоне скважины образуется большое количество пыли и метана, что создает угрозу взрыва. Для пылеподавления бурильные машины оснащаются устройствами интенсивного орошения этой зоны. Бурильные установки имеют в своем составе насос, пустотелый буровой став для подачи под давлением воды посредством форсунок к режущему инструменту. В средства пылеподавления также входят: краны, фильтры, клапаны, гибкие прорезиненные рукава. Для подавления пыли в устьях скважин нашли применение воздушно-водяные завесы [58].

#### **14.2.2. Средства пылеподавления очистных комбайнов**

При эксплуатации очистных комбайнов, которые являются основным источником пылеобразования в лаве, в разное время получили распространение орошение, пылеотсос с пылеулавливанием и подавление пыли пеной. Орошение – самый распространенный способ, сущность которого заключается в подводе воды на исполнительный орган комбайна и распылении ее с высокой степенью дисперсности. Исторически известны два способа орошения: внешнее и внутреннее. На первых моделях узкозахватных комбайнов применялось внешнее орошение и форсунки устанавливались на корпусе комбайна вблизи исполнительного органа. Этот способ пылеподавления имел низкую эффективность, так как исполнительный орган в процессе работы менял свое положение относительно корпуса комбайна. При этом расстояние от форсунок до резцов увеличивалось и, по этой причине, снижалась эффективность орошения. В этой связи на современных очистных комбайнах более целесообразно использование внутренней схемы орошения, когда форсунки устанавливают непосредственно на исполнительном органе вблизи режущего инструмента. Чем ближе форсунки устанавливаются к резцам, тем эффективнее система пылеподавления. Подвод воды к вращающемуся исполнительному органу производится через полый вал, на кото-

ром он установлен. Для этого в осевом отверстии вала прокладывают трубопровод, от которого жидкость через распределительное устройство, трубопроводы на спиральях исполнительного органа и форсунки поступает к резцам. Для уменьшения общего расхода жидкости были разработаны схемы, в которых вода подается только к форсункам и резцам, находящимся в контакте с угольным забоем [87].

На некоторых конструкциях очистных комбайнов наряду с орошением использовались пылеотсасывающие устройства, что позволяет, вместе с водяным орошением, улавливать до 95–98 % пыли. Отсасываемый воздух осаждается на стенках пылеуловителей, далее смывается водой и выбрасывается в виде шлама на забойный конвейер. Основными элементами пылеотсасывающей установки являются вентилятор и пылеуловитель. Пылеотсасывающие устройства могут устанавливаться на корпусе или поворотном редукторе комбайна.

#### **14.2.3. Средства пылеподавления проходческих комбайнов**

С целью повышения эффективности подавления искрообразования в зоне контакта резцов с породой и улучшения пылеподавления на проходческих комбайнах ET120 “Айкгофф”, E301 “Паурат”, SM130 – фирма “IBS” (Германия), RH22 “Андерсен” (Англия), AM65 – фирма “Фест-Альпине” (Австрия) и др. нашла применение система внутреннего высоконапорного орошения. Например, в проходческом комбайне AM65, выпускаемом фирмой “Фест-Альпине” (Австрия), используется система “Set-Jet” с давлением воды 15–20 МПа [85]. Таким образом, наибольшие перспективы имеют системы пылеподавления с внутренним высоконапорным орошением с давлением воды до 30 МПа.

Отечественная система высоконапорного орошения СВК-1.00.000 состоит из следующих основных частей: коронки, водосъемника, насосного блока, преобразователя давления с гидрпанелью и электрооборудования. Специальная коронка СВО-1.01.100.4 имеет насадки для подачи воды под давлением до 15 МПа в зону работы режущего инструмента [49].

Исследованиями [88] установлено, что высокая эффективность пылеподавления (97,5 %) при уменьшенном расходе воды в 2 раза по сравнению с типовым орошением достигается при высоконапорном орошении с давлением воды 10 МПа и более. Высоконапорную струю воды подавали к каждому резцу в точке, расположенной примерно в

2 мм перед острием резца на коронке комбайна WAV 300 (рис. 14.1) [89].

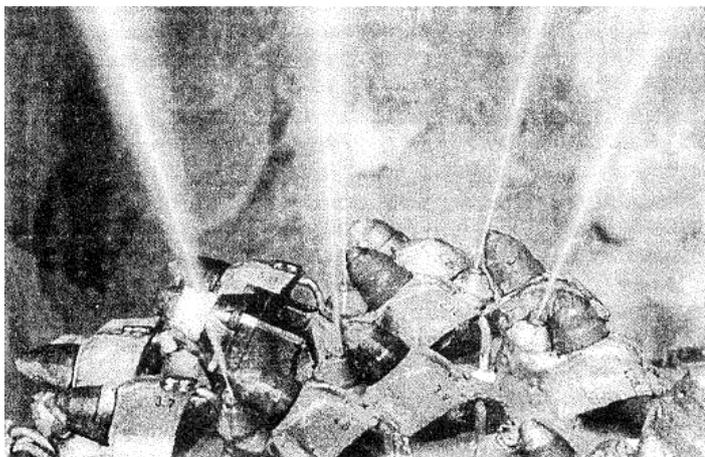


Рис. 14.1. Резцы с коническим резцедержателем и орошением струей воды высокого давления

Предпосылкой целесообразности повышения давления воды является усиление коагуляции пылинок с каплями благодаря увеличению скорости движения струи.

Установлено, что при резании с орошением высоконапорными водяными струями запыленность шахтной атмосферы существенно ниже, чем при внешнем орошении зоны резания, так что одновременно улучшаются условия труда в проходческом забое и повышается уровень безопасности, но для повышения надежности эксплуатации система внутреннего орошения нуждается в доработке.

Такие струи воды могут создаваться с помощью насадок, представленных на рис. 14.2 [85].

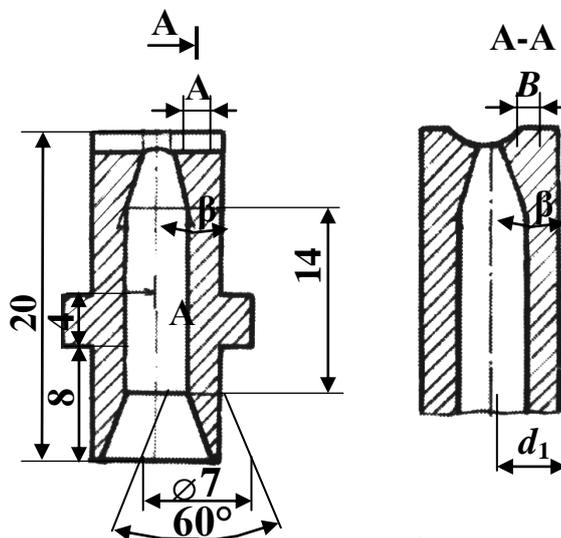


Рис. 14.2 Двухступенчатый профиль насадки с эллиптической формой выходного отверстия для формирования плоских струй воды

Рациональные параметры этих насадок при угле конусности насадки  $\alpha = 30^\circ$  приведены в табл. 14.1 [85].

Таблица 14.1

Рациональные параметры насадки и факела плоских струй воды

Давление воды $P$ , МПа	Диаметр выходного отверстия насадки $D$ , мм	Длина большой оси эллипса $L_1$ , мм	Длина малой оси эллипса $L_2$ , мм	Ширина струи воды $B$ , мм
4	0,89	1,10	0,73	51,9
5	0,84	1,03	0,69	51,0
6	0,80	0,98	0,66	50,2
7	0,77	0,95	0,63	49,5
8	0,75	0,92	0,61	48,8
9	0,73	0,89	0,59	48,3
10	0,70	0,87	0,58	47,7
11	0,69	0,85	0,56	47,3
12	0,68	0,83	0,55	46,8
13	0,66	0,81	0,54	46,4
14	0,65	0,80	0,53	46,0
15	0,64	0,78	0,52	45,6

В результате исследований, выполненных в РФ и за рубежом, установлено, что наиболее надежная пылевзрывозащита достигается при подаче струи воды не на переднюю грань резца, не впереди резца, а наоборот, позади резца непосредственно на раскаленный след в горной породе. При этом более эффективны плоские струи воды, которые должны обладать следующими характеристиками: плотность и ширина факела в месте контакта резца с углем (породой); диаметр выходного отверстия насадки; давление воды перед насадкой; длина и диаметр начального участка водяных струй.

В сотрудничестве со специалистами ДМТ на шахте Нидерберг (Германия) разработана комбинированная система орошения зоны работы коронки проходческого комбайна, оснащенной режущим инструментом. Для сокращения расхода воды в призабойное про-

странство через резцовую коронку выбрасывается водовоздушная смесь. Мелкодисперсная, распыленная вода обволакивает частицы пыли, резцы, коронку и создает взрывобезопасную атмосферу, эффективно предотвращает воспламенение метана. Благодаря этому существенно сокращается расход воды, требуемой на орошение. Эта система была впервые установлена на проходческом комбайне избирательного действия АМ 105. Система пылеподавления включает [84]:

- упрощенное устройство подвода воды к резцам, в котором вода из каждого резцедержателя в зависимости от размера сопла подается либо периодически, либо непрерывно;

- модифицированные пневмоструйные блоки (Aero Safe Jet), струи которых проветривают призабойное пространство.

В воздушные струи каждого из пяти сопел через отдельные сопла направленно впрыскивается вода, распыляемая воздушными струями на мельчайшие частицы. Образующаяся водовоздушная смесь с высоким охлаждающим и пламегасящим потенциалом обволакивает пылевидные частицы, резцы, коронку и интенсивно омывает всю зону резания. Существенные преимущества новой системы орошения в отличие от применявшейся ранее: упрощенное техническое исполнение вследствие отказа от управления подачей воды к отдельным резцам в зависимости от их положения, а также от контрольных перепускных клапанов; более простое техническое обслуживание; меньший расход воды, а также меньший износ компонентов системы вследствие меньшего давления воды на соплах.

Высокий эффект пылеподавления (90 %) при уменьшенном в 2 раза расходе воды и давлении на форсунке 2–3 МПа дает орошение водовоздушными эжекторами благодаря хорошей очистке запыленного воздуха, проходящего через эжектор. Однако водовоздушные эжекторы по конструктивным особенностям не на всех комбайнах применимы, так как загромождают стрелу исполнительного органа комбайна и усложняют проведение выработок малого сечения [90].

На практике система внутреннего орошения (СВО) на отечественных комбайнах фактически не подавляет ФВМ (фрикционное воспламенение метана) по трем причинам: не выдерживаются рациональные параметры орошения; установка форсунок при изготовлении этой системы не точна, вследствие чего водовоздушные струи не локализируют источника ФВМ на каждом следе резца; надежность

(СВО) очень низка в основном из-за засорения форсунок как изнутри (при сборке системы), так и, чаще всего, извне при контакте исполнительного органа комбайна с горным массивом при отключенном орошении (20 % форсунок засоряется в течение рабочей смены, а для ФВМ достаточно засорения одной форсунки [86]). Поэтому на крепких и абразивных породах ФВМ гарантировано. Пример эксплуатации (СВО) на импортных проходческих комбайнах “Альпине Майнер АМ-75, 105 ” показывает, что вышеперечисленные недостатки могут быть устранены [84].

В области орошения особенно следует выделить запатентованное изобретение фирмы “Крумменауэр” ([www.krummenauer.de](http://www.krummenauer.de)) – эжекторное орошение (рис. 14.3). Оно представляет собой модернизацию обычного орошения. Форсунка для воды расположена в защищенной камере за резцедержателем. По принципу водоструйного вакуумного насоса она всасывает пылесодержащий воздух и тем самым активно способствует пылеподавлению. Затем распыляющаяся струя воды смешивается с воздухом и образуется очень мелкий воздушно-водный туман, который, с одной стороны, подавляет пыль, а с другой стороны, обеспечивает надежную взрывозащиту.

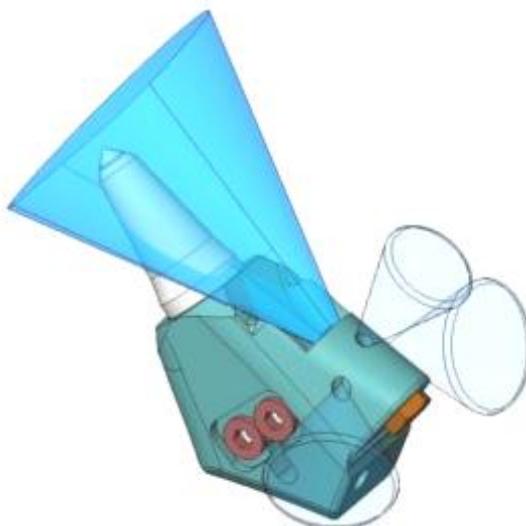


Рис. 14.3. Эжекторное орошение

Преимущества эжекторного орошения фирмы “Крумменауэр” по сравнению с традиционными видами орошения следующие:

- Выполнение директивы АТЕХ о гидравлическом напоре в 20 бар на форсунке (Ø 0,7 мм).
- Уменьшение на 30 % необходимого количества воды.
- Активное пылесвязывание.

- При использовании чистой воды почти полное отсутствие необходимости в обслуживании.

- Самоочищение воздуховсасывающих каналов.

- Несложная замена либо чистка форсунки.

Взрывозащита эжекторного орошения была доказана на испытательном стенде лаборатории фирмы “ДМТ” при приближенных к практике условиях резания при наличии взрывоопасной метано-воздушной смеси.

В качестве более эффективного внешнего орошения предложен способ импульсного орошения [86], при котором искусственно турбулизуется пылевоздушная среда, благодаря импульсам давления воды на оросителях. Усиливается турбулентная коагуляция капель воды с частицами угольной пыли, и эффективность пылеподавления внешним орошением повышается с 80–90 % до 93–97 %, при этом количество эжектируемого воздуха импульсной струей жидкости в 2,8 раза больше, чем сплошной струей, при одинаковых расходах жидкости. Этот способ эффективен как по крупной, так и по мелкой пыли, наиболее вредной для здоровья и взрывоопасной. При импульсном орошении концентрация пыли составляет  $4 \text{ мг/м}^3$ , в то время как при заводском орошении  $27 \text{ мг/м}^3$ .

Рекомендованы рациональные параметры импульсного орошения [86]: амплитуда давления 1–2 МПа; частота импульсов 6–13 Гц; средний размер капель 30–50 мкм; плотность капель в факеле  $(0,5–1,5) \cdot 10^9 \text{ л/м}^3$ ; расход воды 50–70 л/мин; эффективная длина факела 0,8–1,2 м.

Эксплуатация систем импульсного орошения при высокой эффективности пылеподавления возможна без оросительных насосных установок, поскольку повышение давления в импульсе происходит непосредственно в самой системе за счет гидравлического удара, при этом амплитудное давление превышает начальное в 2 раза.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рабочий инструмент, реализующий механический способ разрушения горных пород и углей, имеет широкую область применения на исполнительных органах очистных и проходческих комбайнов, буровых машин и струговых установок.

Механика процесса разрушения горных пород и механизм изнашивания рабочего инструмента достаточно хорошо изучены, что позволило обосновать рациональные параметры и схемы расстановки инструмента на исполнительных органах горных машин. Опыт эксплуатации отечественного и зарубежного инструмента позволил разработать стандарты на его классификацию, элементы и конструктивные параметры.

При выборе рабочего инструмента и его креплений на исполнительных органах горных машин заказчики и потребители все чаще выдвигают требования повышения его износостойкости, надежности в широком спектре условий эксплуатации. Высокий уровень современного материаловедения и технологии изготовления рабочего инструмента, его креплений позволяют успешно решить эту задачу путем применения улучшенных инструментальных легированных сталей, твердосплавных материалов, припоев, флюсов.

Многолетний опыт разработки мероприятий и средств по борьбе с пылью позволяет получить компактное конструктивное решение и эффективное сочетание процессов резания и пылеподавления.

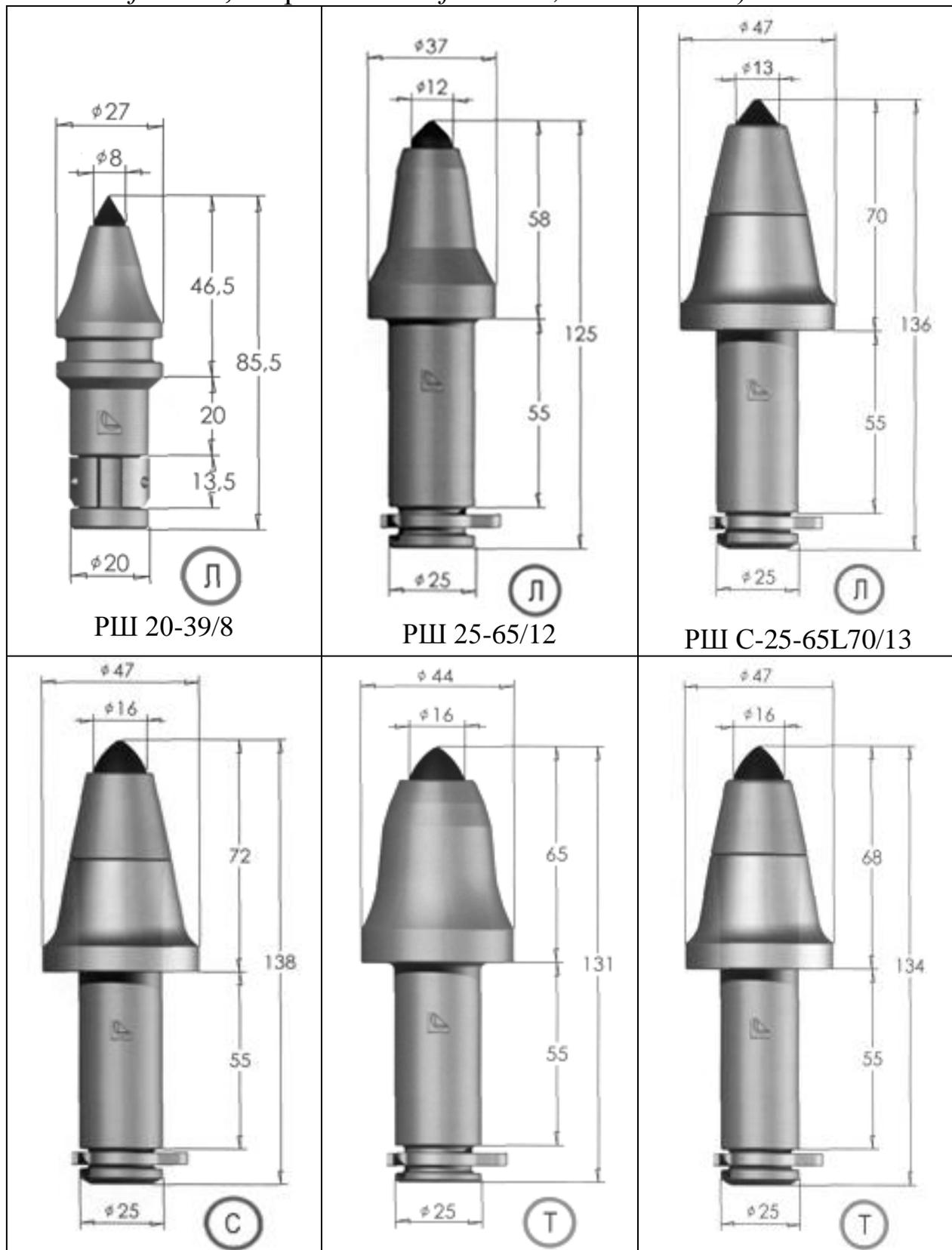
Стратегической целью горного машиностроения является налаживание выпуска высокоресурсных, конкурентоспособных, экономичных рабочих инструментов на основе последних научных разработок и передового мирового опыта.

## **ПРИЛОЖЕНИЕ 1**

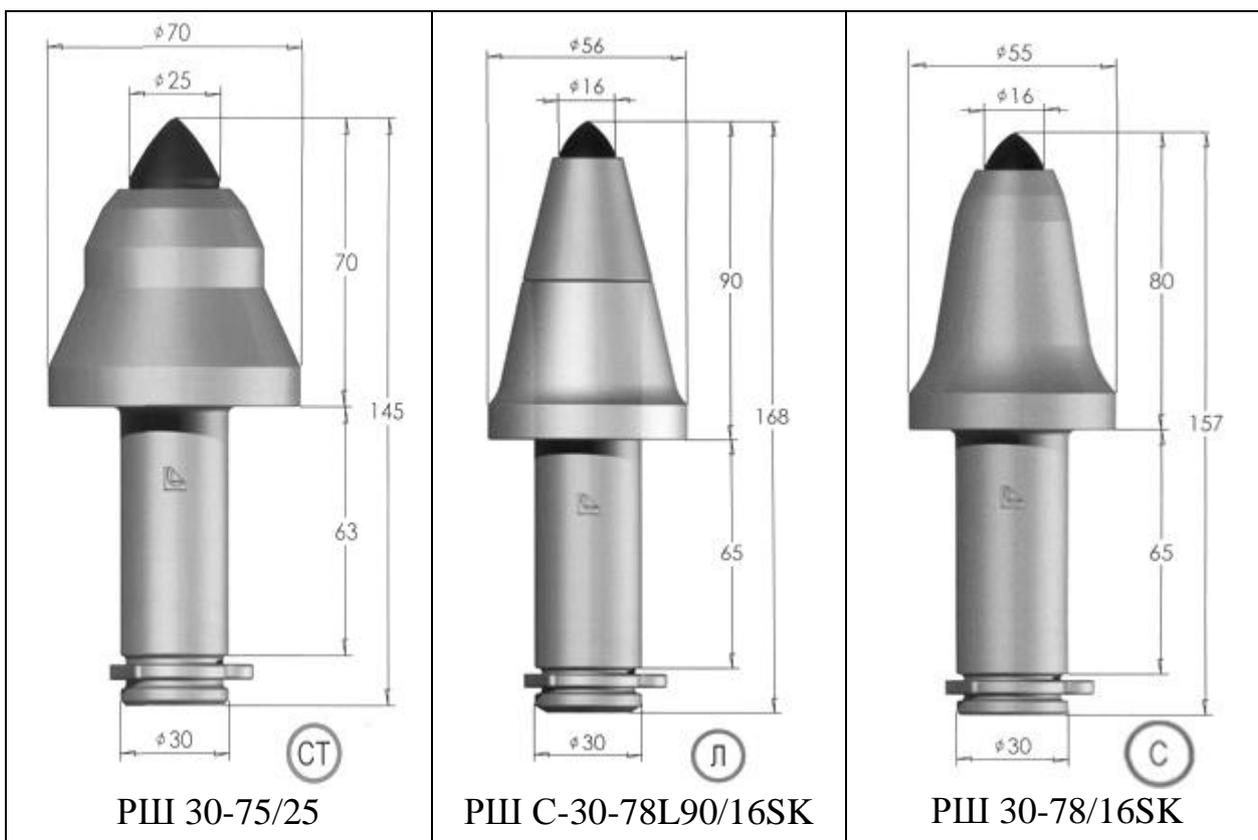
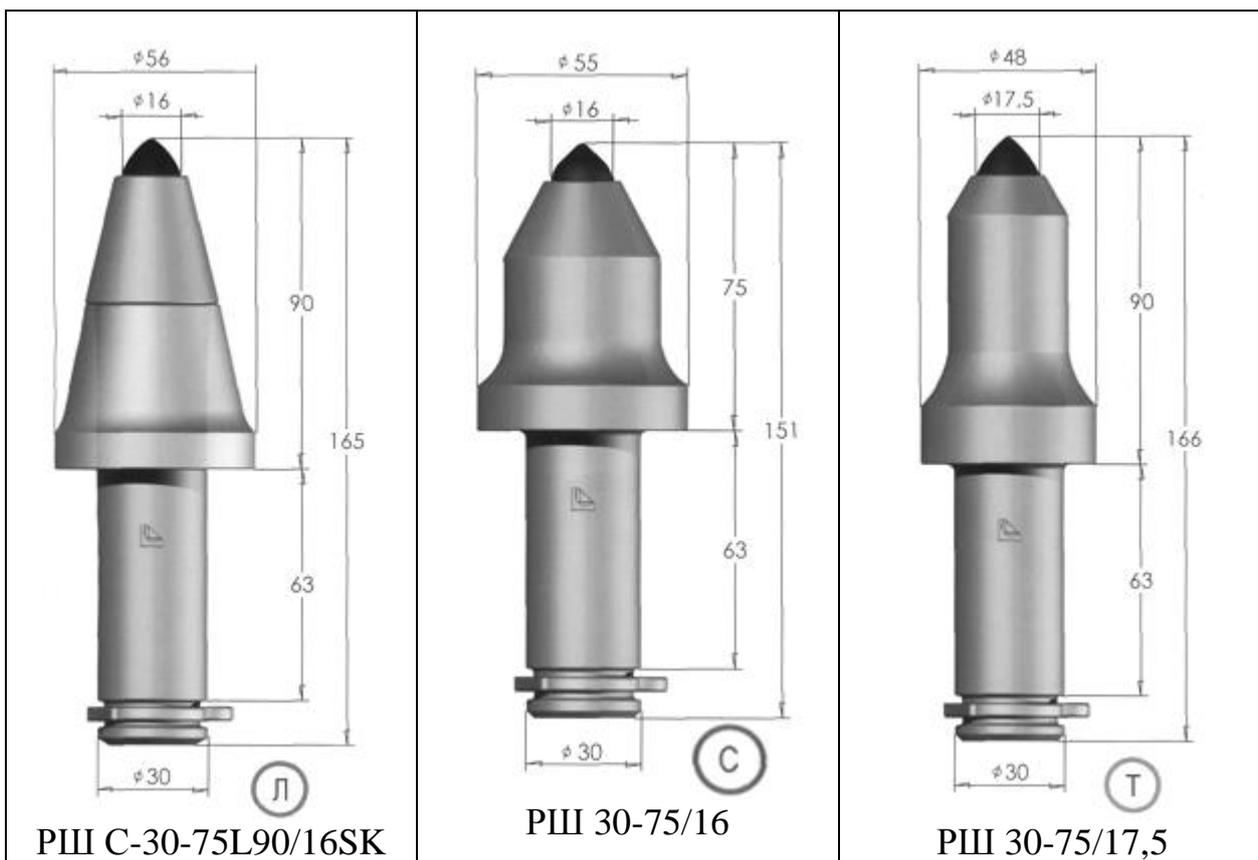
**Режущий инструмент ООО “Горный инструмент”**

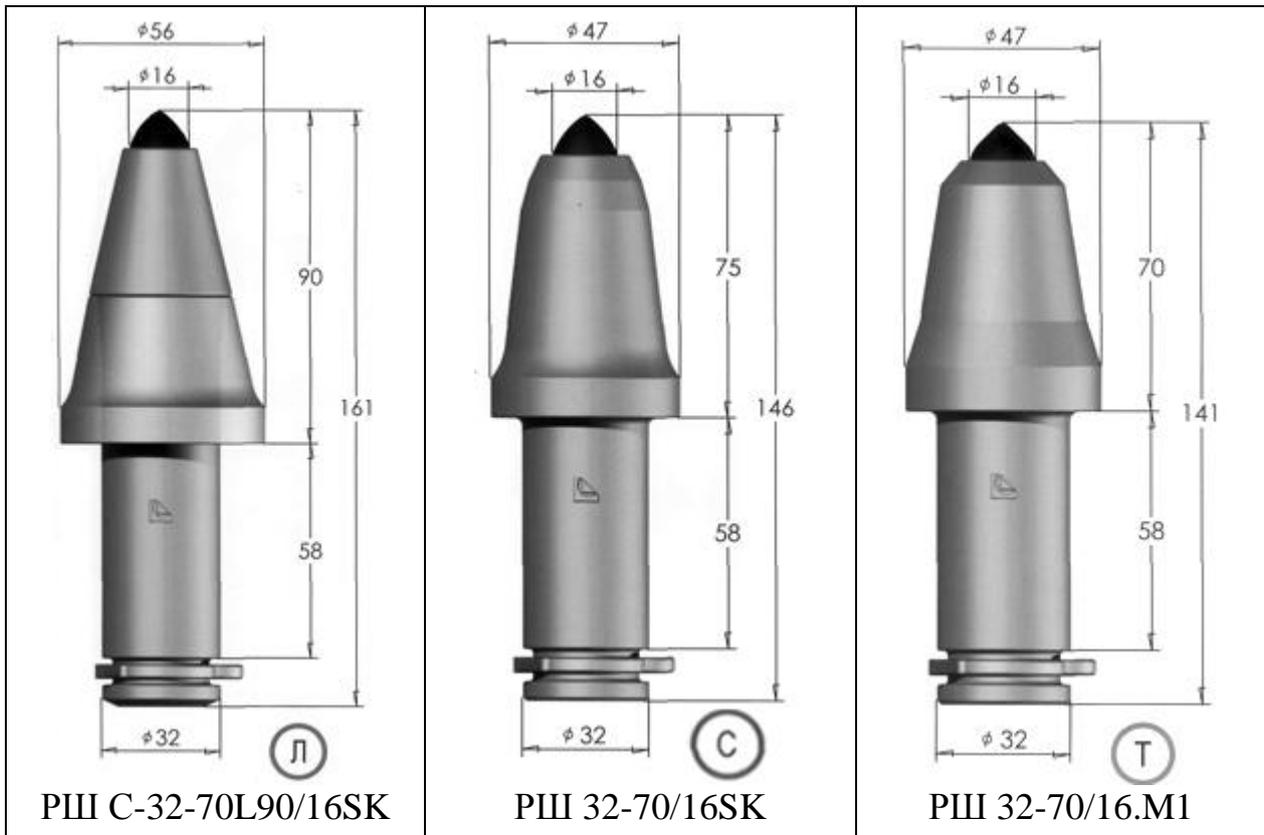
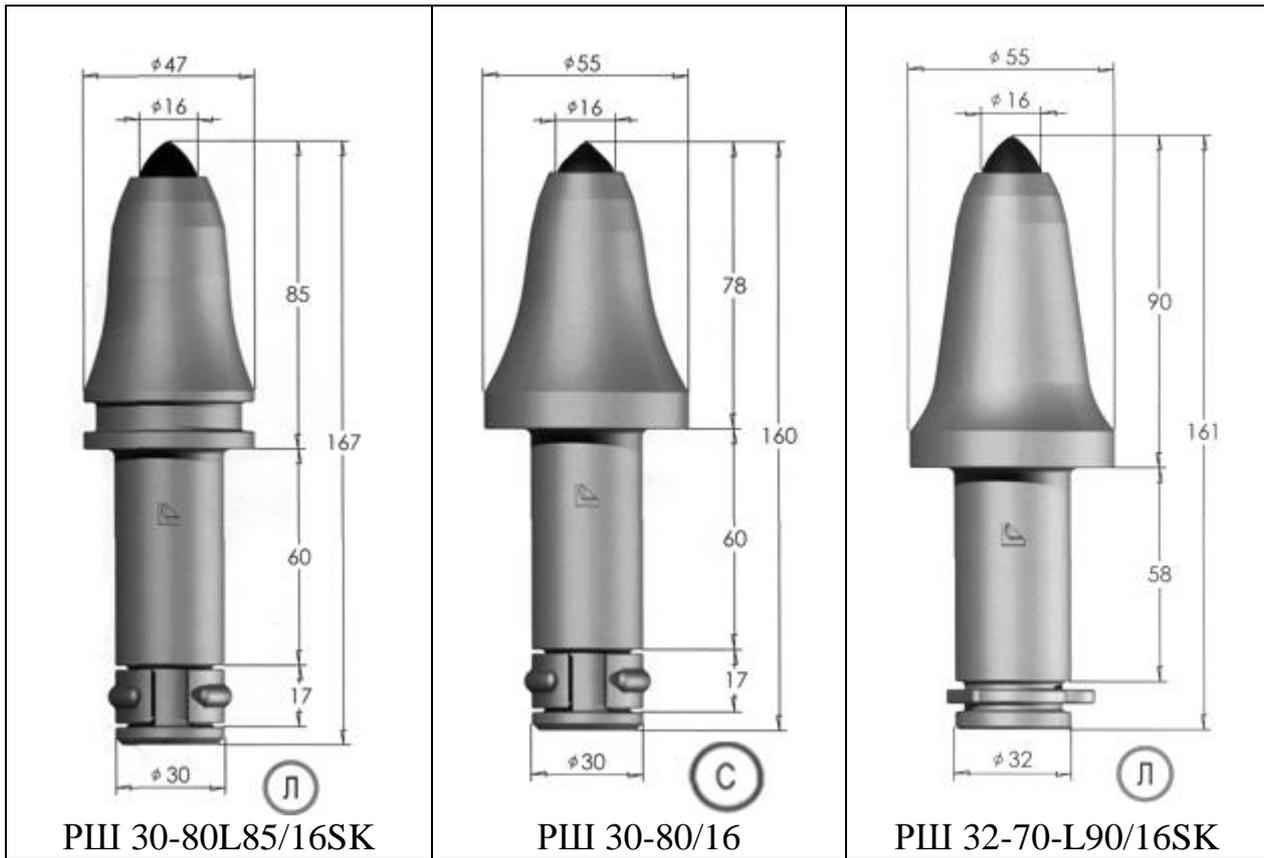
### 1.1. Тангенциальные поворотные резцы

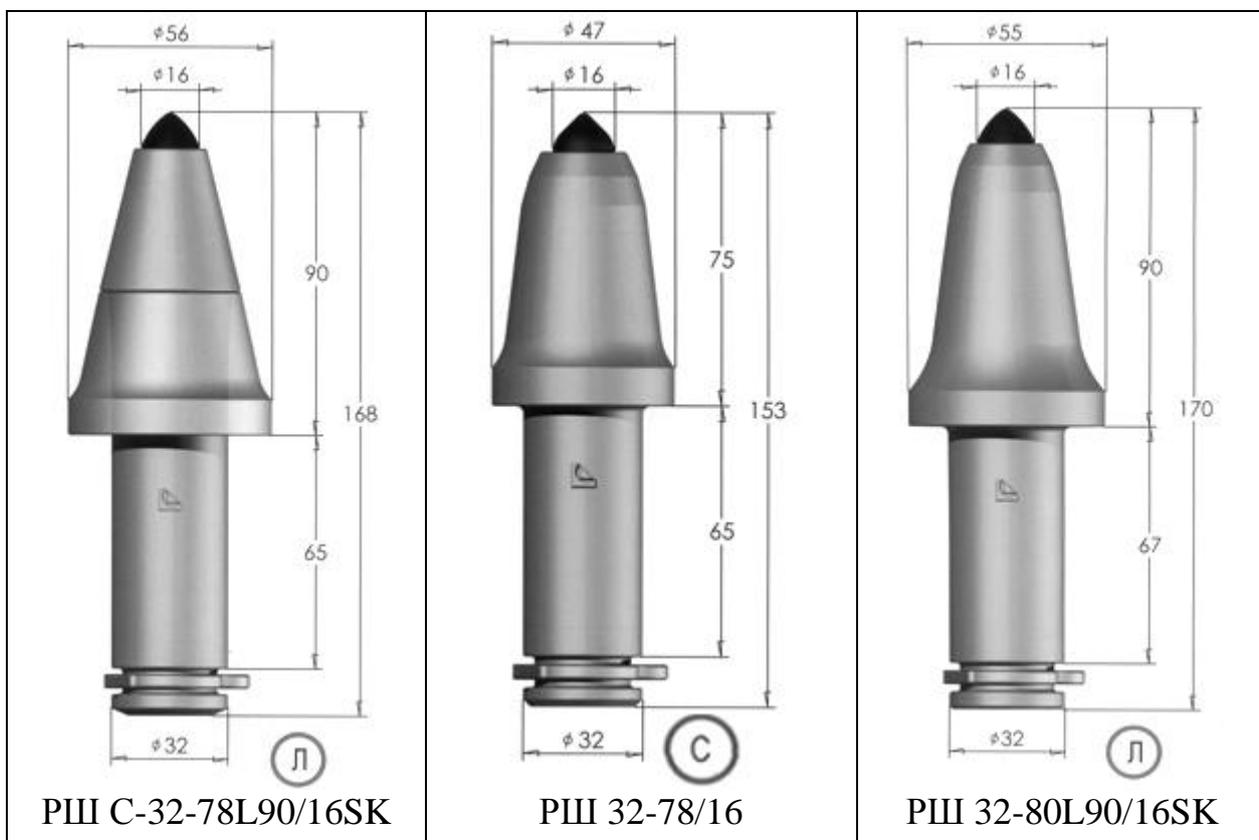
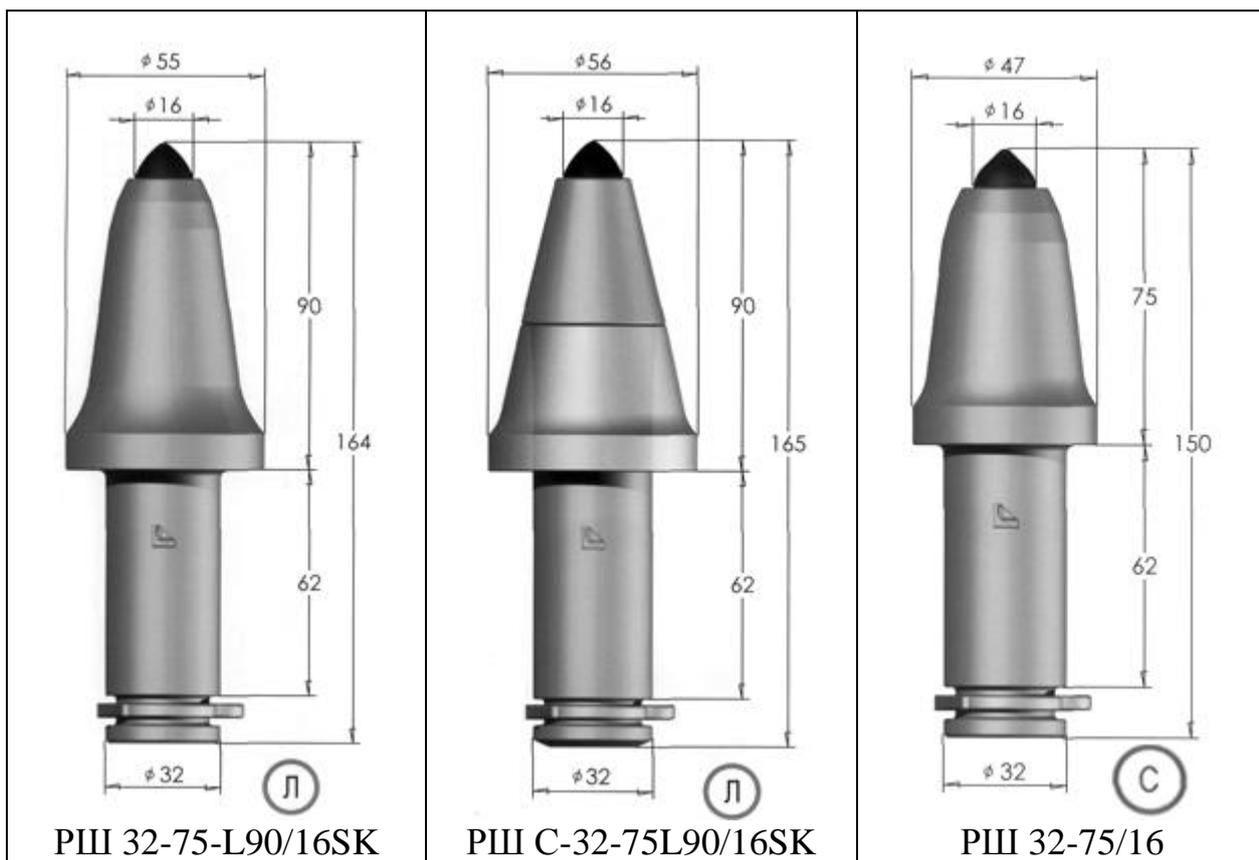
(вылет резцов от 46,5 до 102 мм; диаметры хвостовиков – 20, 25, 30, 32, 33, 35, 38 мм; условия работы: легкие  $f = 0,8-2$ , средние  $f = 2-5$ , тяжелые  $f = 5-8$ , сверхтяжелые  $f = 7-10$ , см. табл. 7.3)

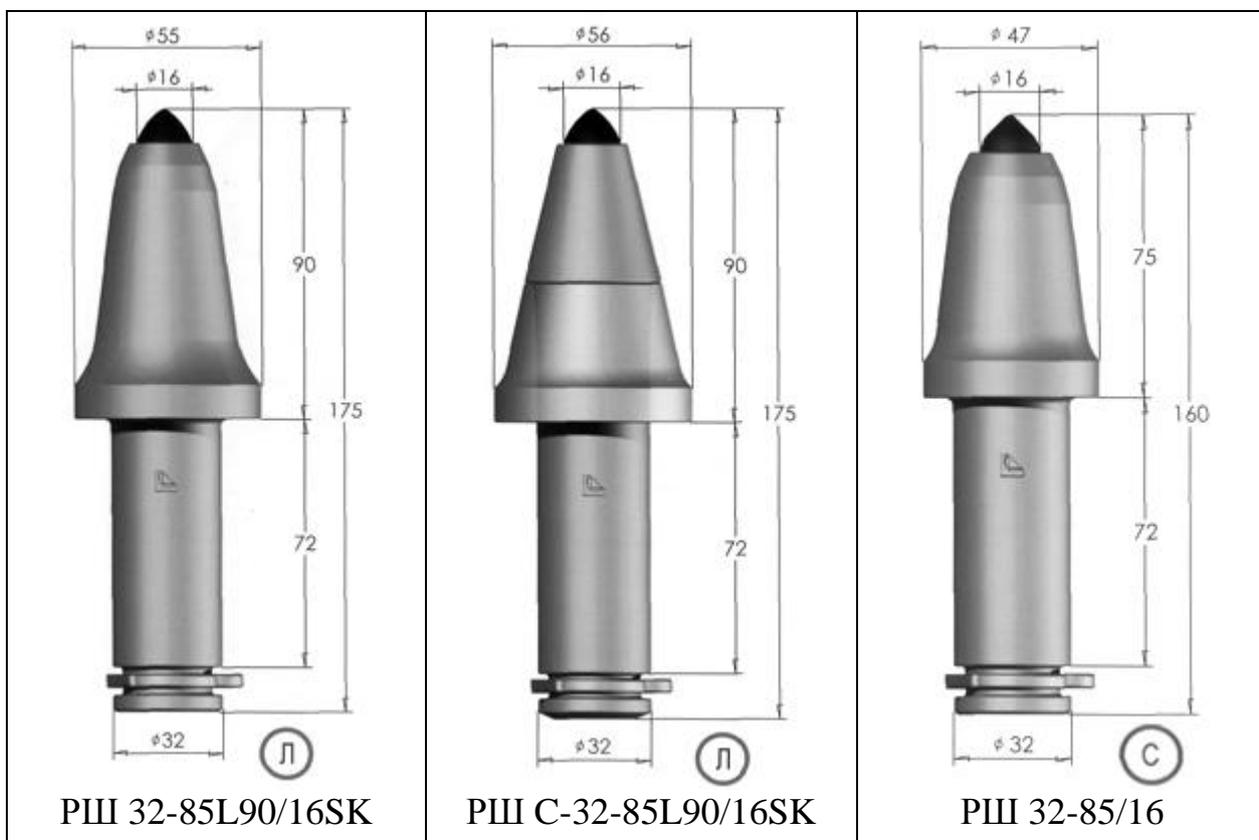
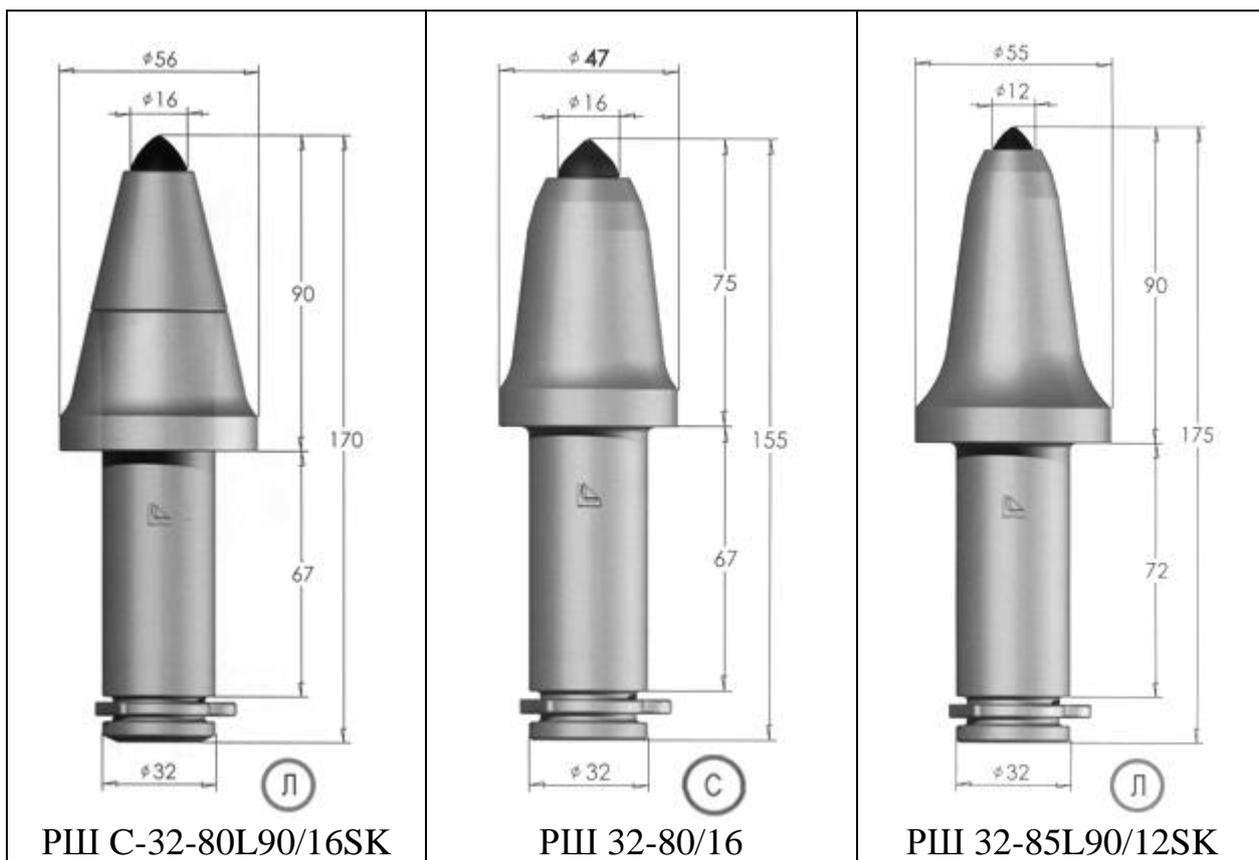


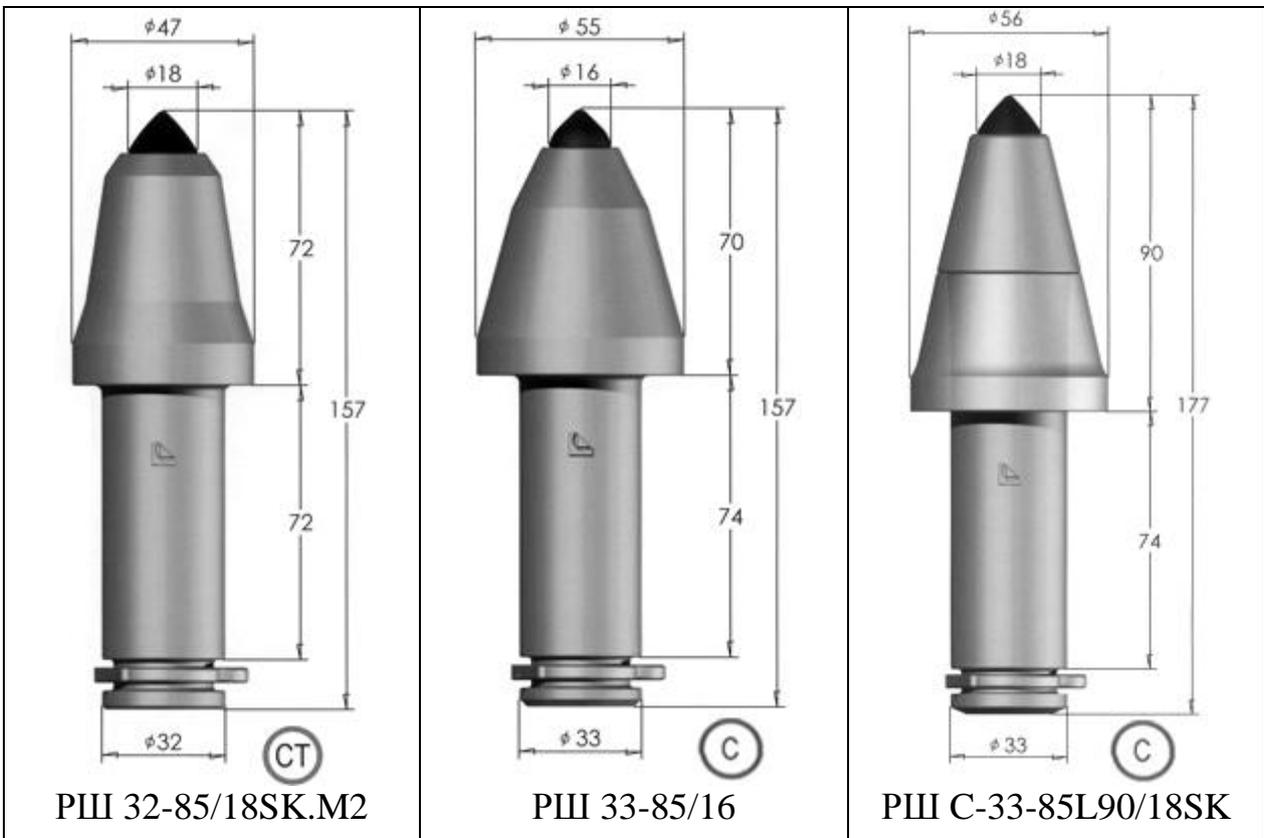
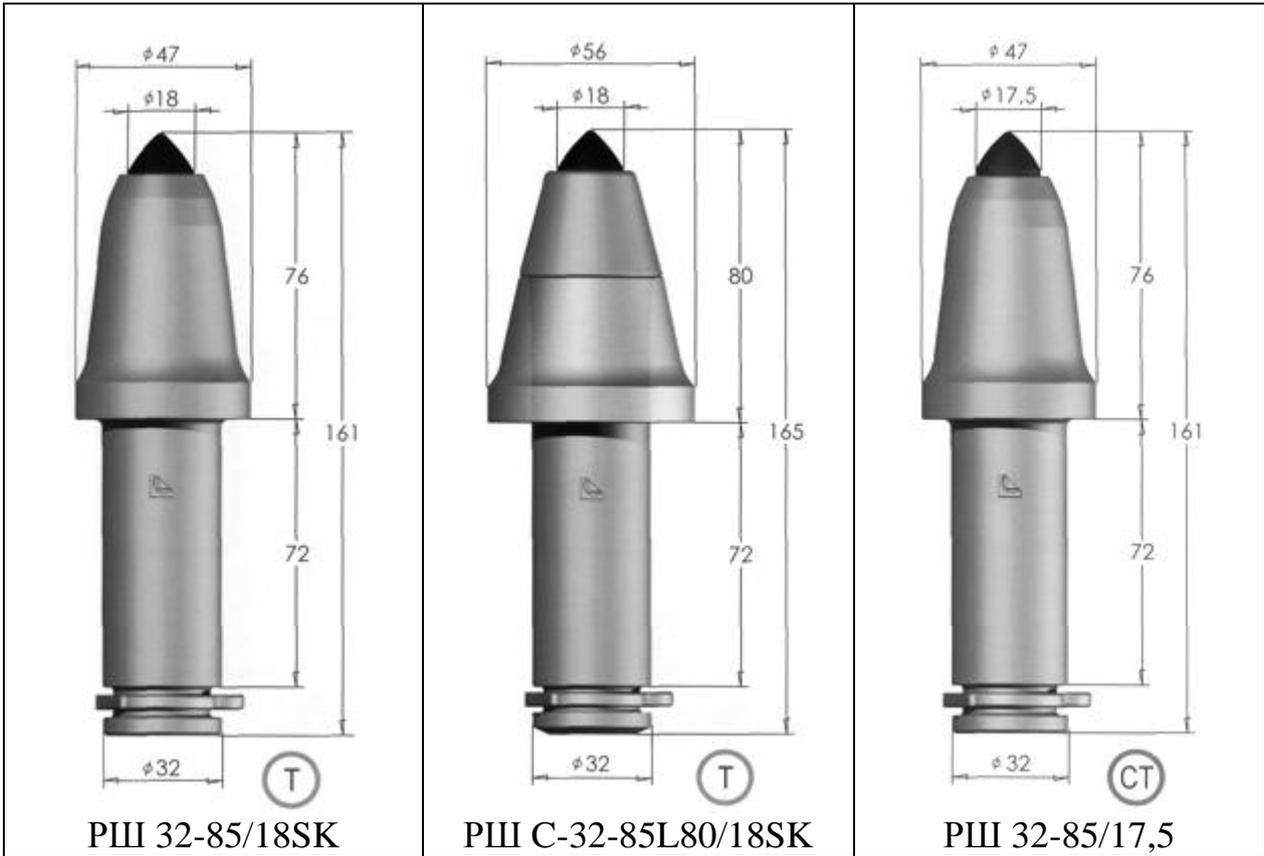
<p>PIII C-25-65L72/16SK</p>	<p>PIII 25-65/16SK</p>	<p>PIII C-25-65L68/16SK</p>
 <p>PIII 30-72L85/16SK</p>	 <p>PIII 30-72L80/16SK</p>	 <p>PIII 30-72L90/17,5</p>

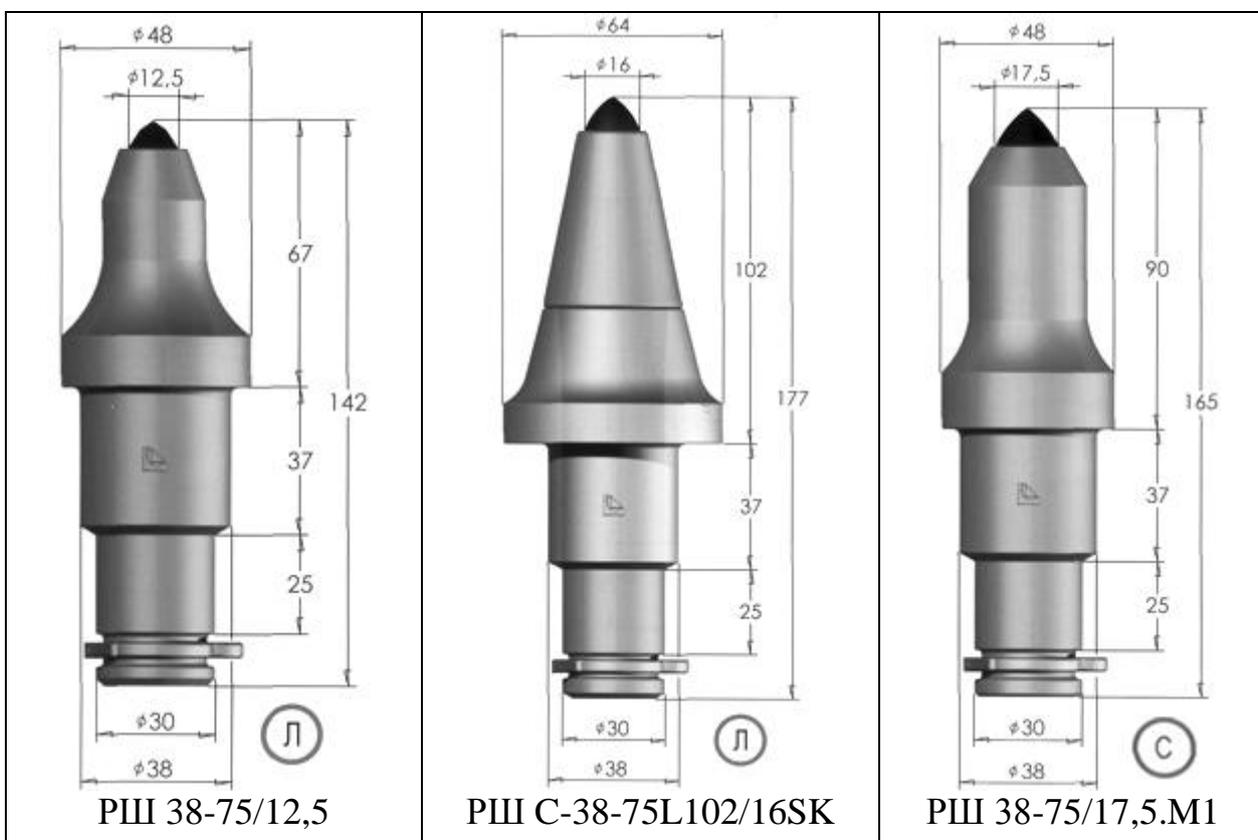
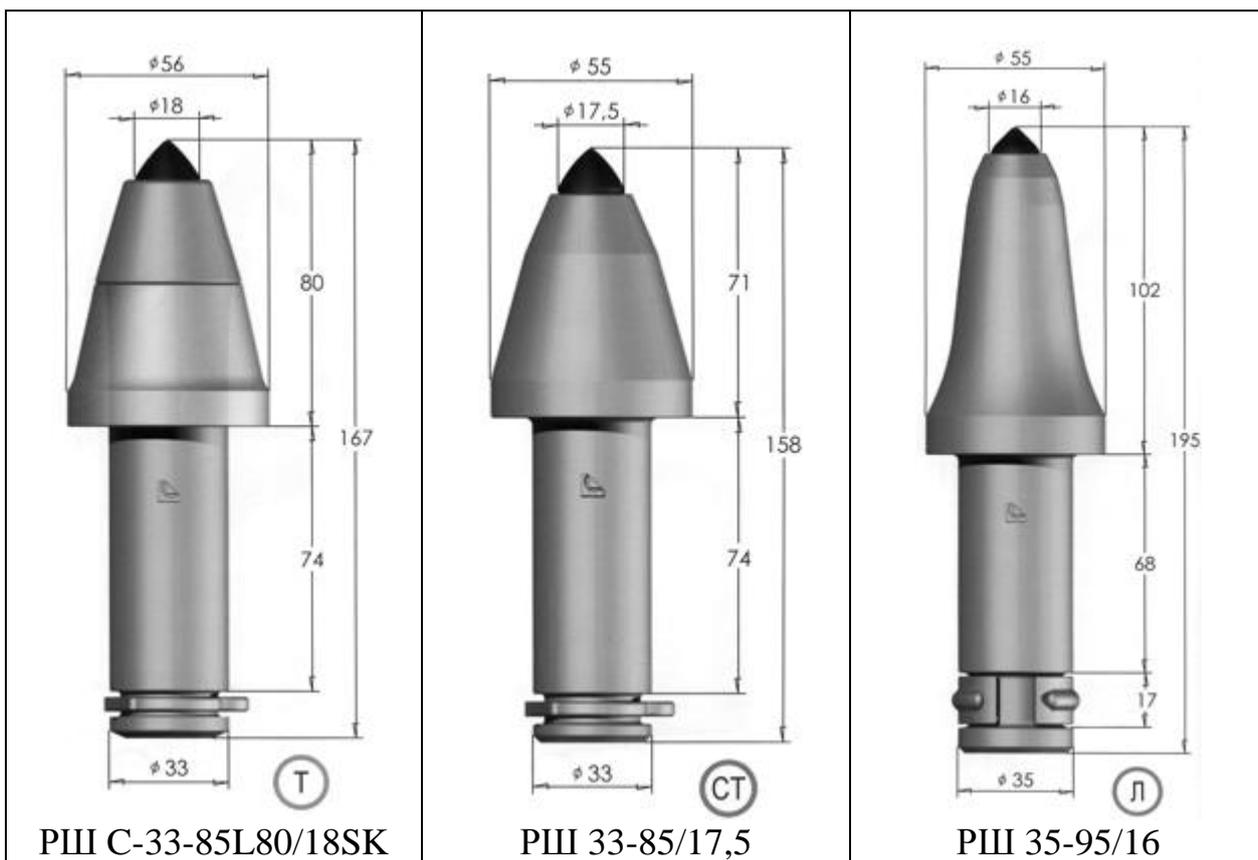


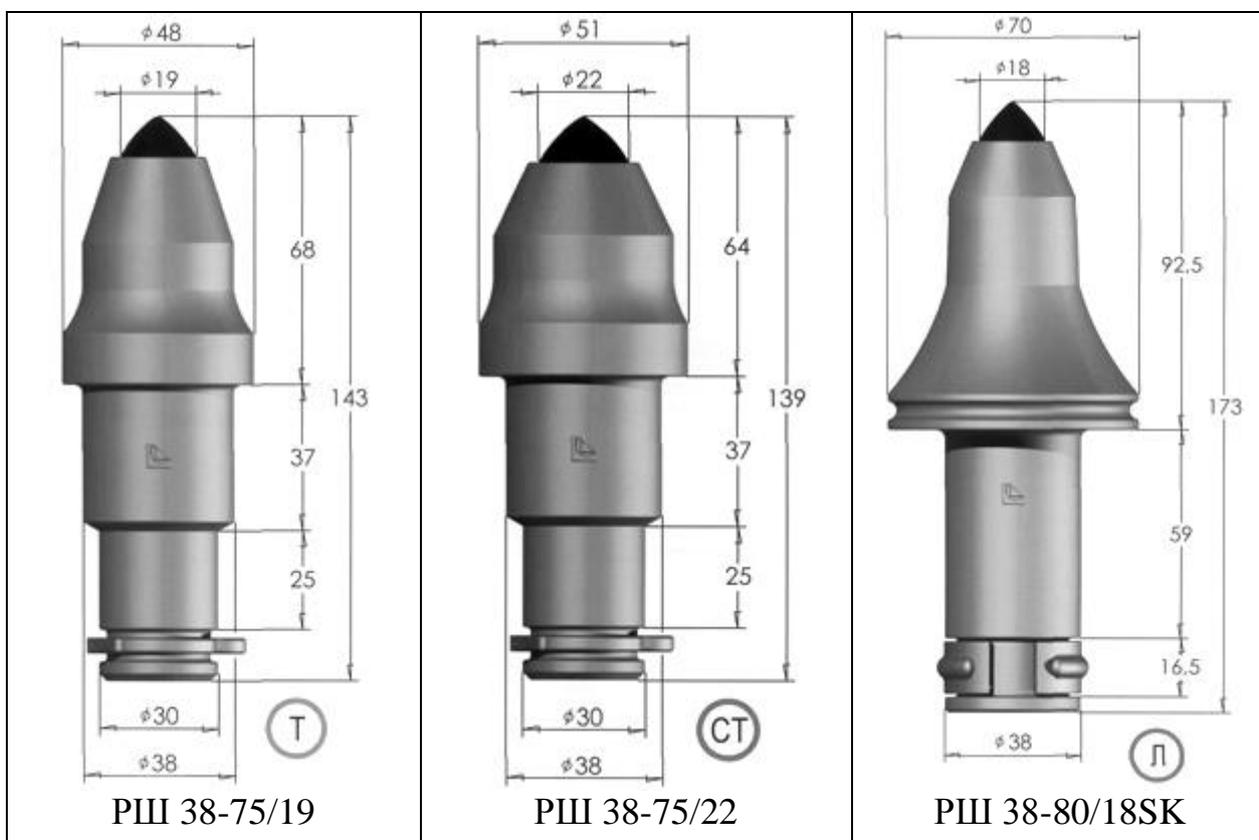
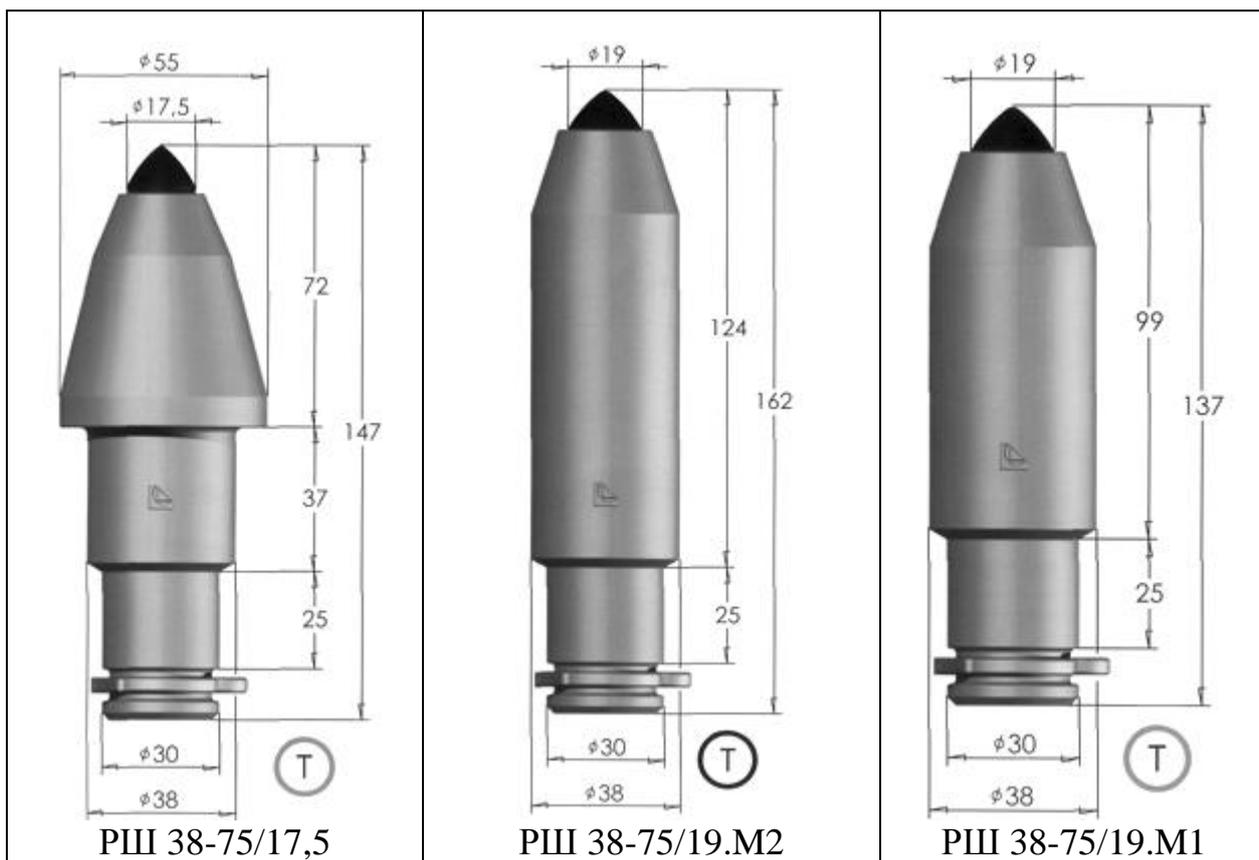


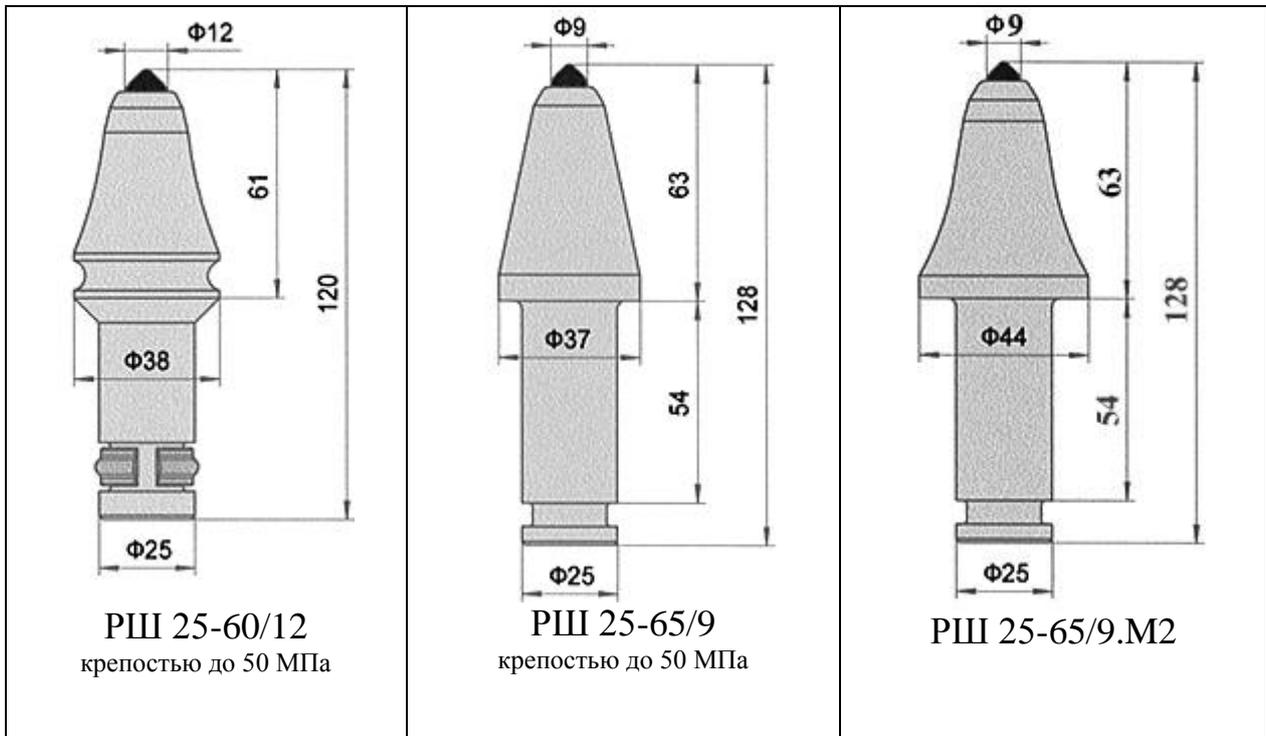
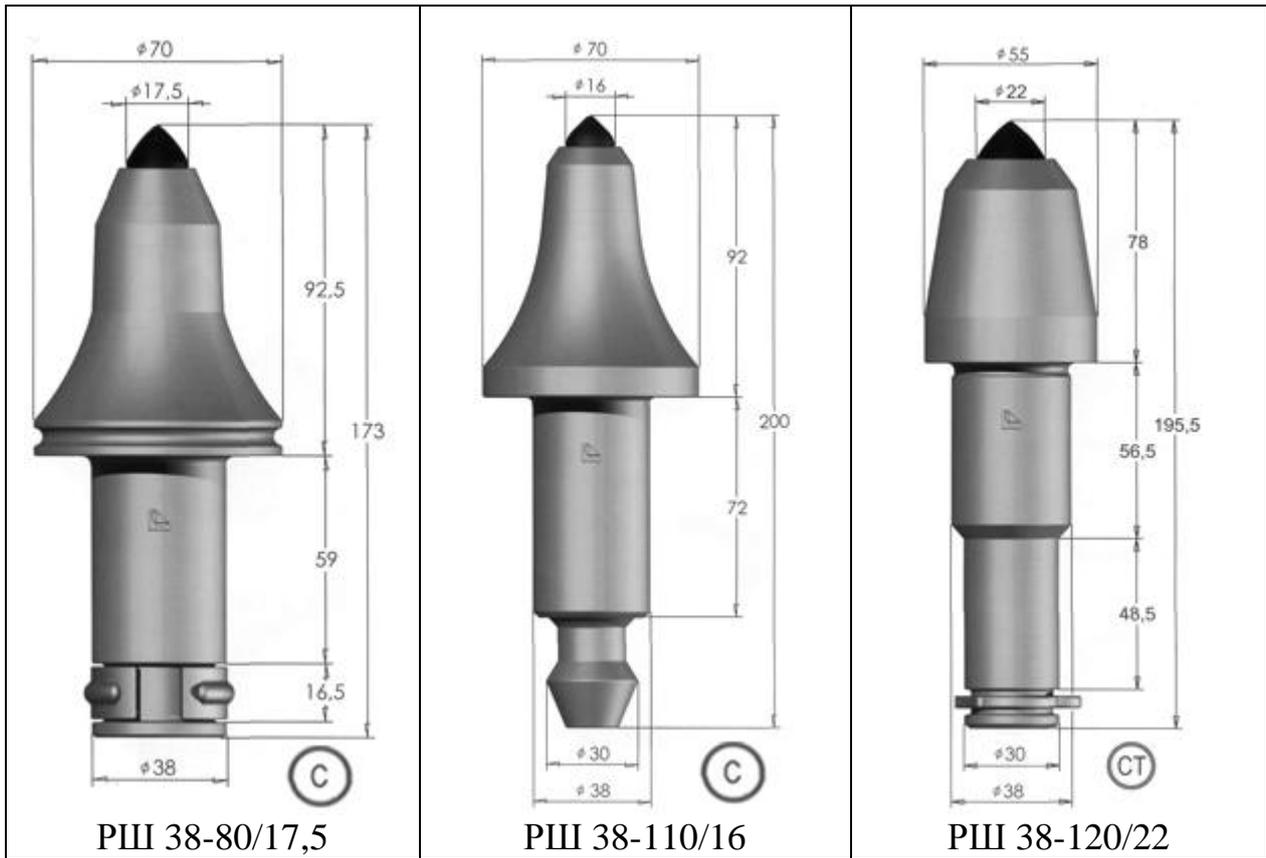


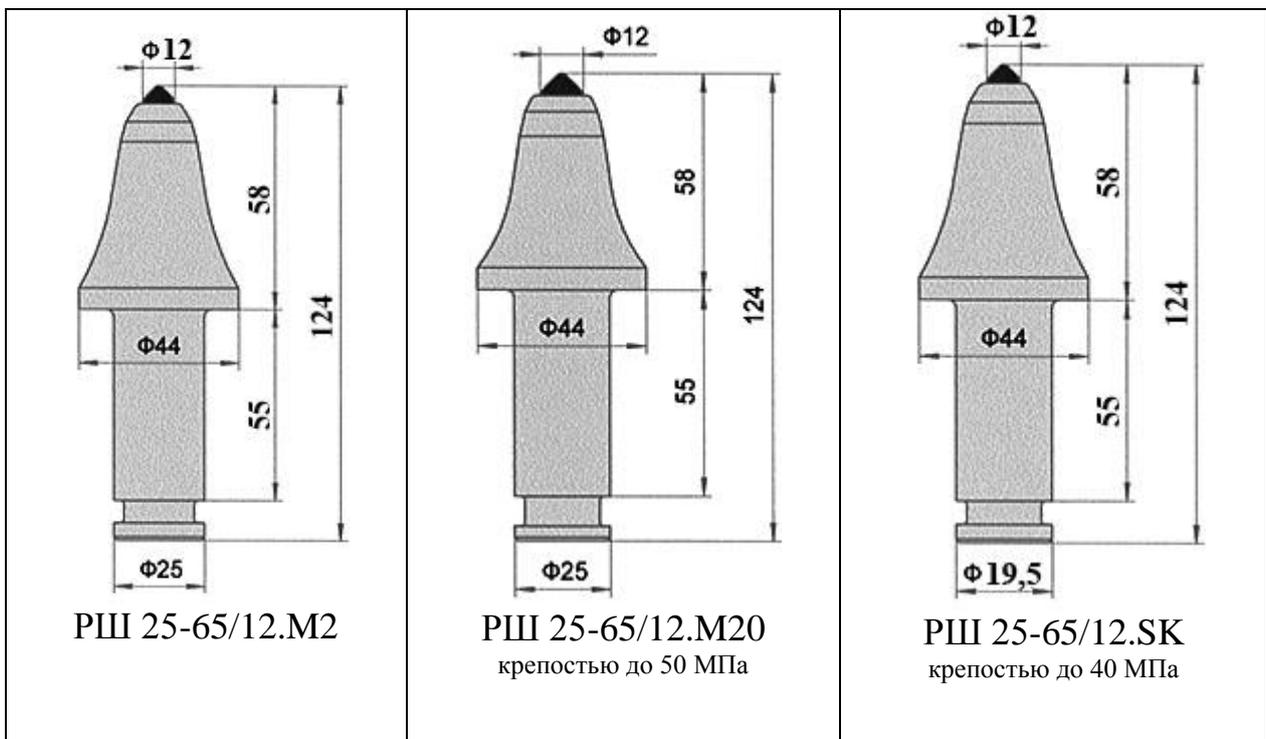
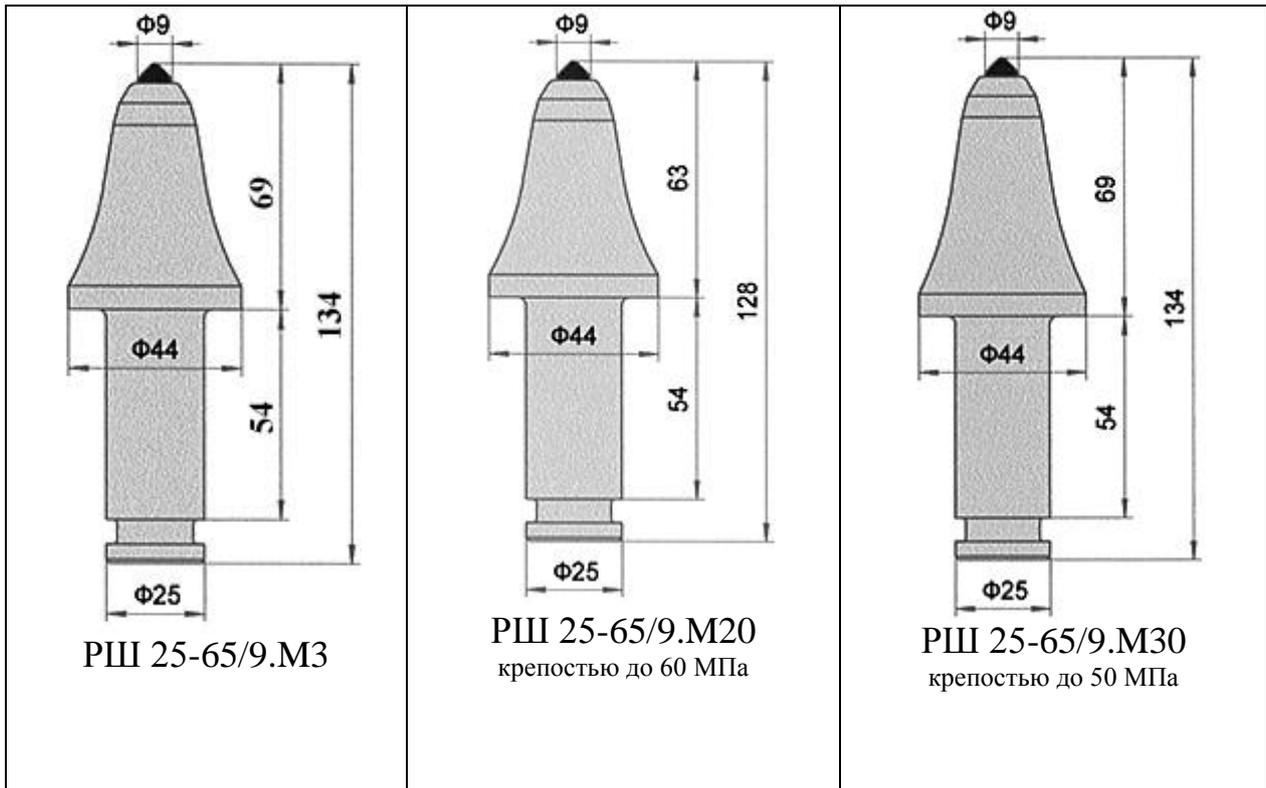


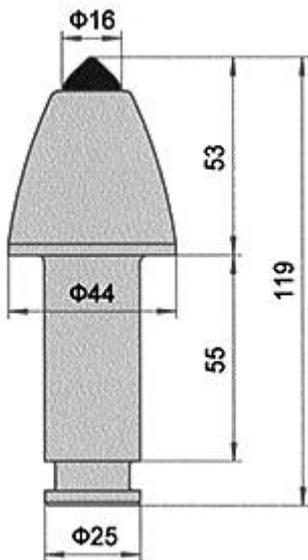




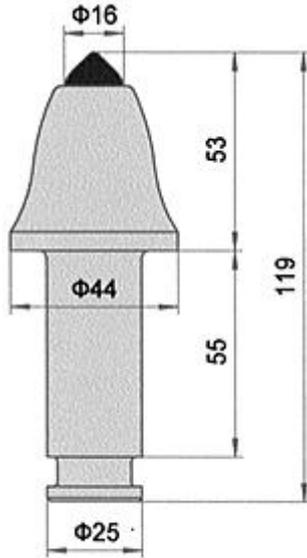




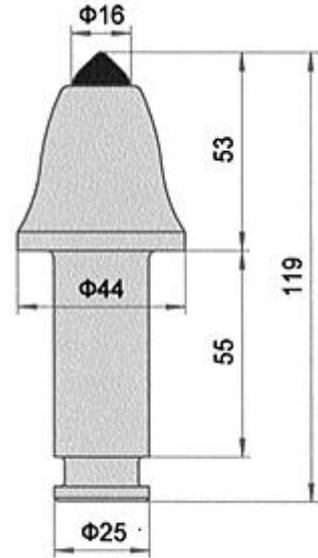




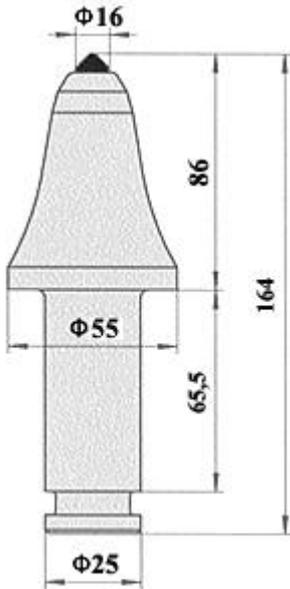
РШ 25-65/16  
крепостью до 50 МПа



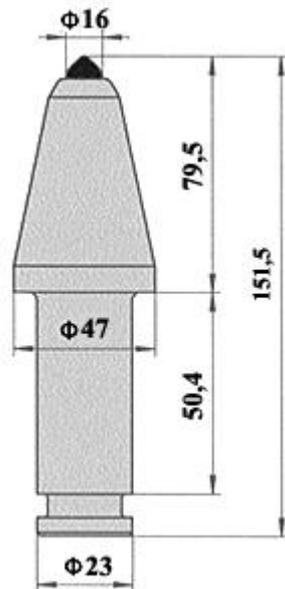
РШ 25-65/16.M2



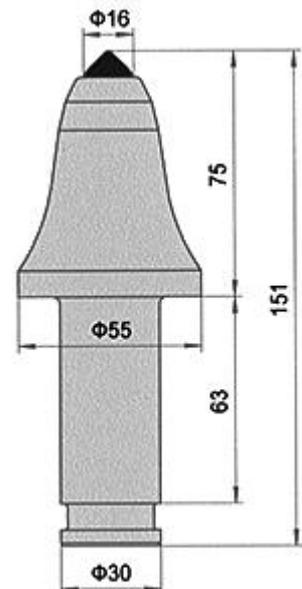
РШ 25-65/16.M20  
крепостью до 50 МПа



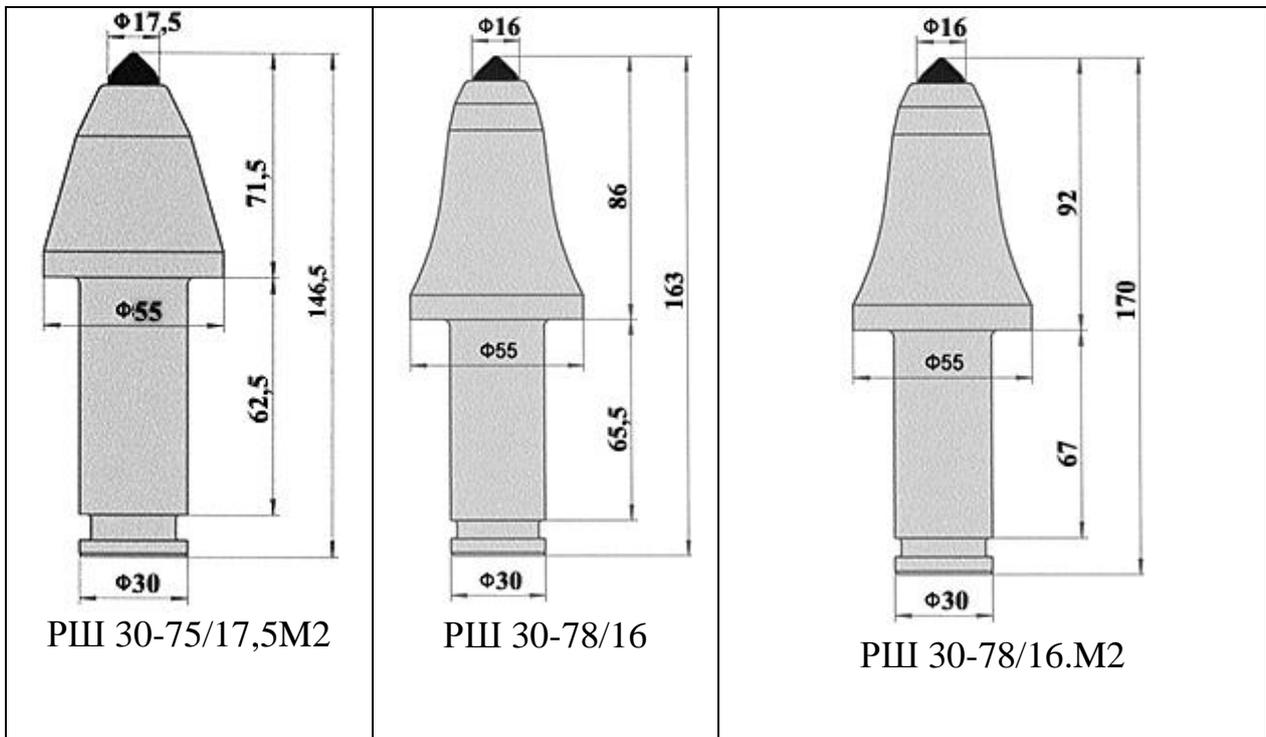
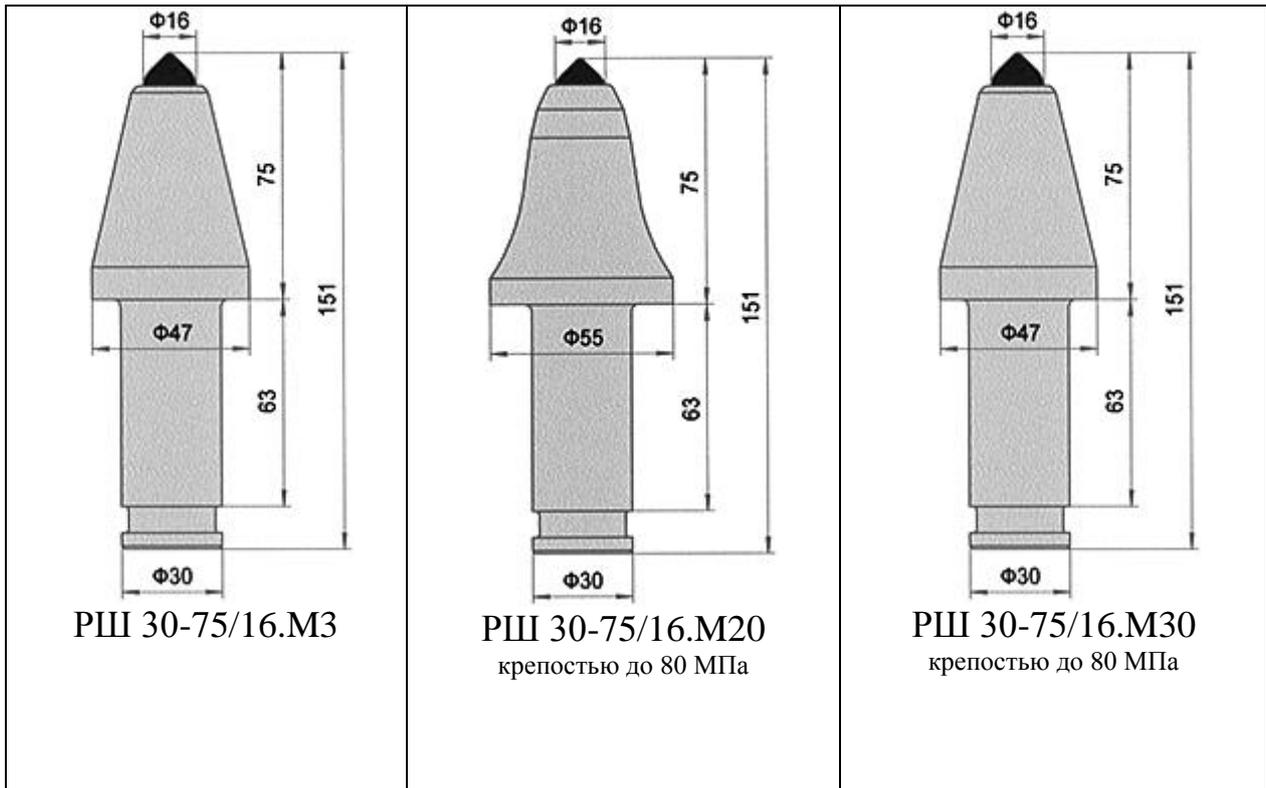
РШ 30-66/16

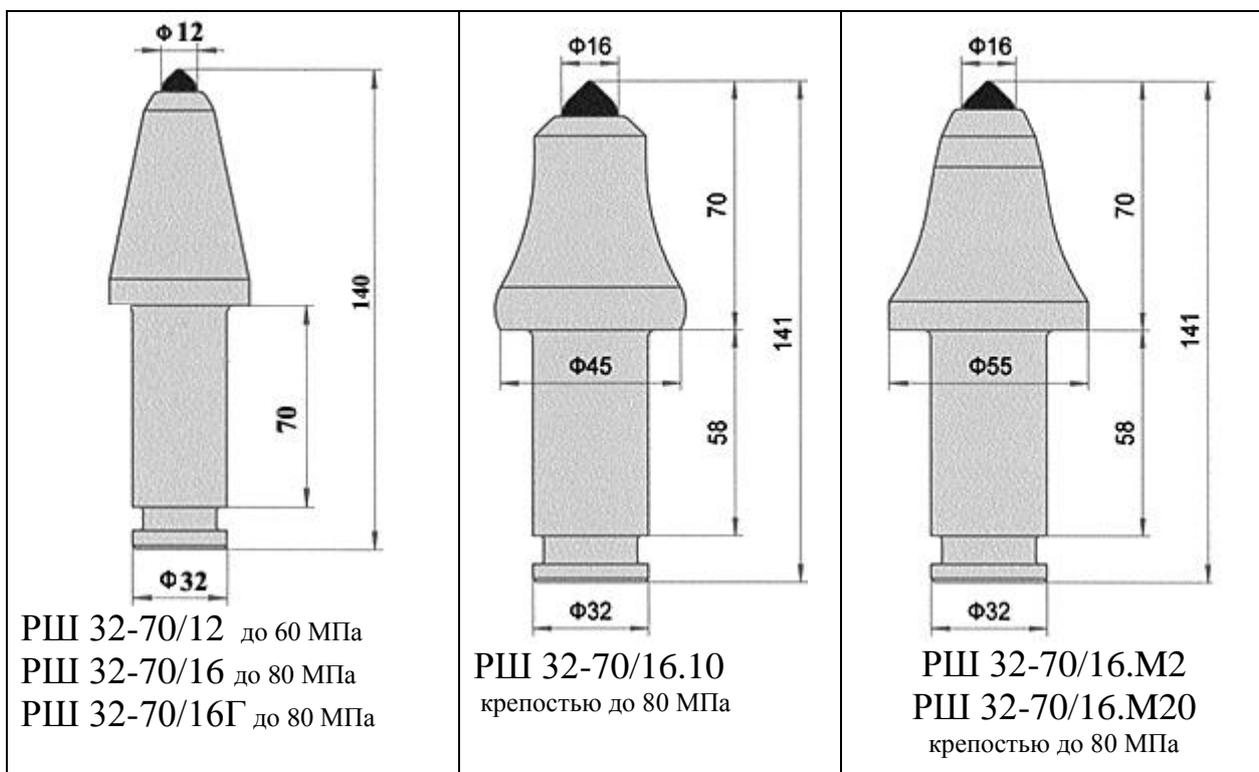
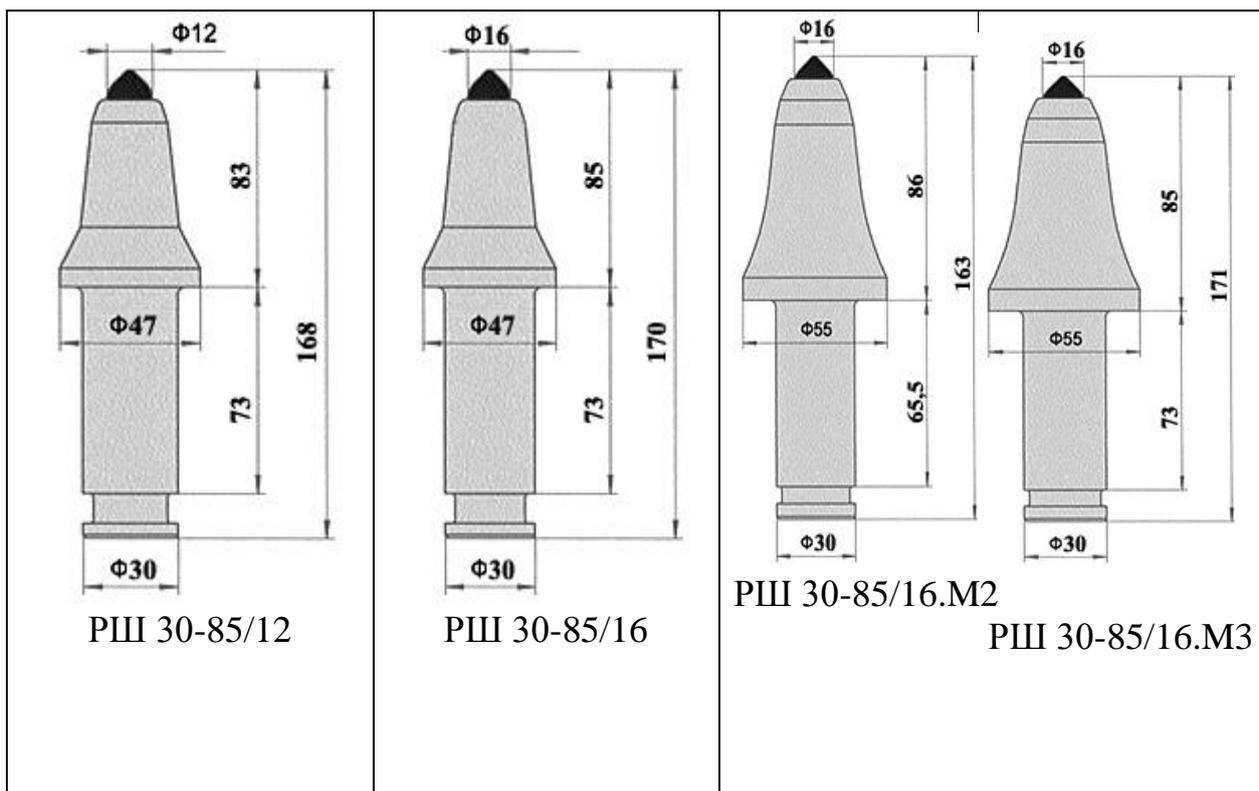


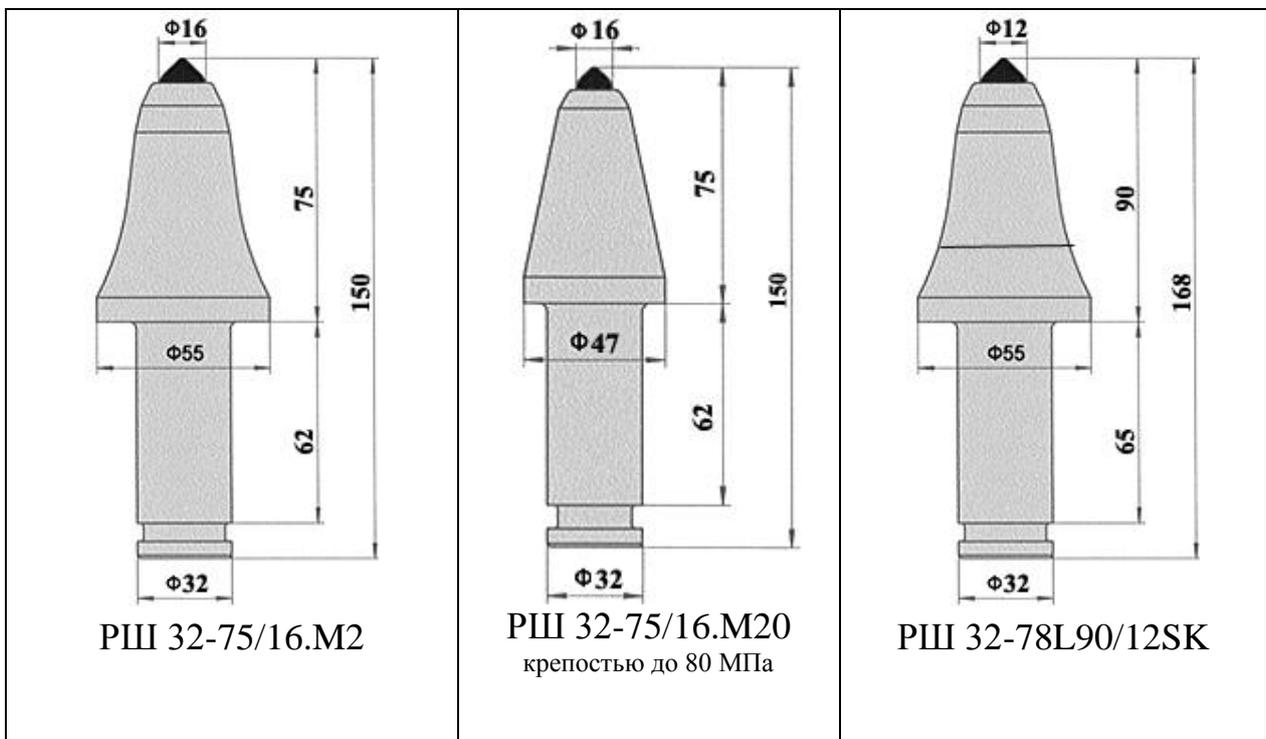
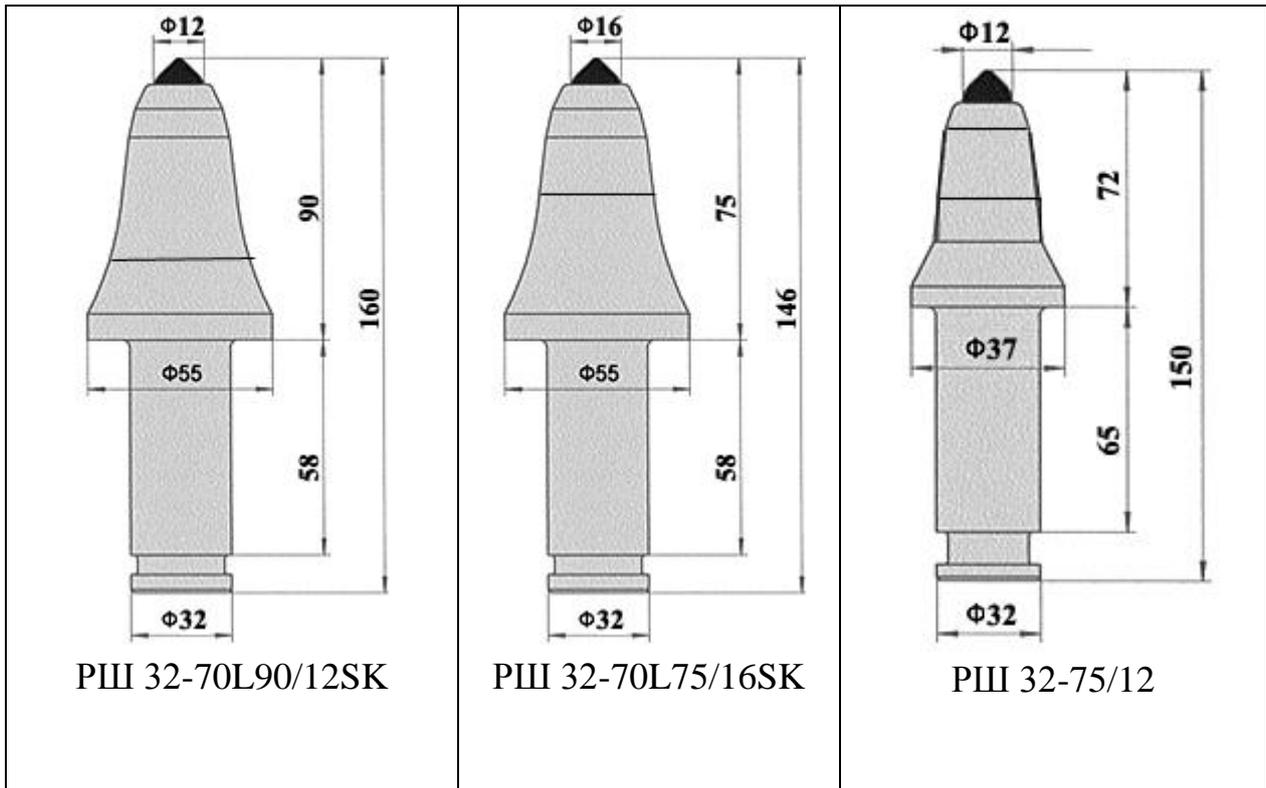
РШ 30-72/16.SK

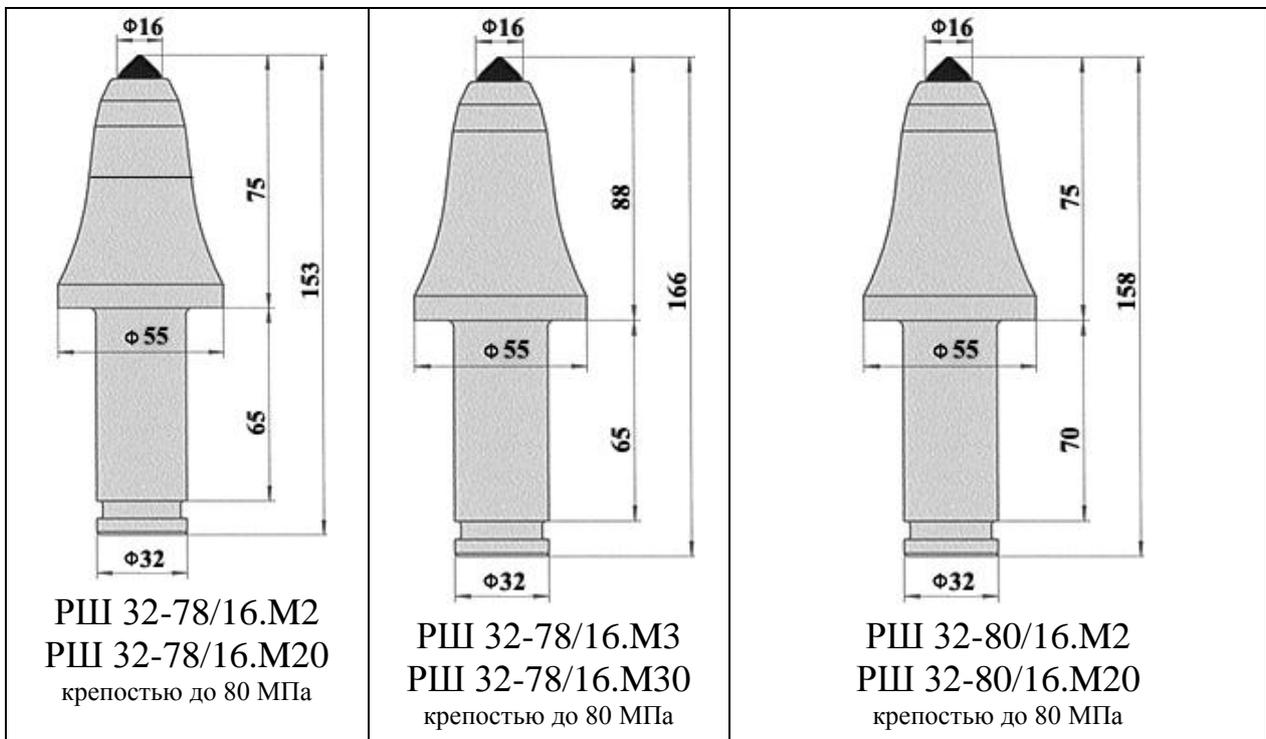
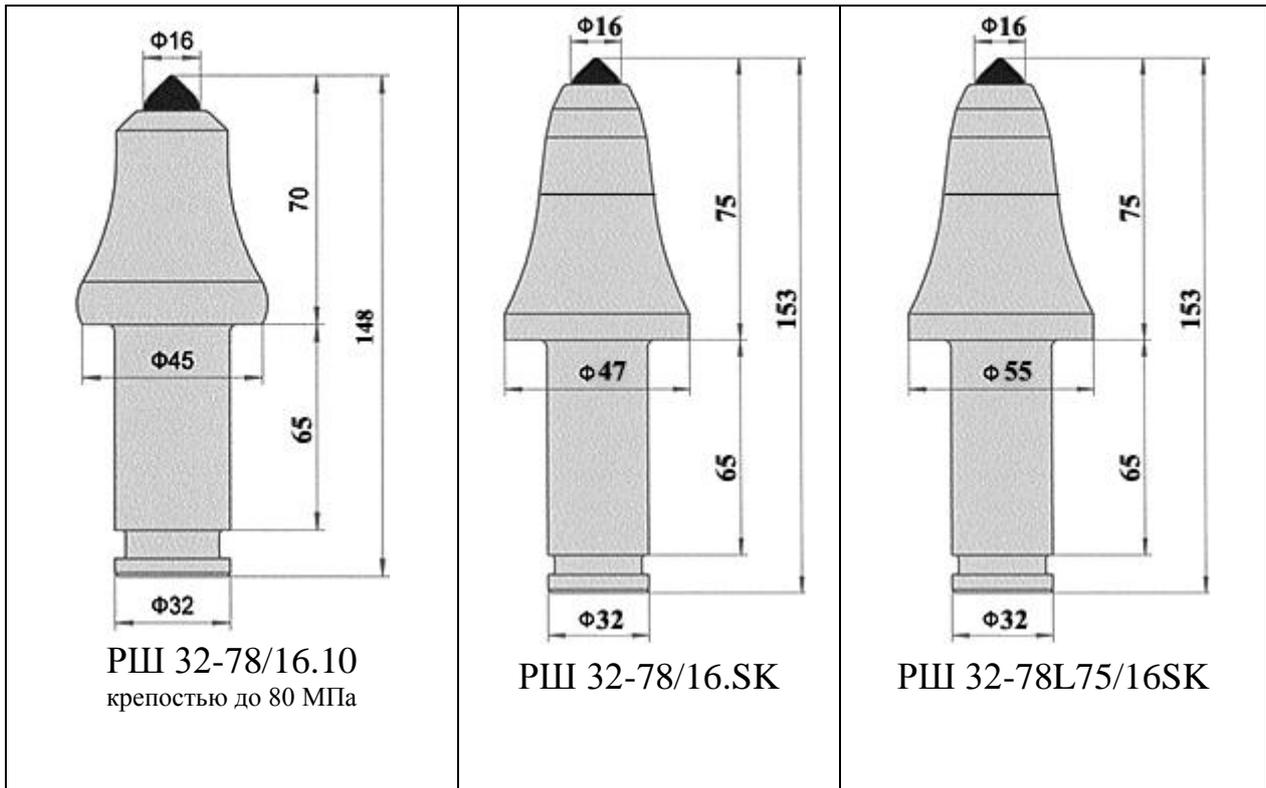


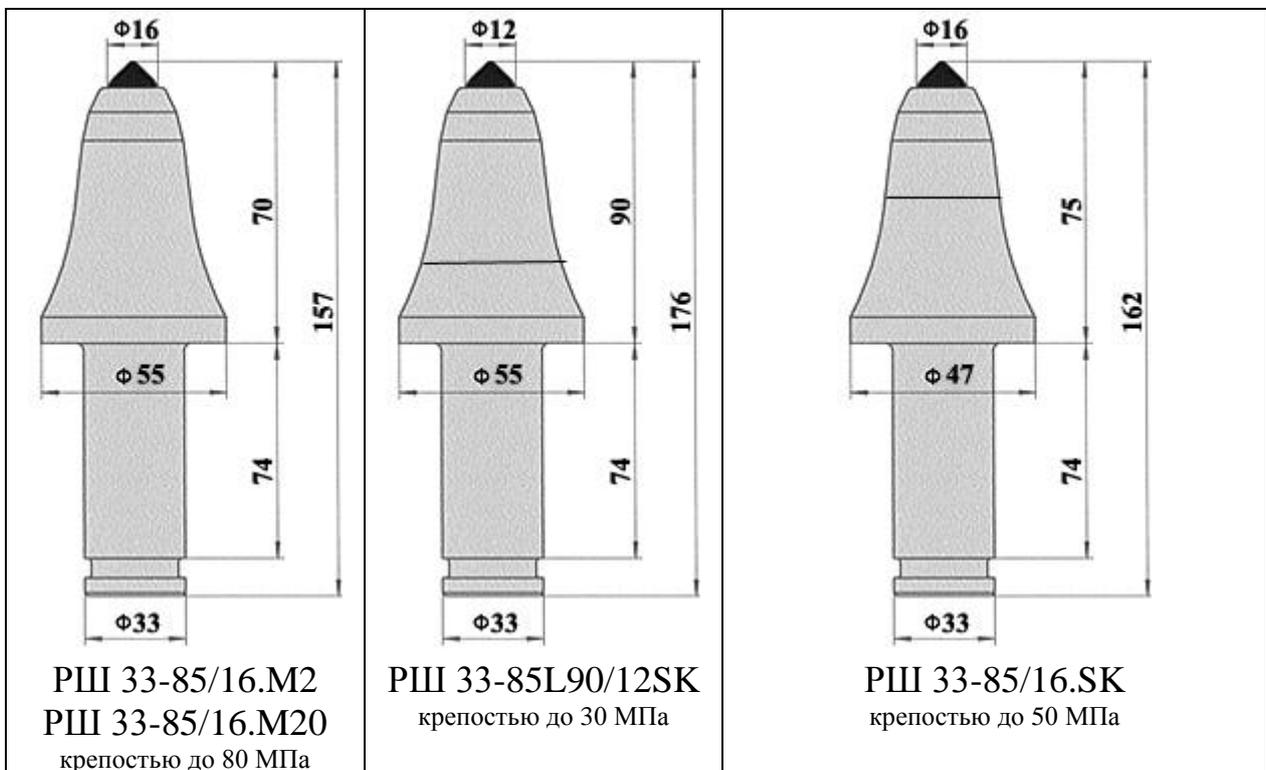
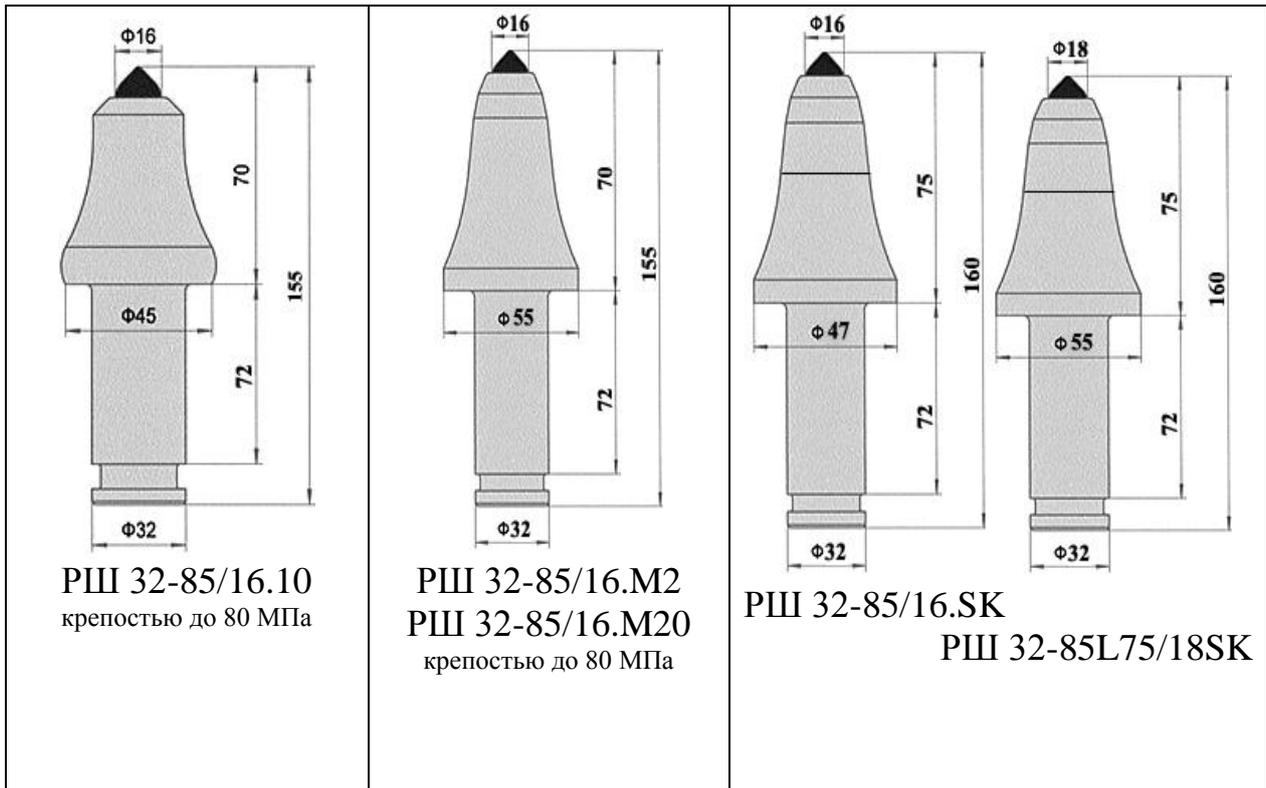
РШ 30-75/16.M2

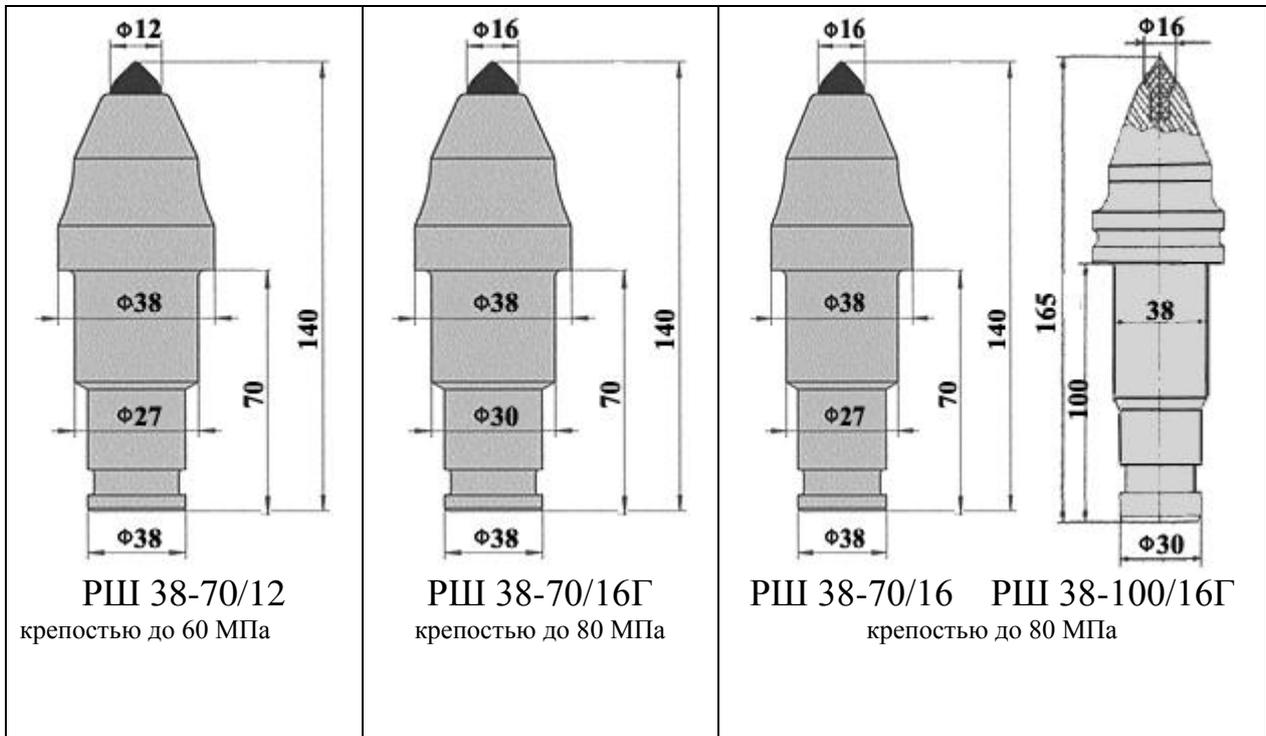
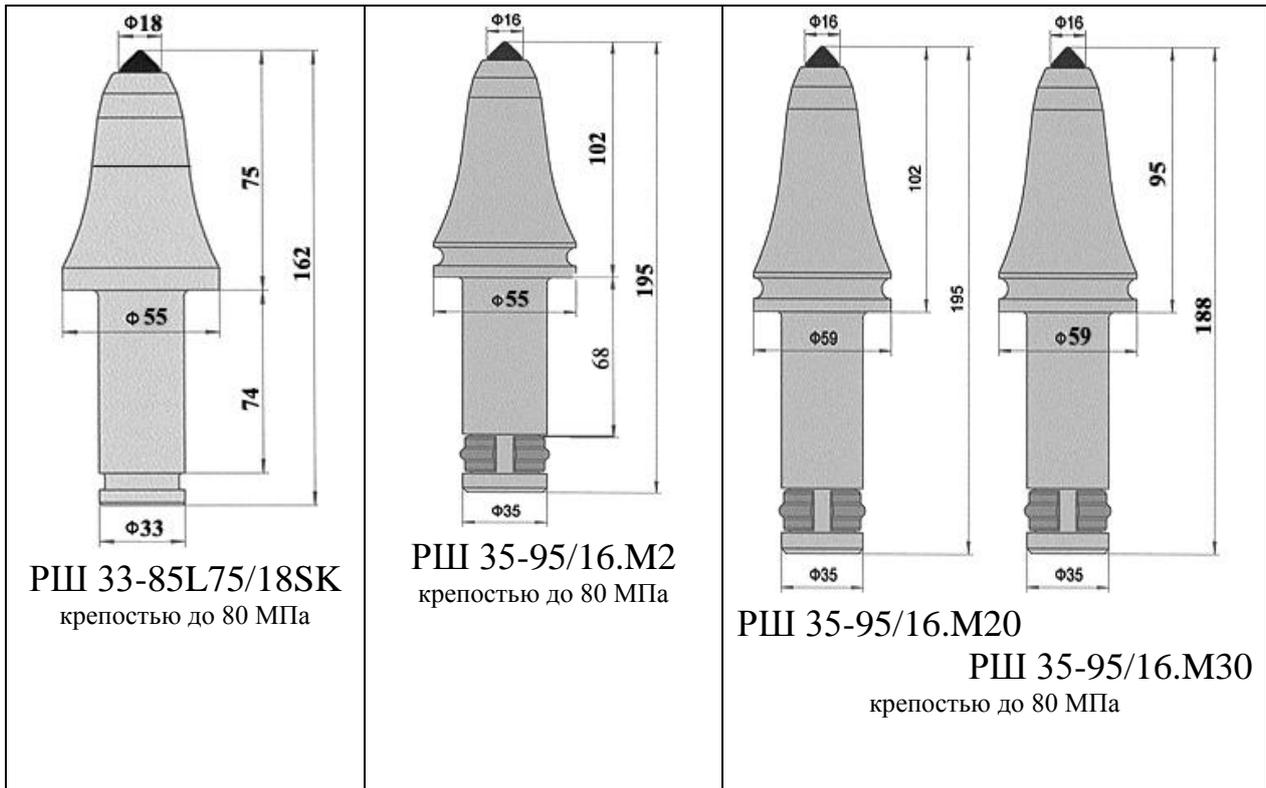


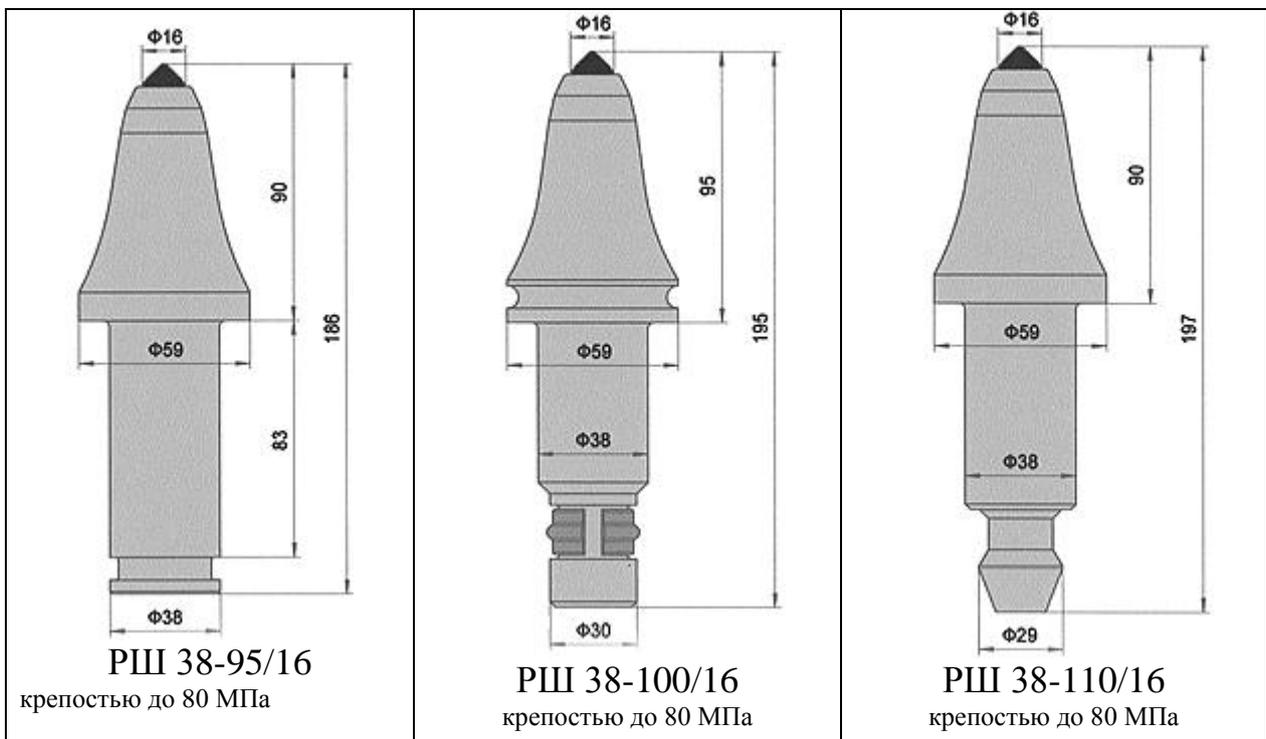
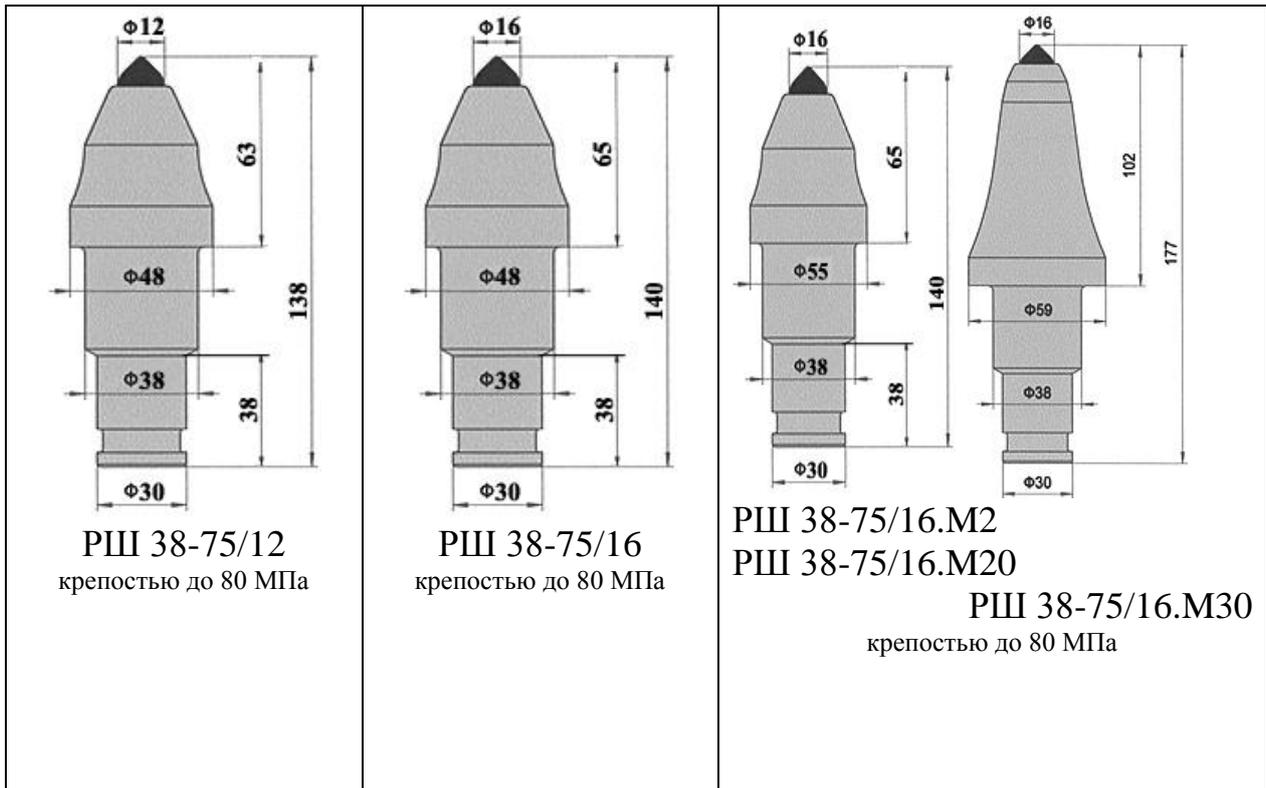


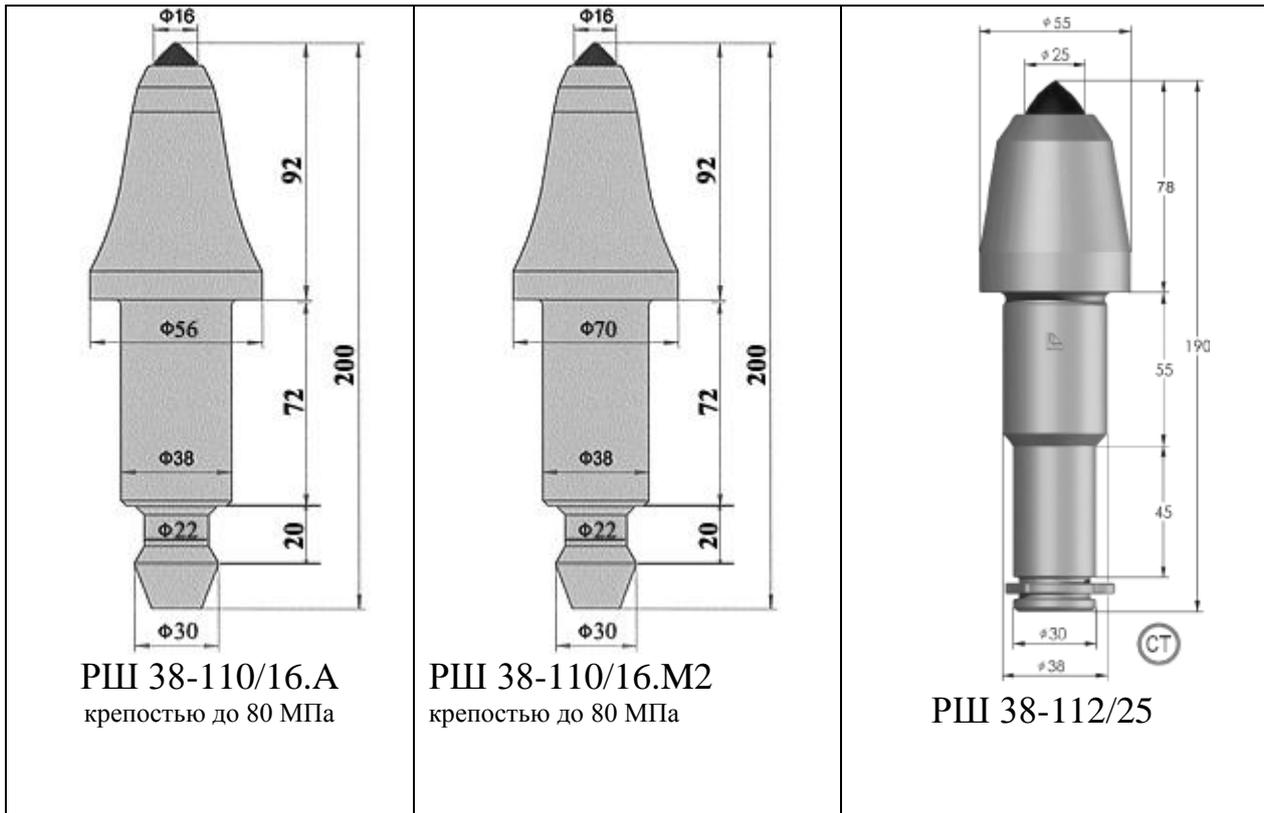






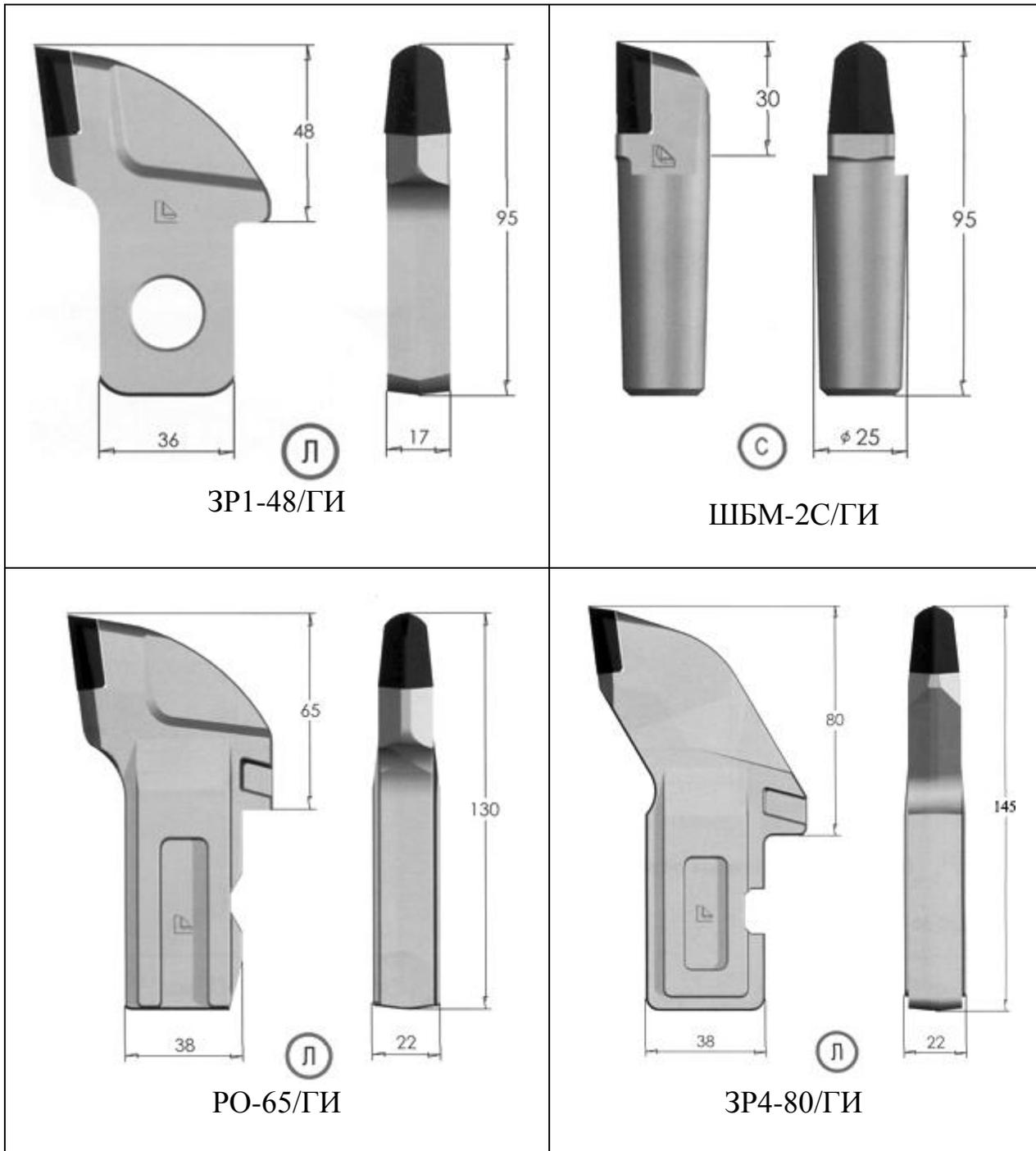


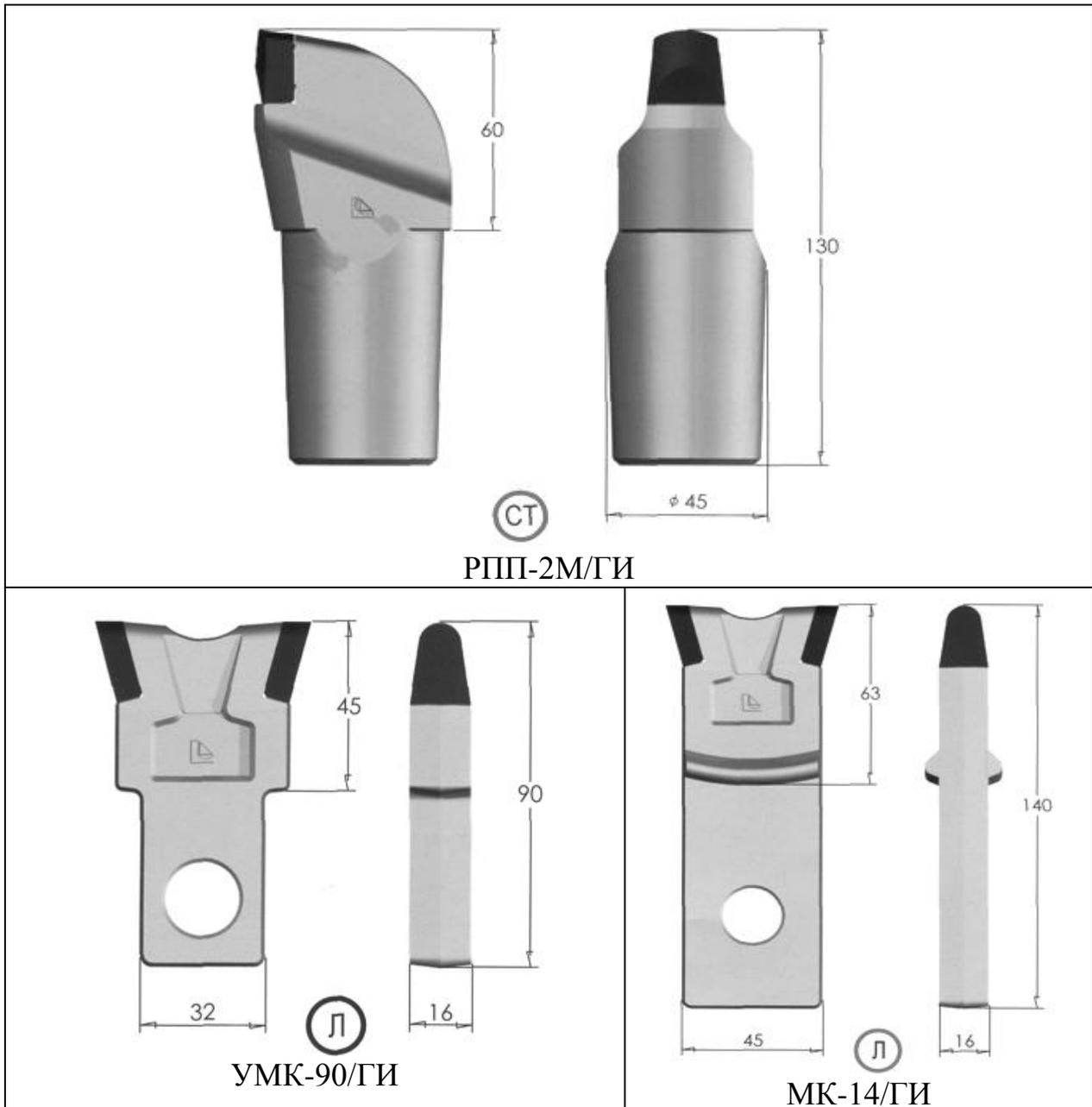




## 1.2. Радиальные резцы

(вылет резцов от 30 до 80 мм; условия работы: легкие  $f = 0,8-2$ , средние  $f = 2-5$ , тяжелые  $f = 5-8$ , сверхтяжелые  $f = 7-10$ , см. табл. 7.3)





### 1.3. Буровые резцы

(диаметр резцов 25, 27, 28, 30, 76, 100, 130 мм; условия работы: легкие  $f = 1-2$ , средние  $f = 3-7$ , тяжелые  $f = 6-12$ , сверхтяжелые  $f = 11-13$ ).

Для правильного подбора резцов, в зависимости от горно-геологических условий и типа оборудования, целесообразно пользоваться данными, приведенными ниже в таблице.

Примечание к этой таблице:

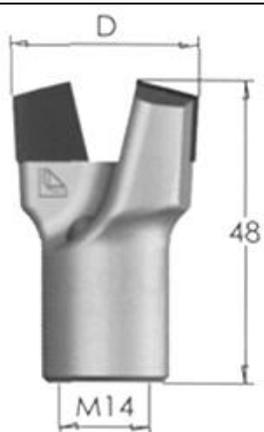
- \* - Предпочтительная конструкция резца для данных условий.
- \*\* - Резец типа “Д” имеет геометрию резца “ПР”, но на режущих кромках выполнены упрочняющие фаски.
- \*\*\* - Эффективен для бурения трещиноватых горных пород.

### ООО «Горный инструмент»

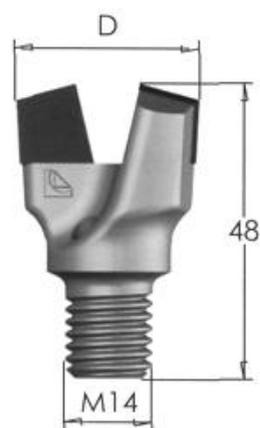
Условия работы		Легкие		Средние				Тяжелые						Сверхтяжелые						
Вид горных пород (ГП)		Уголь <i>f</i> = 1–2		Аргиллит, алевролит <i>f</i> = 3–7				Песчаник <i>f</i> = 6–12						Конгломерат <i>f</i> = 11–13						
Коэффициент крепости ГП		1	2	3	4	5	6	7	6	7	8	9	10	11	12	11	12	13		
Диаметр резца, мм	Тип буровой установки	Рекомендуемый инструмент (зависит от горно-геологических условий и оборудования)																		
		25	Пневматические типа Rambor, Wombat и др.			3	4	5		6		7	6	7	8	9	10	11	12	11
 <b>RP A-25</b>						 <b>RP П-25/14</b>														
27, 28	Электрические типа ЭРП-18Д, Turmag и др.	1	2	3	4	5		6		7	6	7	8							
		 <b>RP 27Б</b>		 <b>RP A-27* RP 27M</b>				 <b>RP П-28* RP 28ПР</b>												
	Пневматические типа Rambor, Wombat и др.	1	2	3	4	5		6		7	6									
		 <b>RP 27Б</b>		 <b>RP A-27* RP 27M RP 27Д**</b>				 <b>RP П-28/14* RP 28/14ПР</b>												
				3	4	5		6		7	6	7	8	9	10	11	12	11	12	13
 <b>RP A-27-3/14***</b>																				

**ООО «Горный инструмент»**

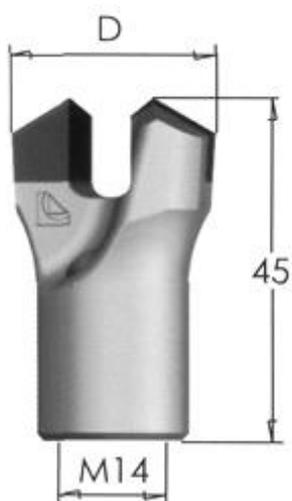
Условия работы		Легкие			Средние				Тяжелые				Сверхтяжелые						
Вид горных пород (ГП)		Уголь <i>f</i> = 1–2			Аргиллит, алевролит <i>f</i> = 3–7				Песчаник <i>f</i> = 6–12				Конгломерат <i>f</i> = 11–13						
Коэффициент крепости ГП		1	2	3	4	5		6	7	6	7	8	9	10	11	12	11	12	13
Диаметр резца, мм	Тип буровой установки	Рекомендуемый инструмент (зависит от горно-геологических условий и оборудования)																	
		1	2	3	4	5		6	7	6	7	8	9	10	11	12	11	12	13
27, 28	Навесное бурильное оборудование комбайнов (Joy, АВМ)																		
		<b>РП 27/14Б</b>		<b>РП А-2714*</b>		<b>РП А-2714**</b>		<b>РП П-28/14*</b>		<b>РП 28/14ПР</b>									
		Возможно изготовление резцов с наружной резьбой М16																	
			3	4	5		6	7	6										
																			
			<b>РП А-27-3/14***</b>																
30	Электрические типа ЭРП-18Д, Turmag и др.	1	2	3	4	5	6	7	6	7	8								
																			
	<b>РП 30Б</b>		<b>РП П-30*</b>		<b>РП 30М</b>		<b>РП 30ПР</b>												
	Пневматические Типа Rambor, Wombat и др.	1	2	3	4	5	6	7	6	7	8	9	10	11	12	11	12	13	
																			
		<b>РП 30Б</b>		<b>РП П-30*</b>		<b>РП 30М</b>		<b>РП 30Д**</b>											



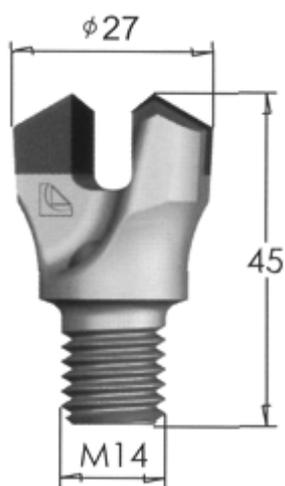
Исполнение	D, мм
<b>РП-30Б</b>	30
<b>РП-27Б</b>	27



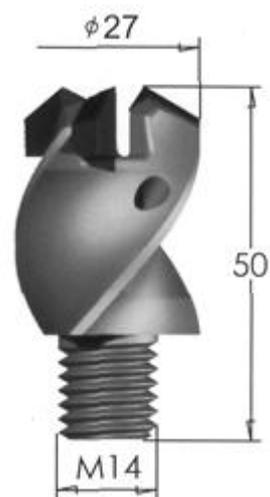
Исполнение	D, мм
<b>РП-30/14Б</b>	30
<b>РП-27/14Б</b>	27



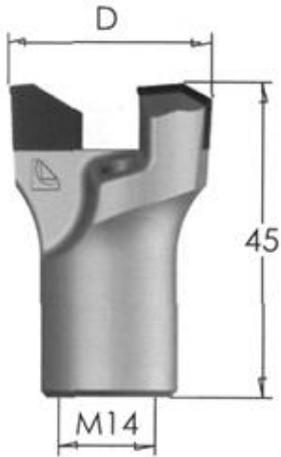
Исполнение	D, мм
<b>РП А-27</b>	27
<b>РП А-25</b>	25



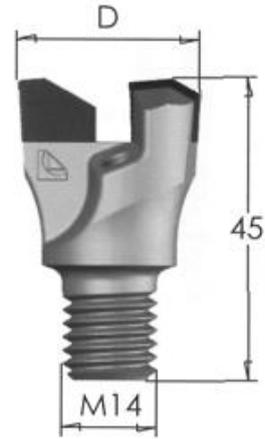
**РП А-27/14**



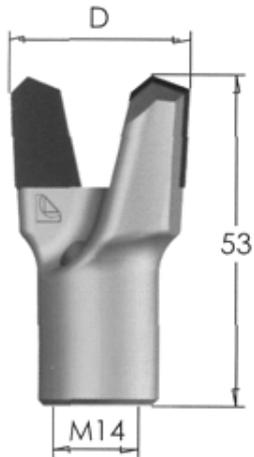
Исполнение	D, мм
<b>РП А-27-3/14</b>	27
Три лезвия	



Исполнение	D, мм
<b>РП П-30</b>	30
<b>РП П-28</b>	28



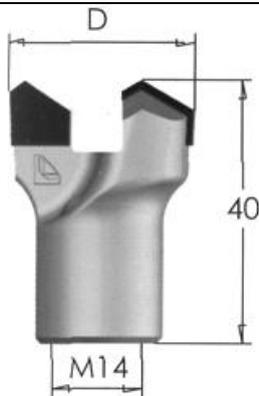
Исполнение	D, мм
<b>РП П-28/14</b>	28
<b>РП П-25/14</b>	25



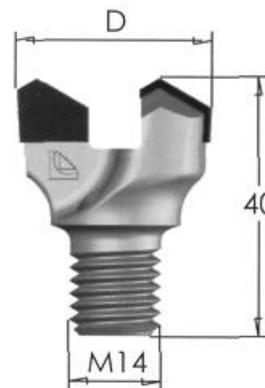
Исполнение	D, мм
<b>РП -30М</b>	30
<b>РП -27М</b>	27



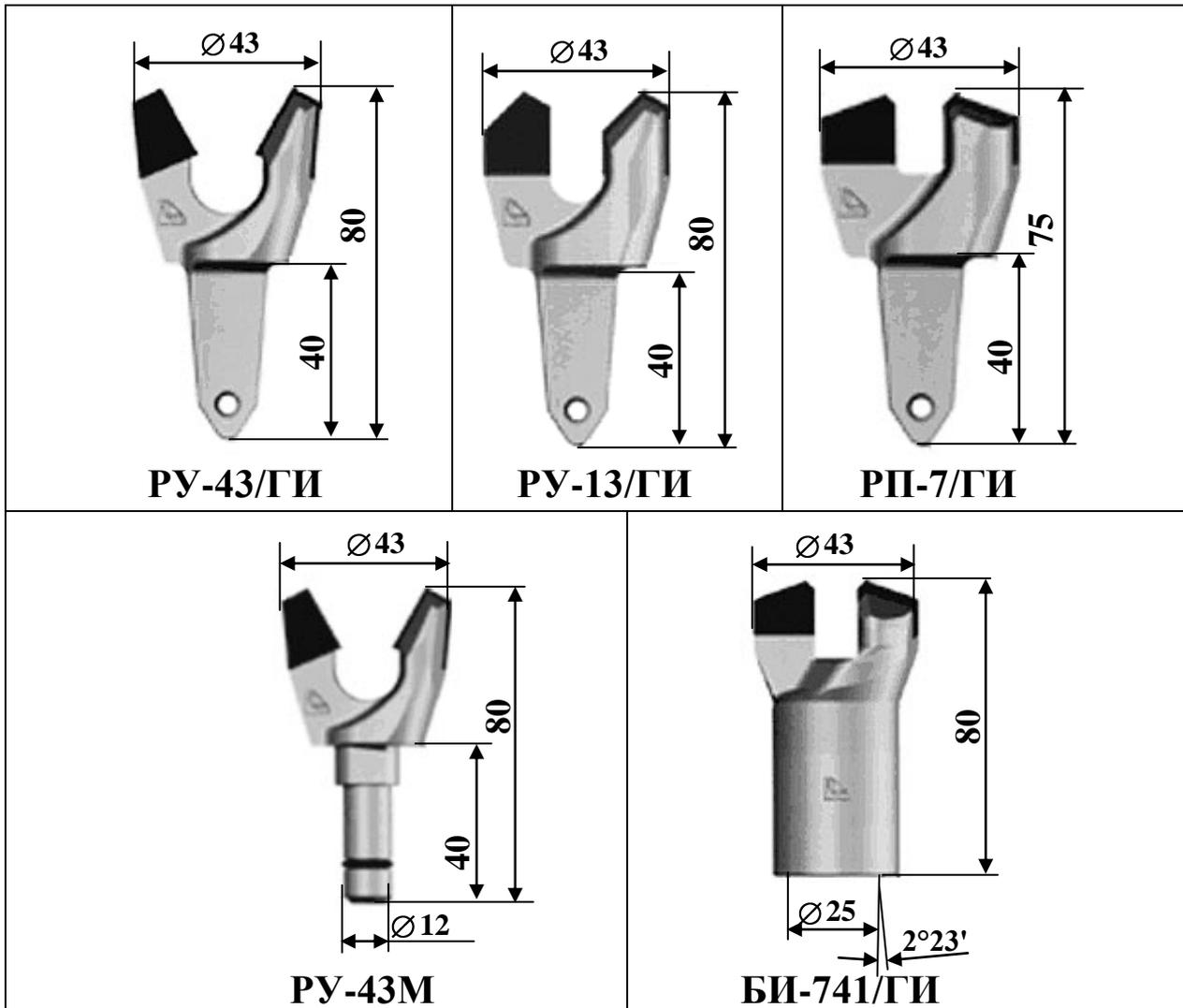
Исполнение	D, мм
<b>РП -30/14М</b>	30
<b>РП -27/14М</b>	27



Исполнение	D, мм
<b>РП-30 ПР</b>	30
<b>РП-28 ПР</b>	28
<b>РП-27 ПР</b>	27



Исполнение	D, мм
<b>РП-30/14 ПР</b>	30
<b>РП-28/14 ПР</b>	28
<b>РП-27/14 ПР</b>	27



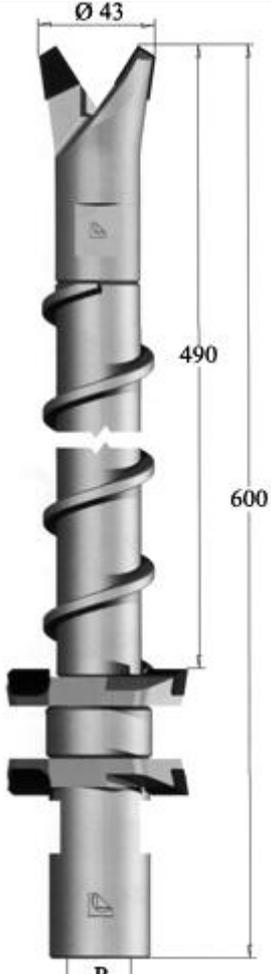
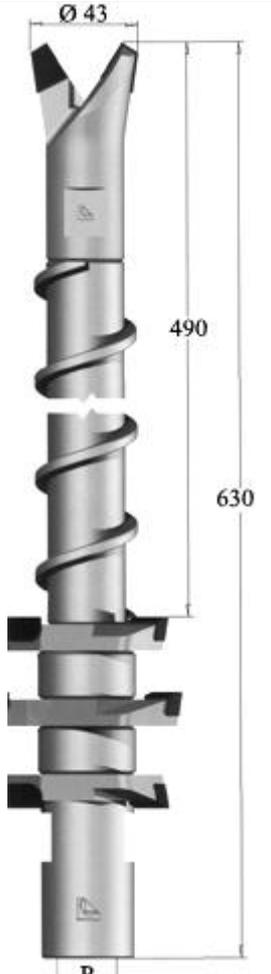
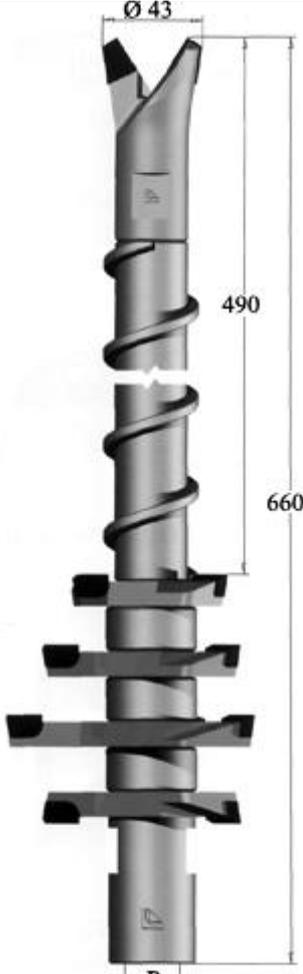
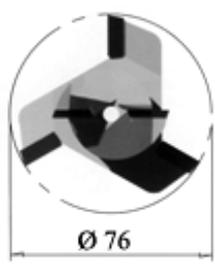
**Коронки КДС** ООО «Горный инструмент» предназначены для бурения скважин диаметрами 76, 100 и 130 мм, по углу с присечкой породы крепостью до  $f = 5$  по шкале проф. М. М. Протоdjeяконова в пластах, склонных к внезапным выбросам угля и газа.

Бурение производится с помощью буровых установок БЖ-45, ЭБГП-1М или СБУ-200.

При бурении станками БЖ-45 соединение со штангой станка обеспечивается с помощью двухзаходной трапецеидальной резьбы Tr22×10(P5).

При бурении электробуром ЭБГП-1М соединение со штангой обеспечивается с помощью специальной прямоугольной резьбы (наружный  $D = 28$  мм, внутренний  $d = 25$  мм, шаг  $t = 6$  мм).

При бурении установкой СБУ-200 соединение со штангой обеспечивается с помощью специальной прямоугольной резьбы (наружный  $D = 33$  мм, внутренний  $d = 29,5$  мм, шаг  $t = 6$  мм). По требованию заказчика возможно изготовление других видов резьб.

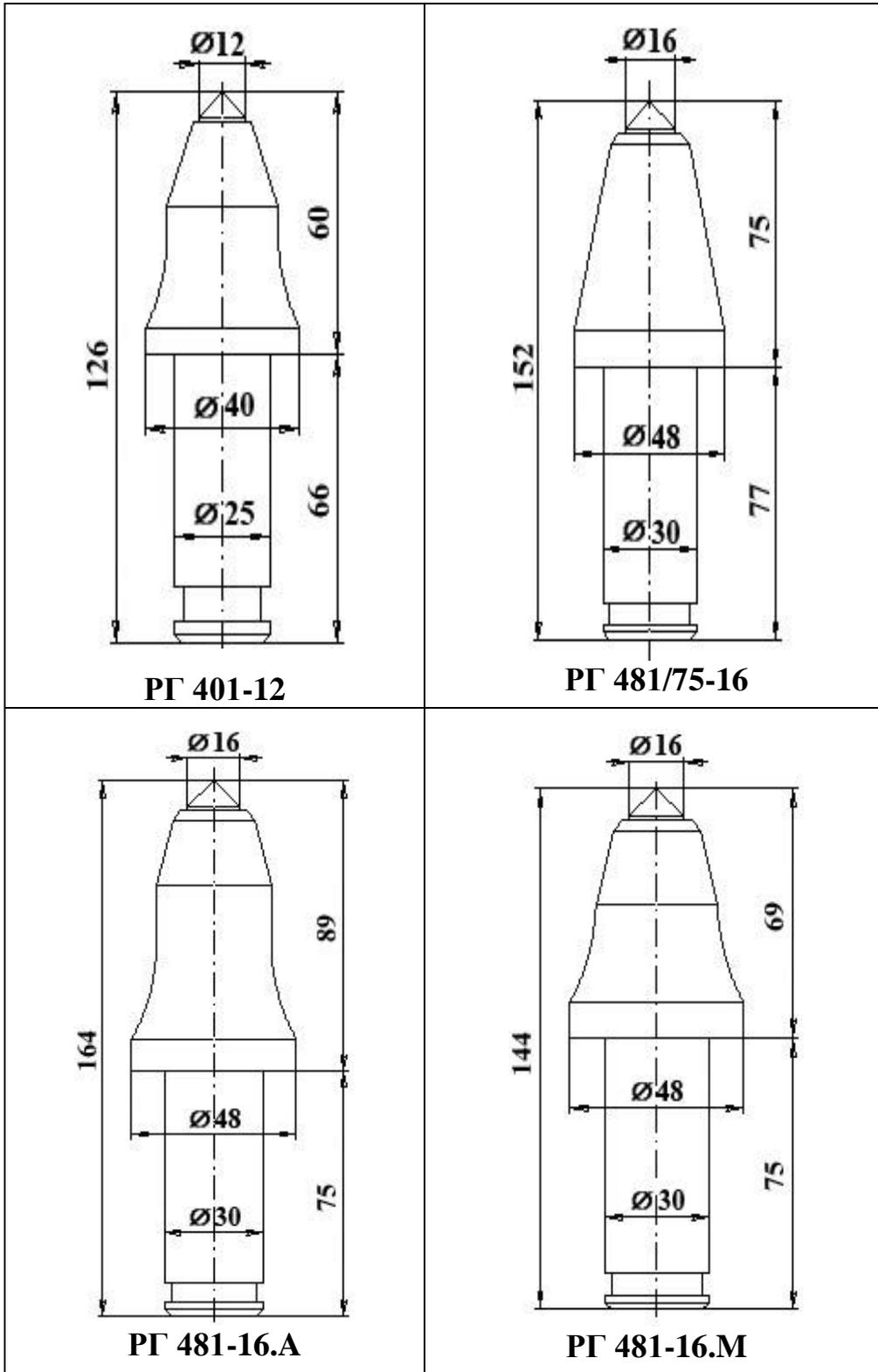
 <p style="text-align: center;"><b>КДС-76</b></p>		 <p style="text-align: center;"><b>КДС-100</b></p>		 <p style="text-align: center;"><b>КДС-130</b></p>	
 <p style="text-align: center;"><math>\varnothing 76</math></p>		 <p style="text-align: center;"><math>\varnothing 100</math></p>		 <p style="text-align: center;"><math>\varnothing 130</math></p>	
Исполнение <b>КДС-76</b>	Резьба <i>P</i>	Исполнение <b>КДС-100</b>	Резьба <i>P</i>	Исполнение <b>КДС-130</b>	Резьба <i>P</i>
КДС-76/Т22	Tr 2x10(P5)	КДС-100/Т22	Tr 2x10(P5)	КДС-130/Т22	Tr 2x10(P5)
КДС-76/П28	Прямоуг. 28	КДС-100/П28	Прямоуг. 28	КДС-130/П28	Прямоуг. 28
КДС-76/П33	Прямоуг. 33	КДС-100/П33	Прямоуг. 33	КДС-130/П33	Прямоуг. 33

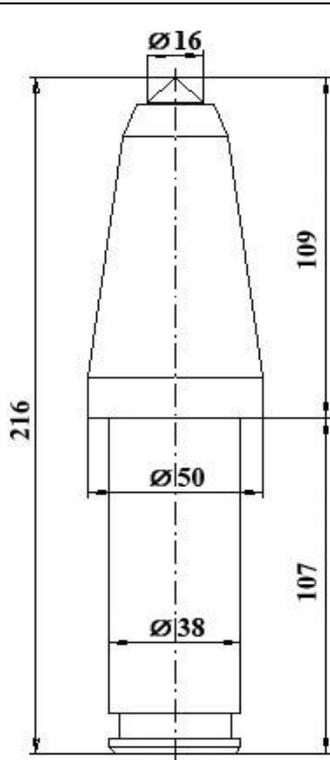
Внутренний канал на коронке и штанге обеспечивает промывку водой. Для разбуривания при обратном ходе скважины (в случае ее усадки) предусмотрен расширитель обратного хода для каждого типоразмера коронок.

## **ПРИЛОЖЕНИЕ 2**

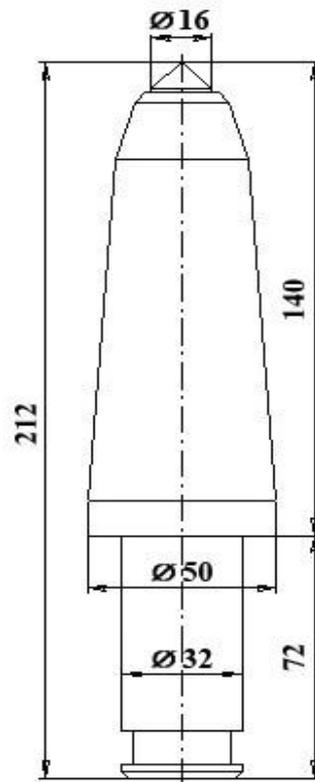
**Режущий инструмент ОАО “Завод Гидромаш”**

**2.1. Тангенциальные поворотные резцы**  
 (вылет резцов от 60 до 109 мм; диаметры хвостовиков – 25, 30, 32, 38 мм)

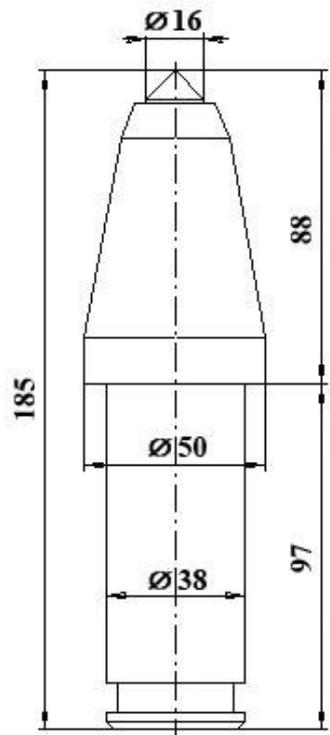




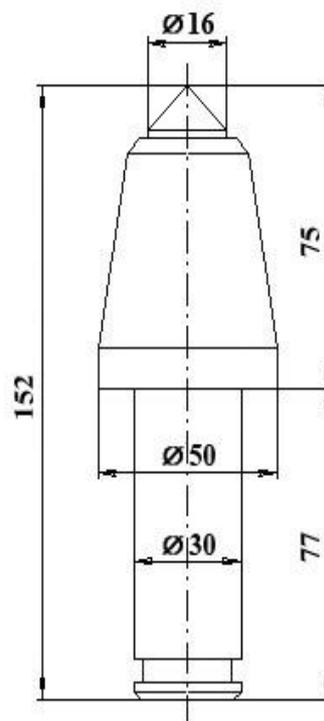
**ПГ 501/109-16**



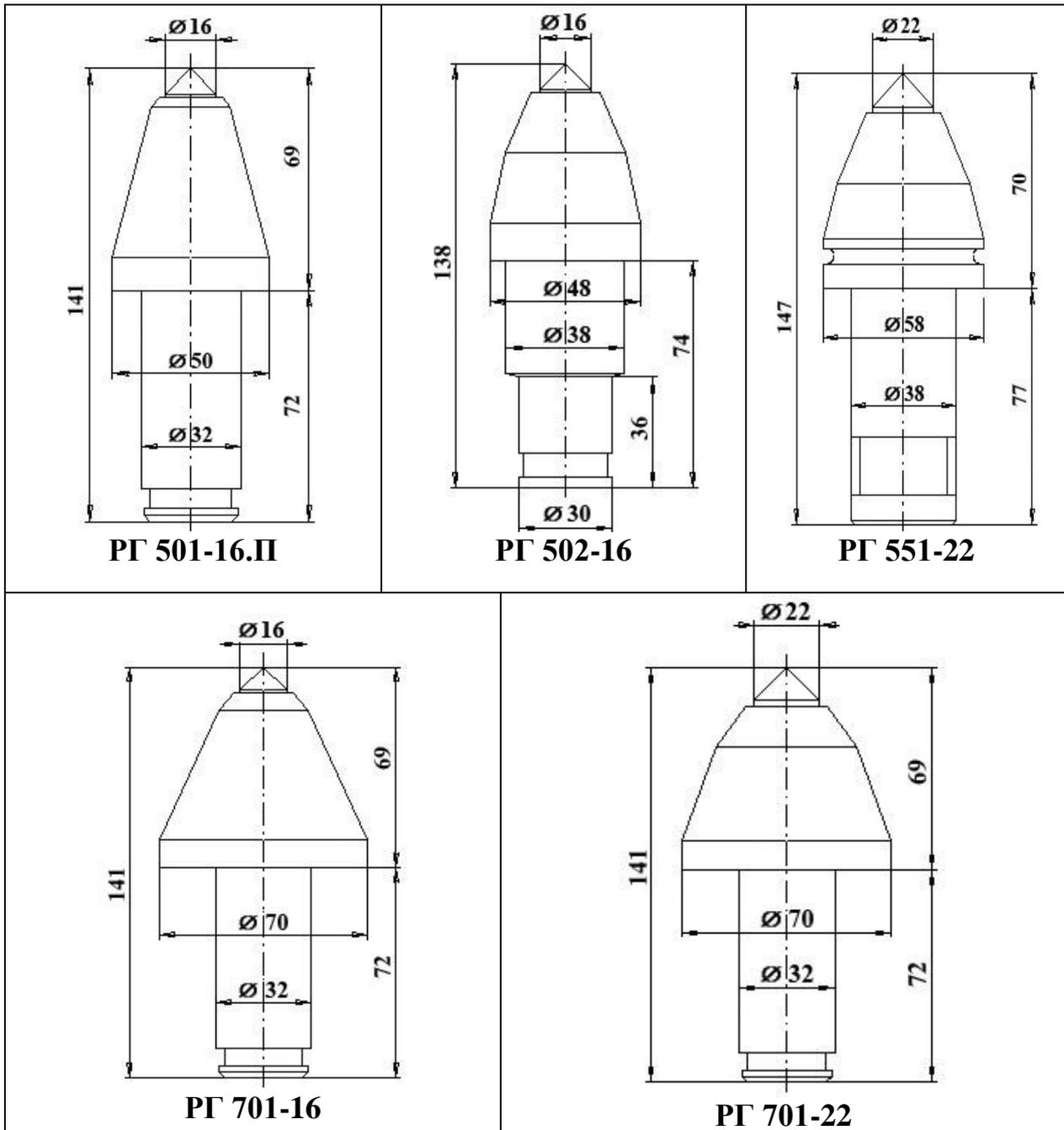
**ПГ 501/140-16**



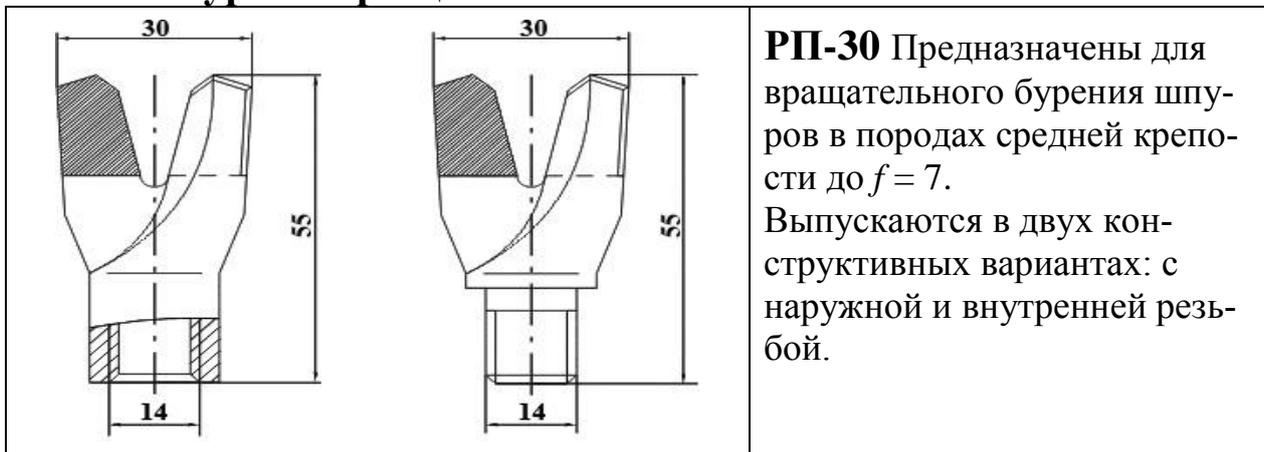
**ПГ 501/88-16**



**ПГ 501/75-22**



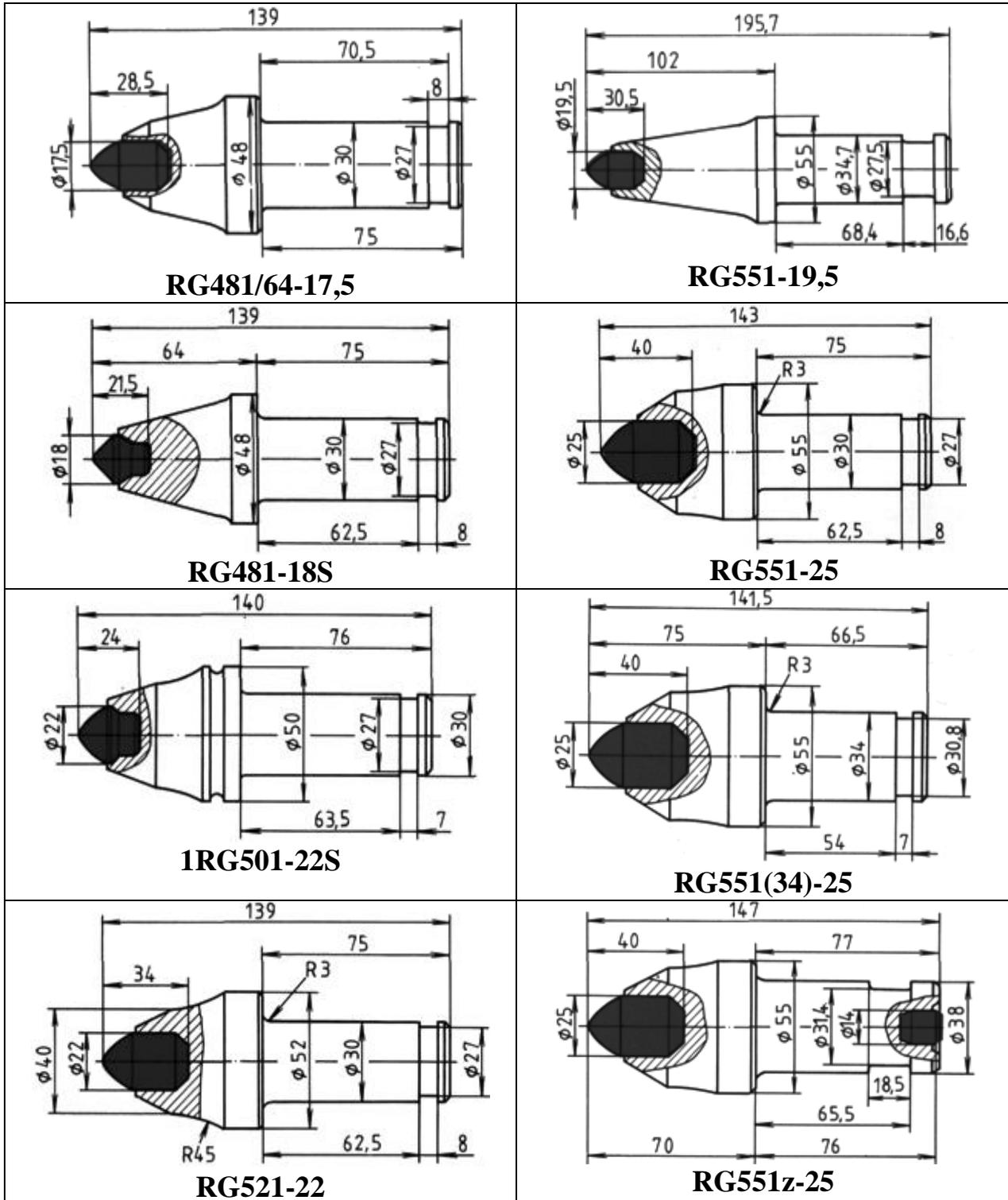
## 2.2. Буровые резцы

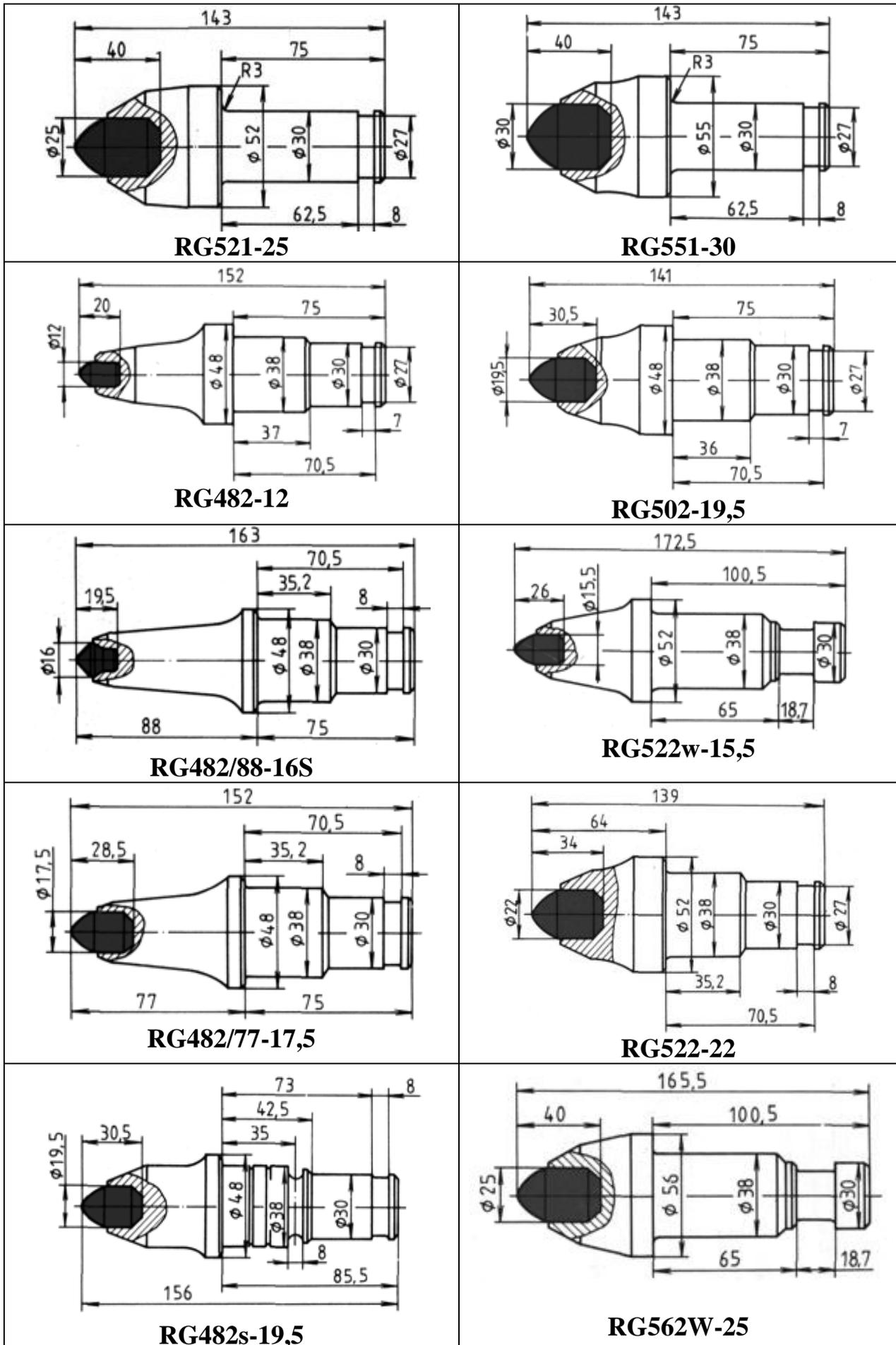


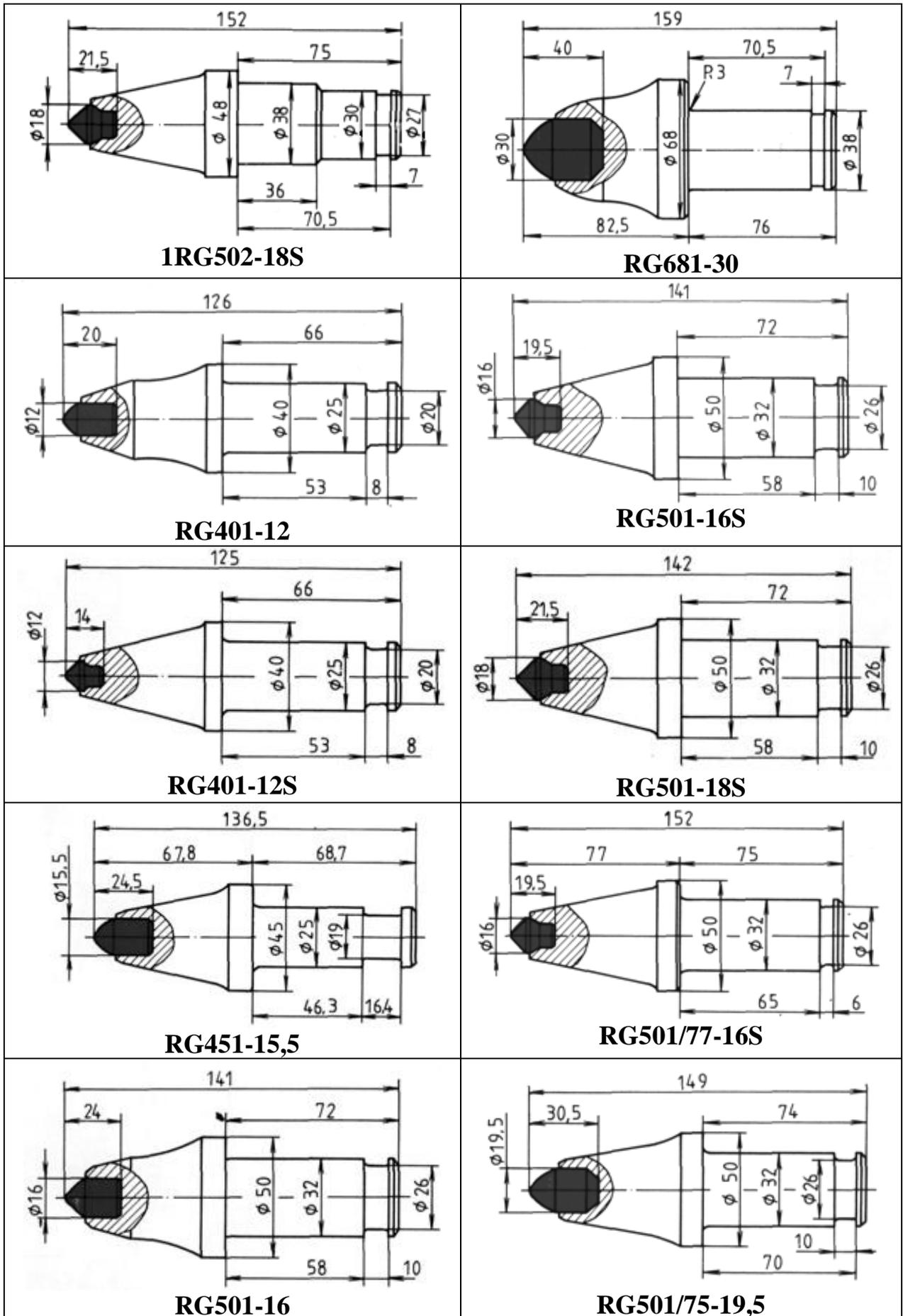
## **ПРИЛОЖЕНИЕ 3**

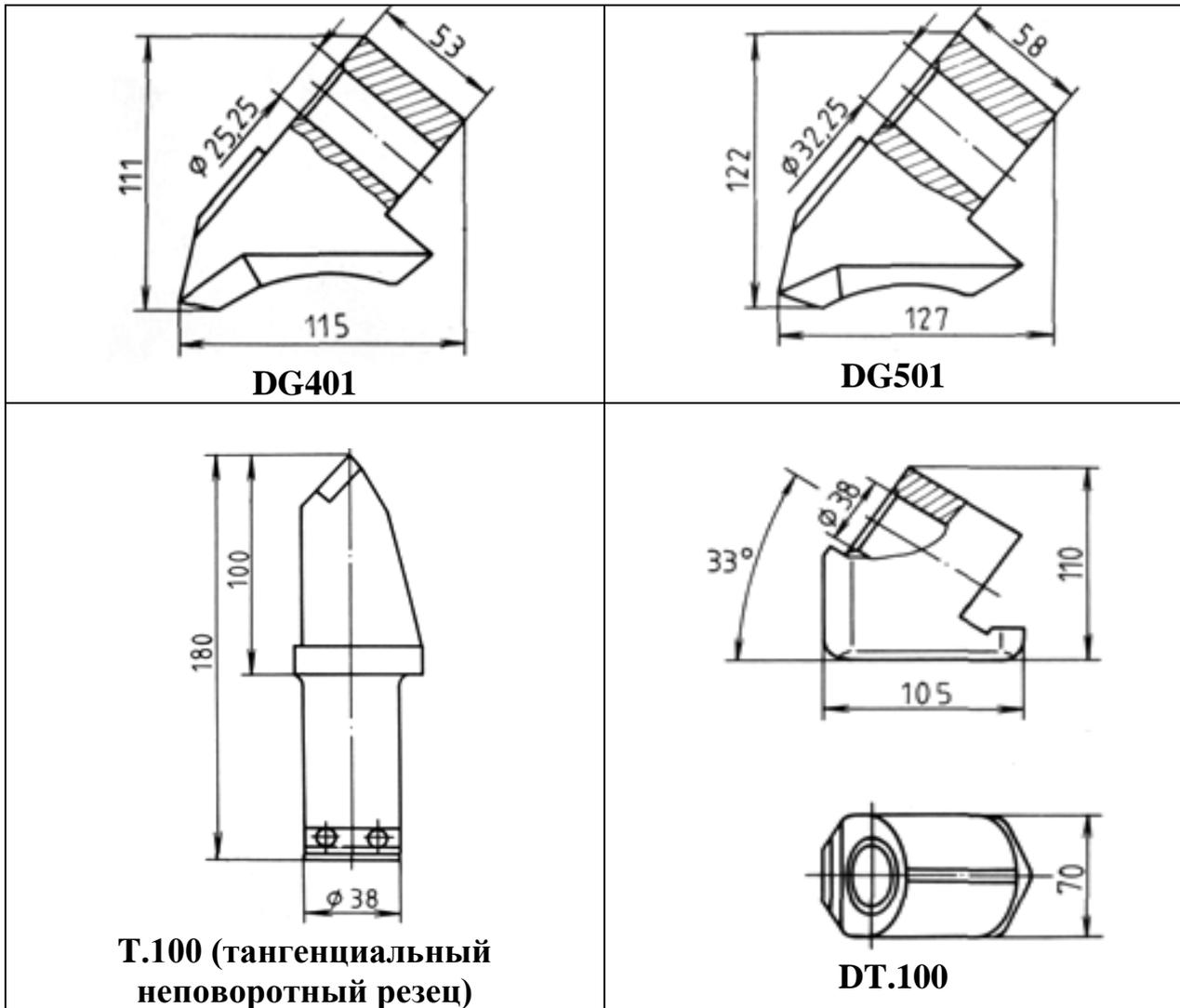
**Режущий инструмент “Рум-Сервис”**

**3.1. Тангенциальные поворотные резцы и их резцедержатели**  
 (вылет резцов от 57,5 до 102 мм; диаметры хвостовиков – 25, 27, 30, 32, 34, 34,7, 38 мм)

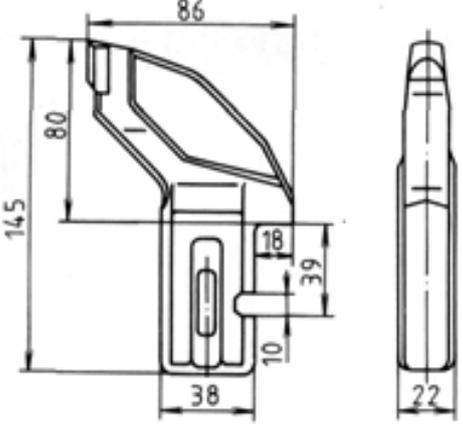
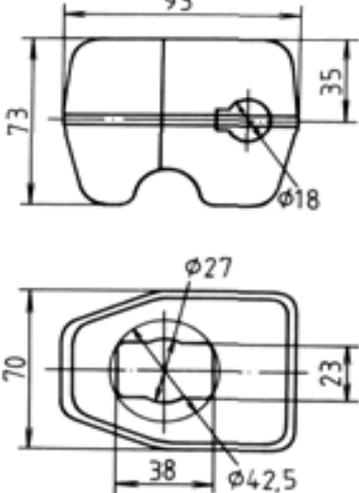
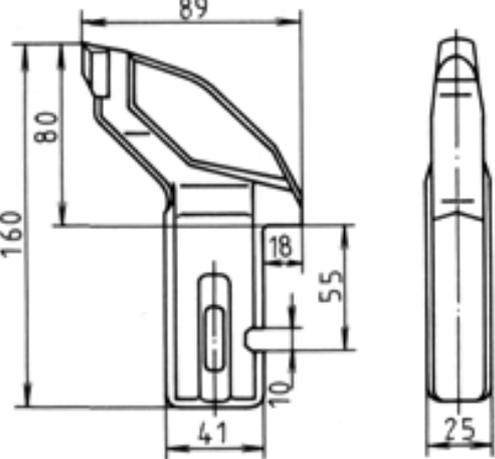
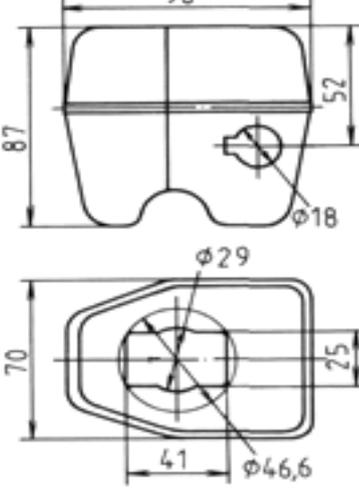
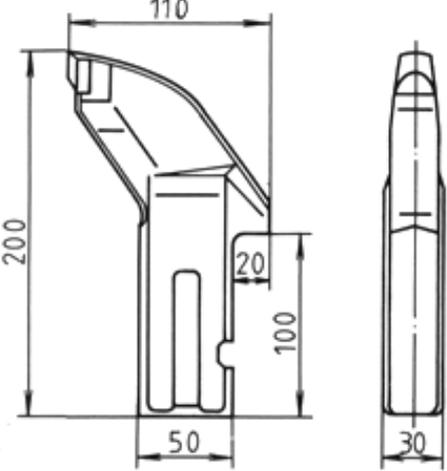
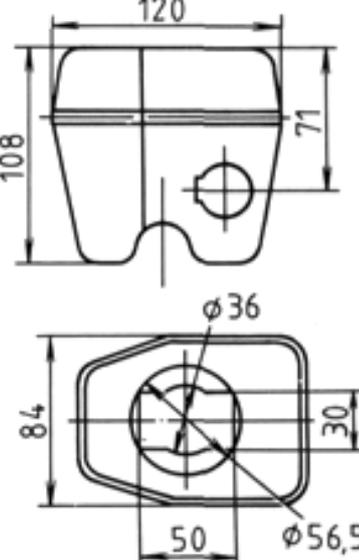








### 3.2. Радиальные резцы и их резцедержатели (вылет резцов 80, 100 мм)

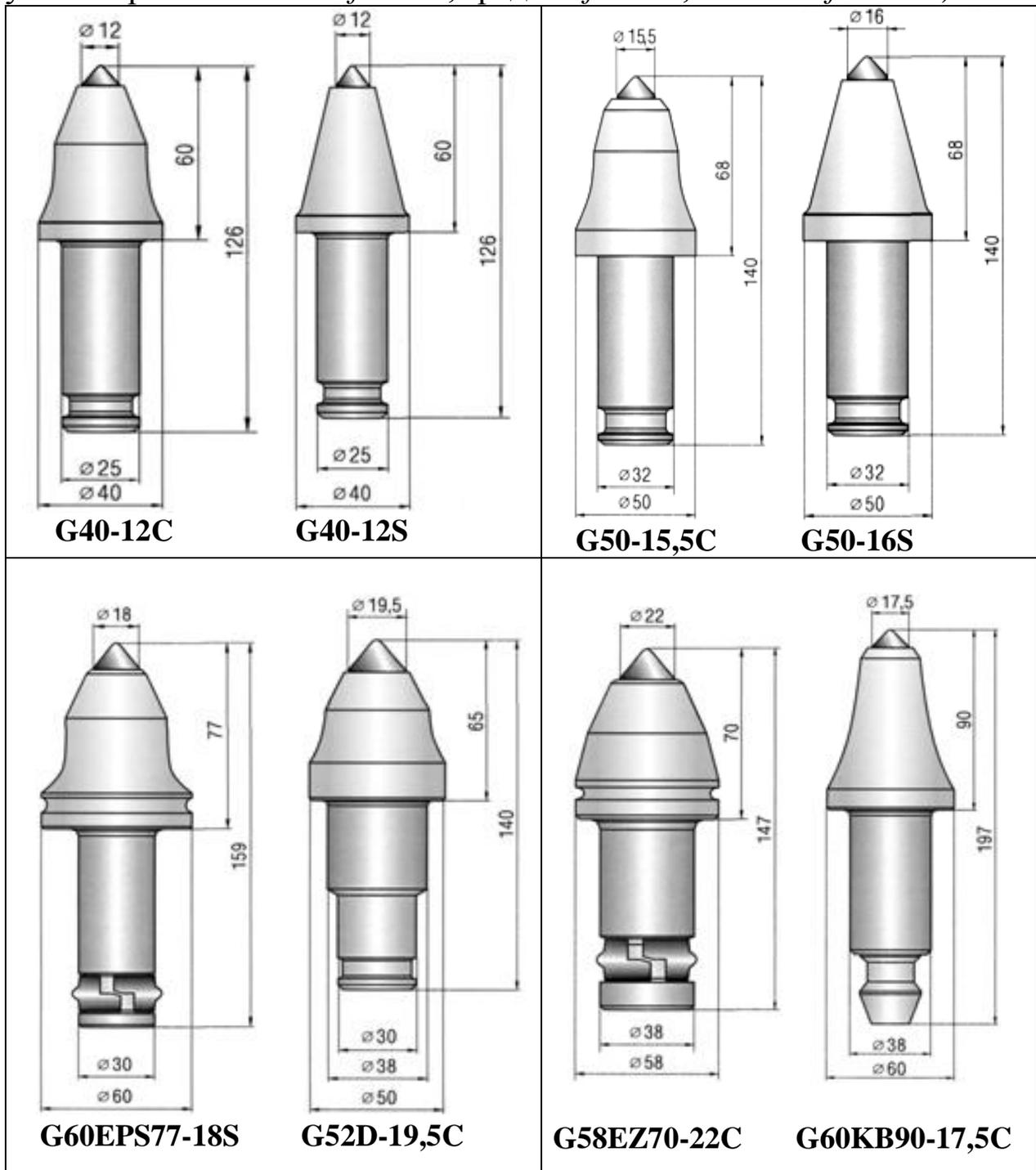
 <p style="text-align: center;"><b>RO.80</b></p>	 <p style="text-align: center;"><b>DR.80</b></p>
 <p style="text-align: center;"><b>RO.80.25</b></p>	 <p style="text-align: center;"><b>DR.80.25</b></p>
 <p style="text-align: center;"><b>RO.100</b></p>	 <p style="text-align: center;"><b>DR.100</b></p>

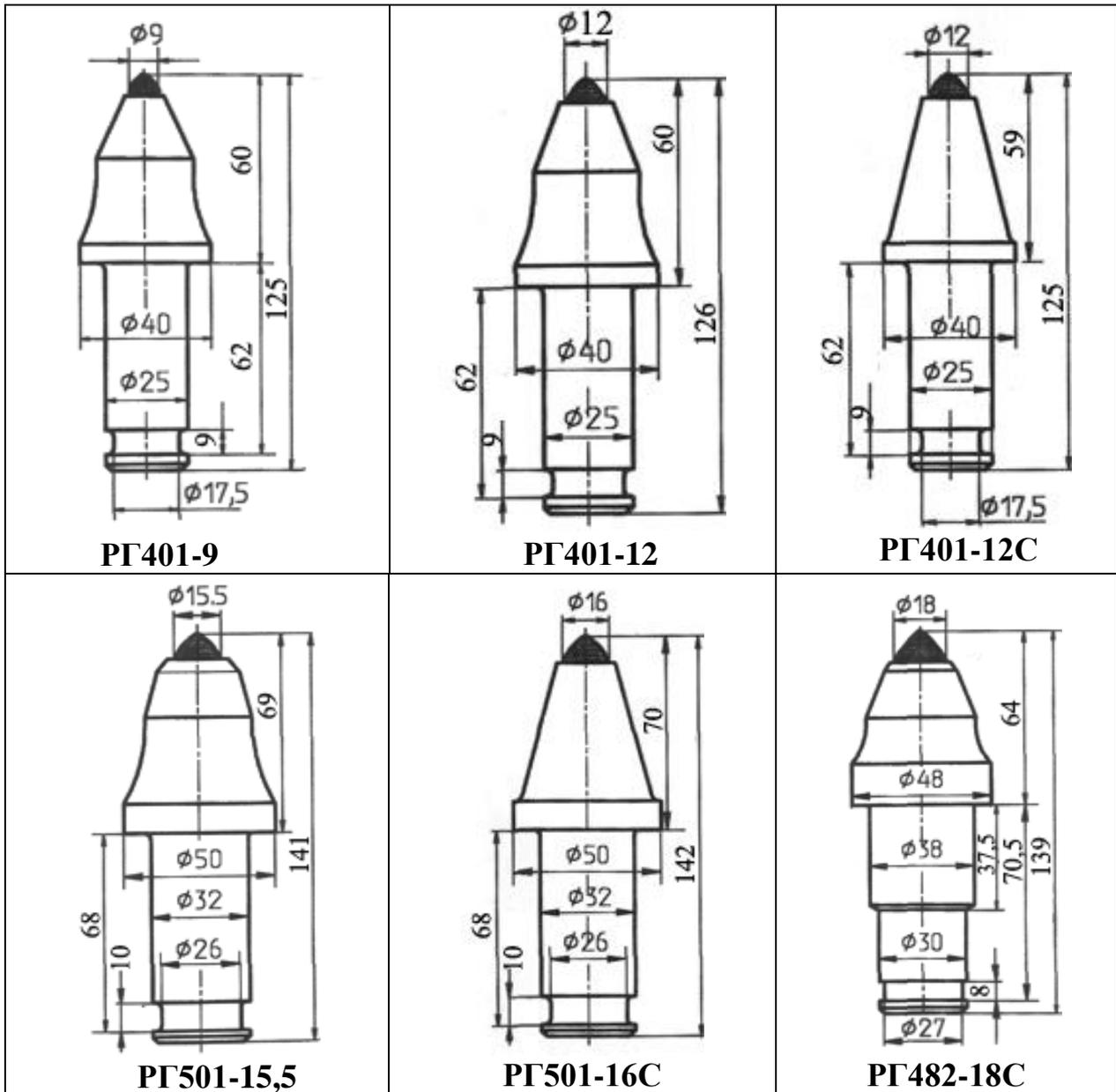
## **ПРИЛОЖЕНИЕ 4**

**Режущий инструмент ЗАО СП “Пигма-Кеннаметал”**

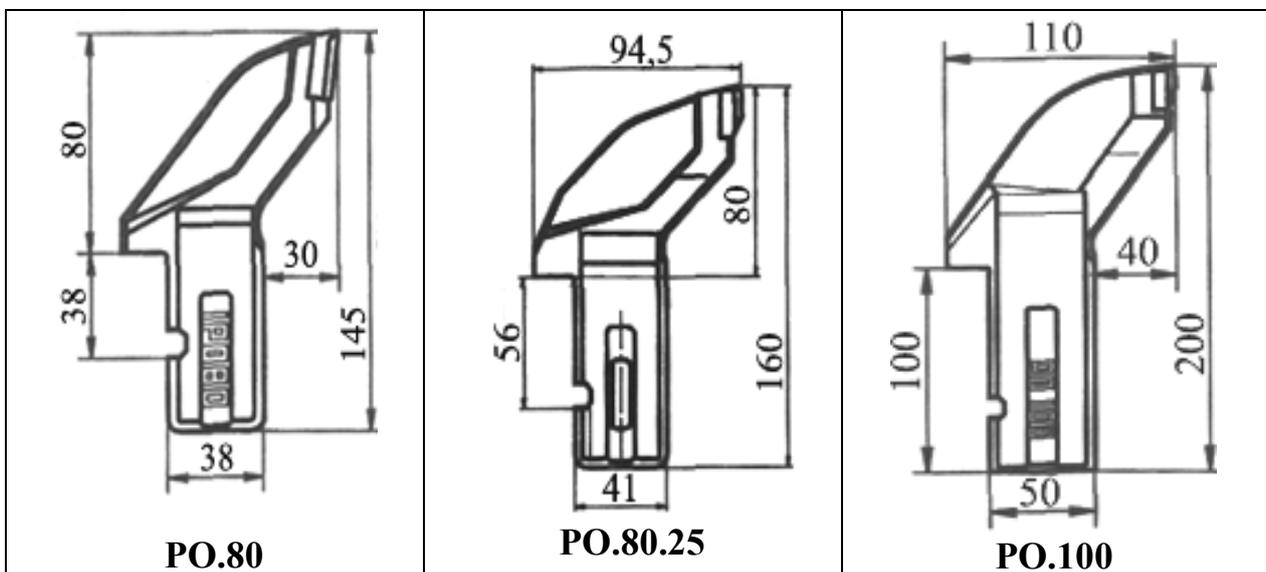
### 4.1. Тангенциальные поворотные резцы

(вылет резцов от 59 до 90 мм; диаметры хвостовиков – 25, 30, 32, 38 мм; условия работы: легкие  $f = 1-2$ , средние  $f = 3-7$ , тяжелые  $f = 6-12$ )

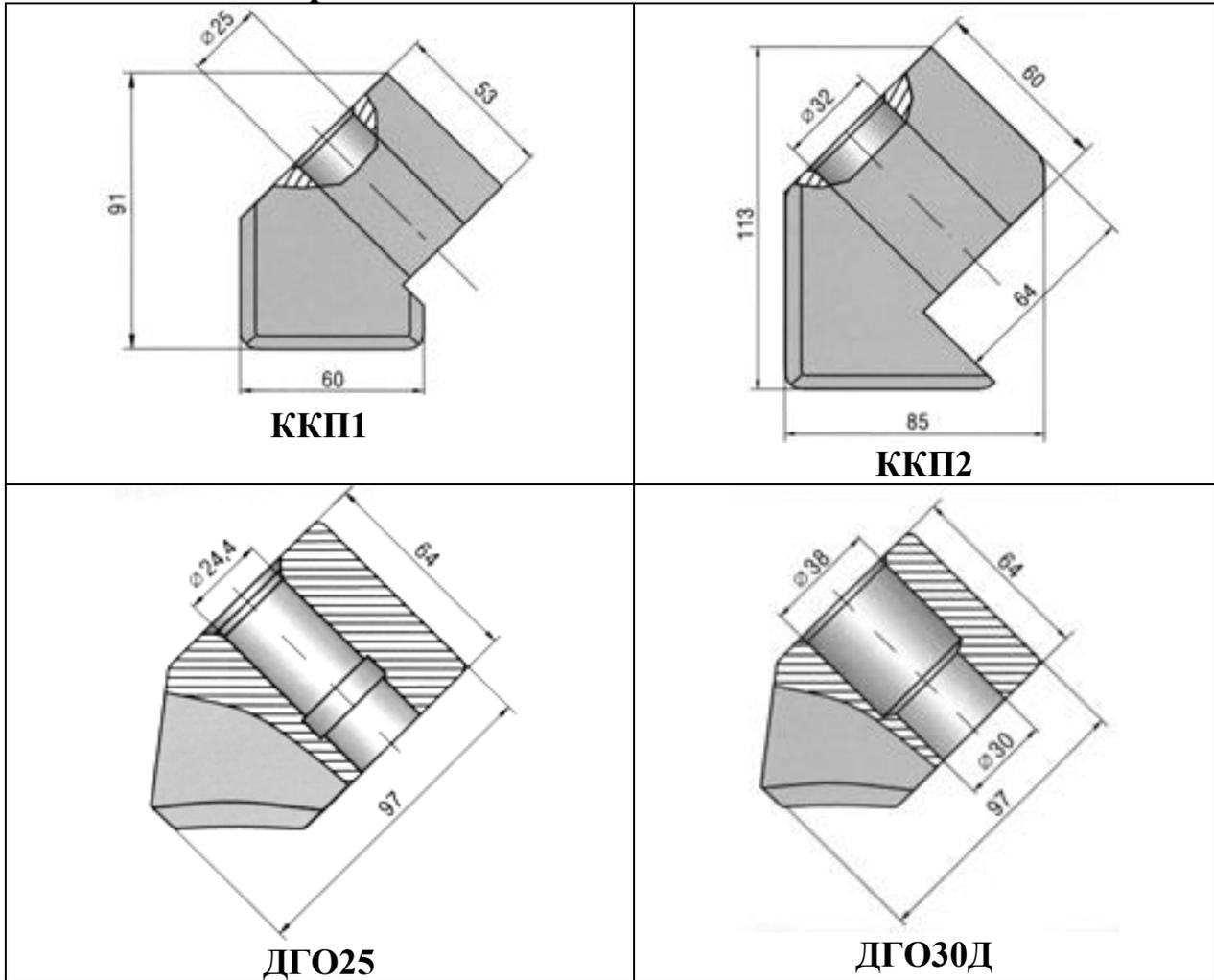




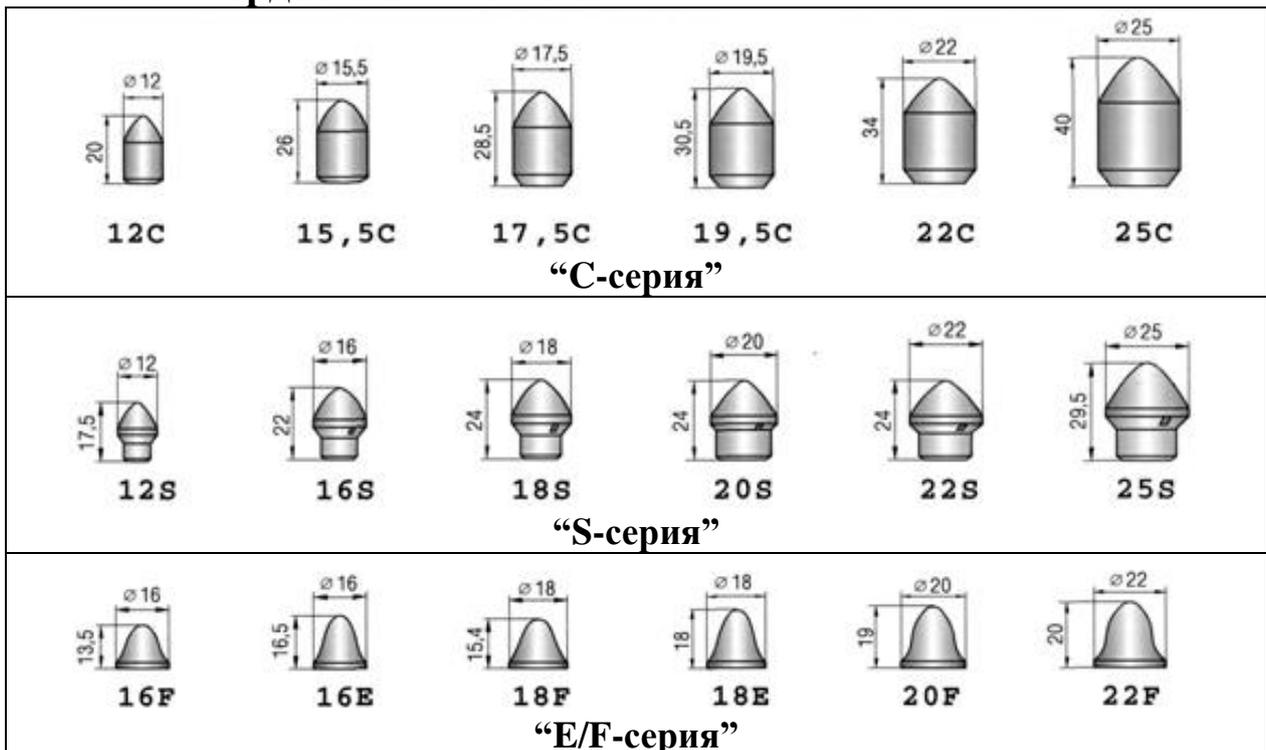
#### 4.2. Радиальные резцы (вылет резцов 80, 100 мм)



### 4.3. Резцедержатели



### 4.4. Твердосплавные вставки

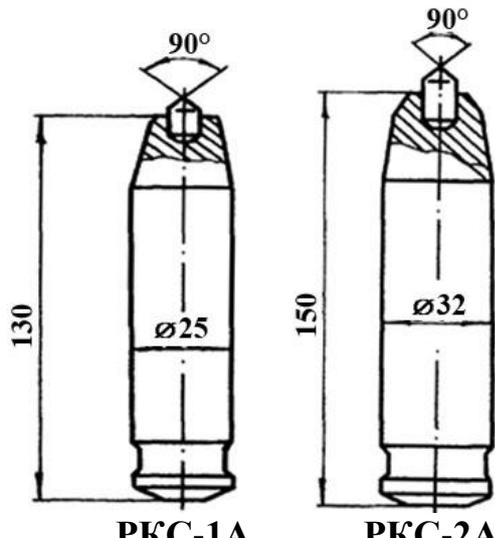
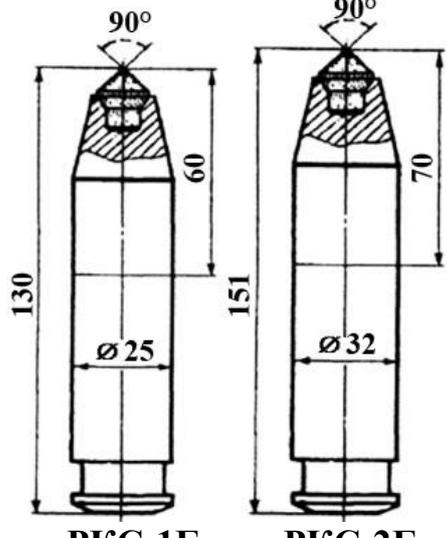
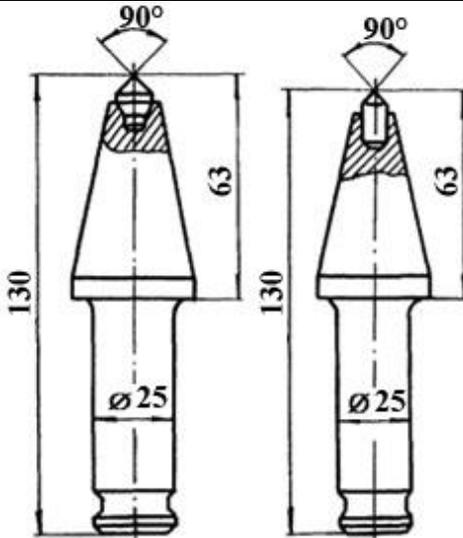
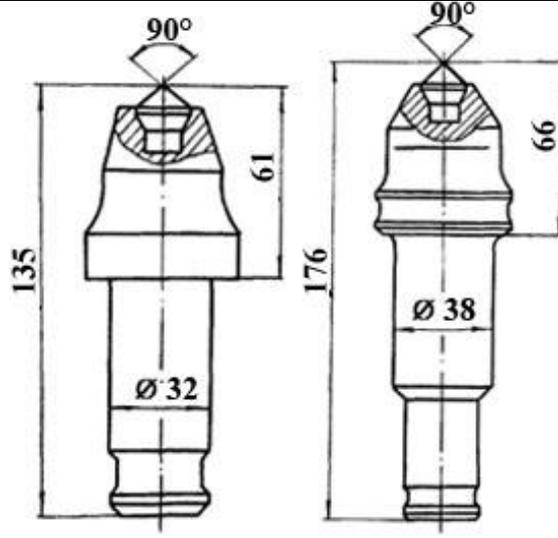


## **ПРИЛОЖЕНИЕ 5**

**Режущий инструмент  
ООО “Кузнецкий машиностроительный завод”**

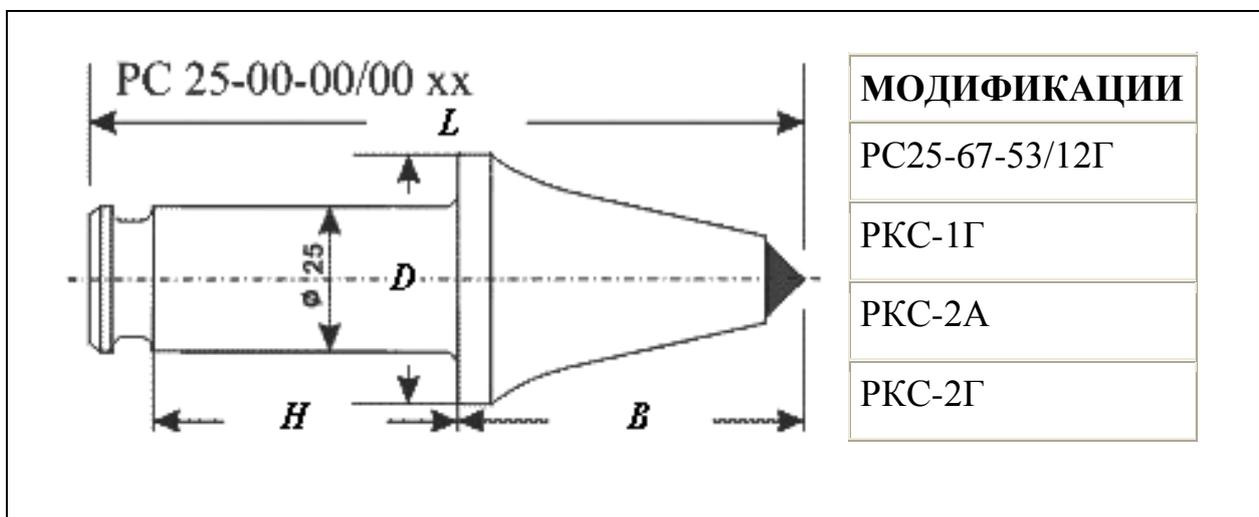
### 5.1. Тангенциальные поворотные резцы

(вылет резцов от 60 до 91 мм; диаметры хвостовиков – 25, 30, 32, 35, 38 мм)

 <p style="text-align: center;"><b>РКС-1А</b>      <b>РКС-2А</b></p> <p>Предназначены для оснащения исполнительных органов проходческих комбайнов, работающих по углю и породам с коэффициентом крепости до <math>f = 5</math> для РКС-1А и до <math>f = 6</math> (до 84 МПа), абразивностью <math>a = 15</math> мг для РКС-2А по шкале проф. М. М. Протодьяконова.</p>	 <p style="text-align: center;"><b>РКС-1Г</b>      <b>РКС-2Г</b></p> <p>Предназначены для оснащения исполнительных органов проходческих комбайнов, работающих по углю и породам с коэффициентом крепости до <math>f = 5</math> и абразивностью <math>a = 15</math> мг для РКС-1Г и до <math>f = 6</math>, абразивностью <math>a = 15</math> мг для РКС-2Г по шкале проф. М. М. Протодьяконова.</p>
 <p style="text-align: center;"><b>РС-25Г</b>      <b>РС-25Ц</b></p> <p>Предназначены для оснащения исполнительных органов проходческих комбайнов, работающих по углю и породе с коэффициентом крепости до <math>f = 5</math> по шкале проф. М.М. Протодьяконова и показателем абразивности до <math>a = 15</math> мг по Л. И. Барону и А. В. Кузнецову.</p>	 <p style="text-align: center;"><b>РС-32</b>      <b>РС-38</b></p> <p>Предназначены для оснащения исполнительных органов проходческих комбайнов, работающих по углю и породам с коэффициентом крепости до <math>f = 5</math> для РС-32 и до <math>f = 8</math> для РС-38 по шкале проф. М. М. Протодьяконова.</p>

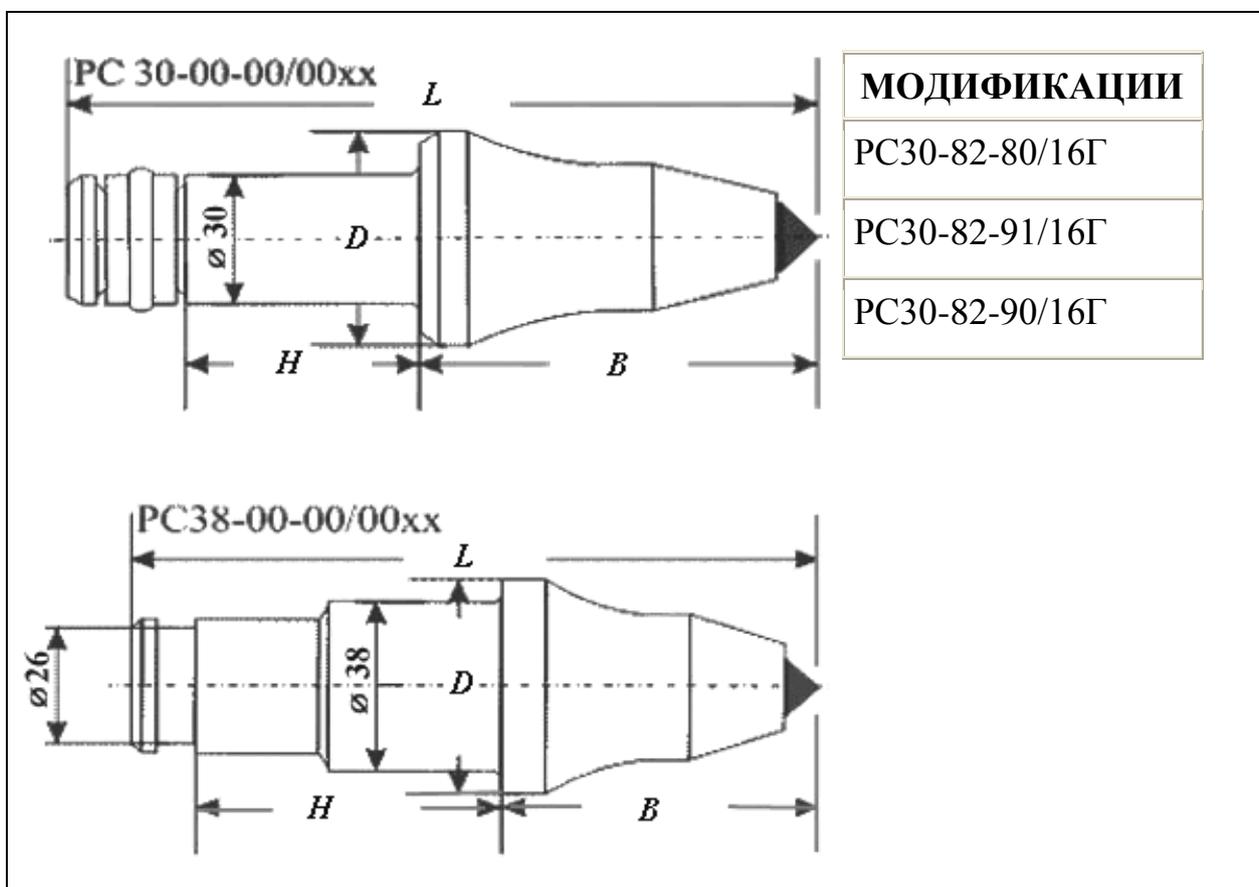
### 5.1.1. Резцы для комбайна типа ГПКС

Резцы предназначены для оснащения исполнительных органов проходческих комбайнов, работающих по углю и породам с коэффициентом крепости до  $f = 6-8$  по шкале проф. М. М. Протодряконова.



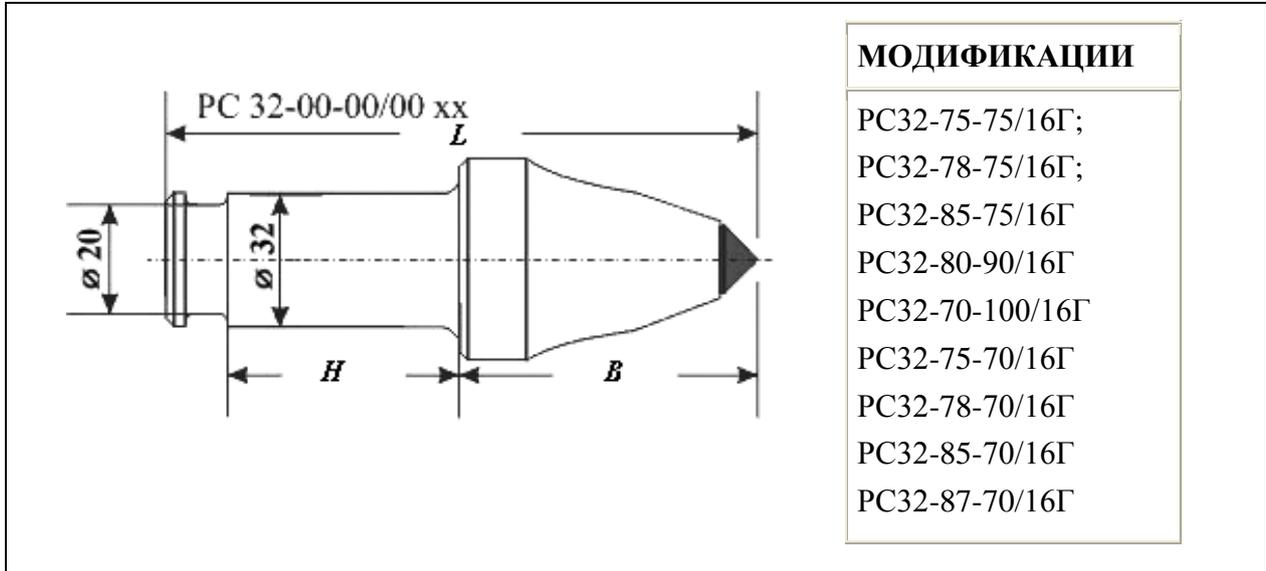
### 5.1.2. Резцы для комбайнов типа АВМ, SM-130К

Резцы предназначены для оснащения исполнительных органов проходческих комбайнов, работающих по углю и породам с коэффициентом крепости до  $f = 8$  по шкале проф. М. М. Протодряконова.



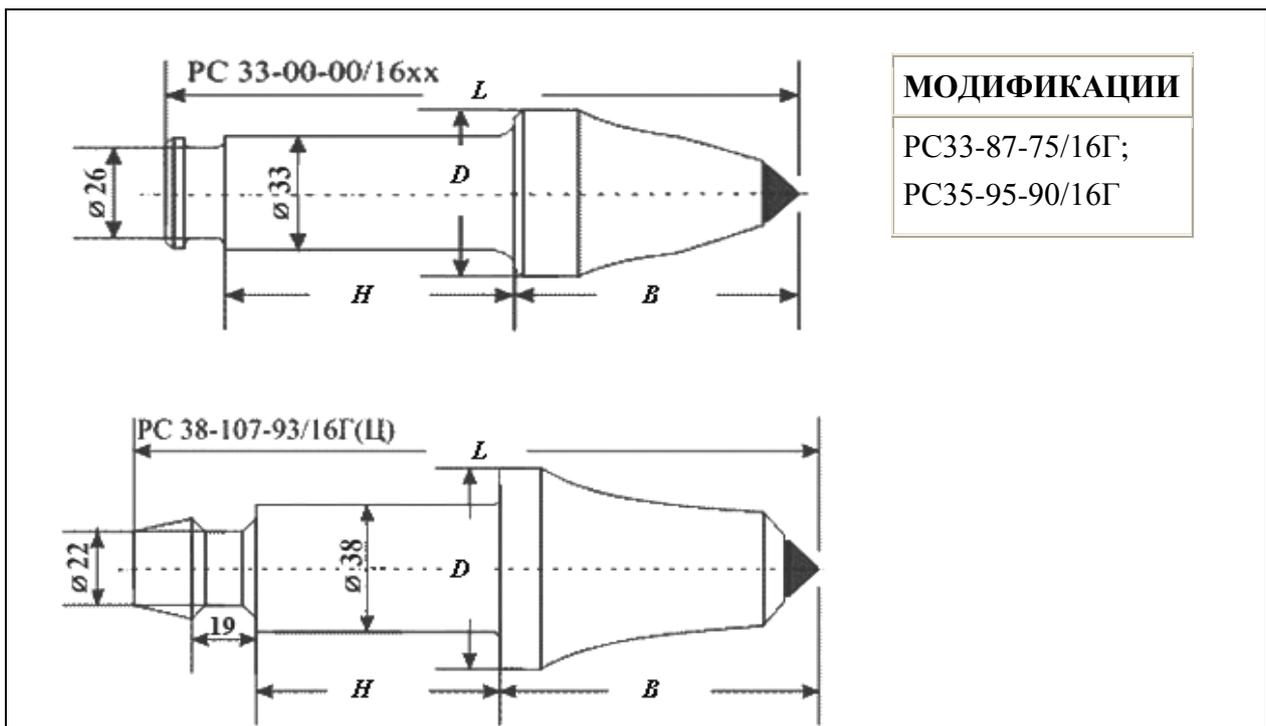
### 5.1.3. Резцы для комбайнов типа К-500, KGS, МВ 12, S-100, КПС 32, SL-300

Резцы предназначены для оснащения исполнительных органов проходческих комбайнов, работающих по углю с включениями пород с коэффициентом крепости до  $f = 6$  по шкале проф. М. М. Протоdjeконова.

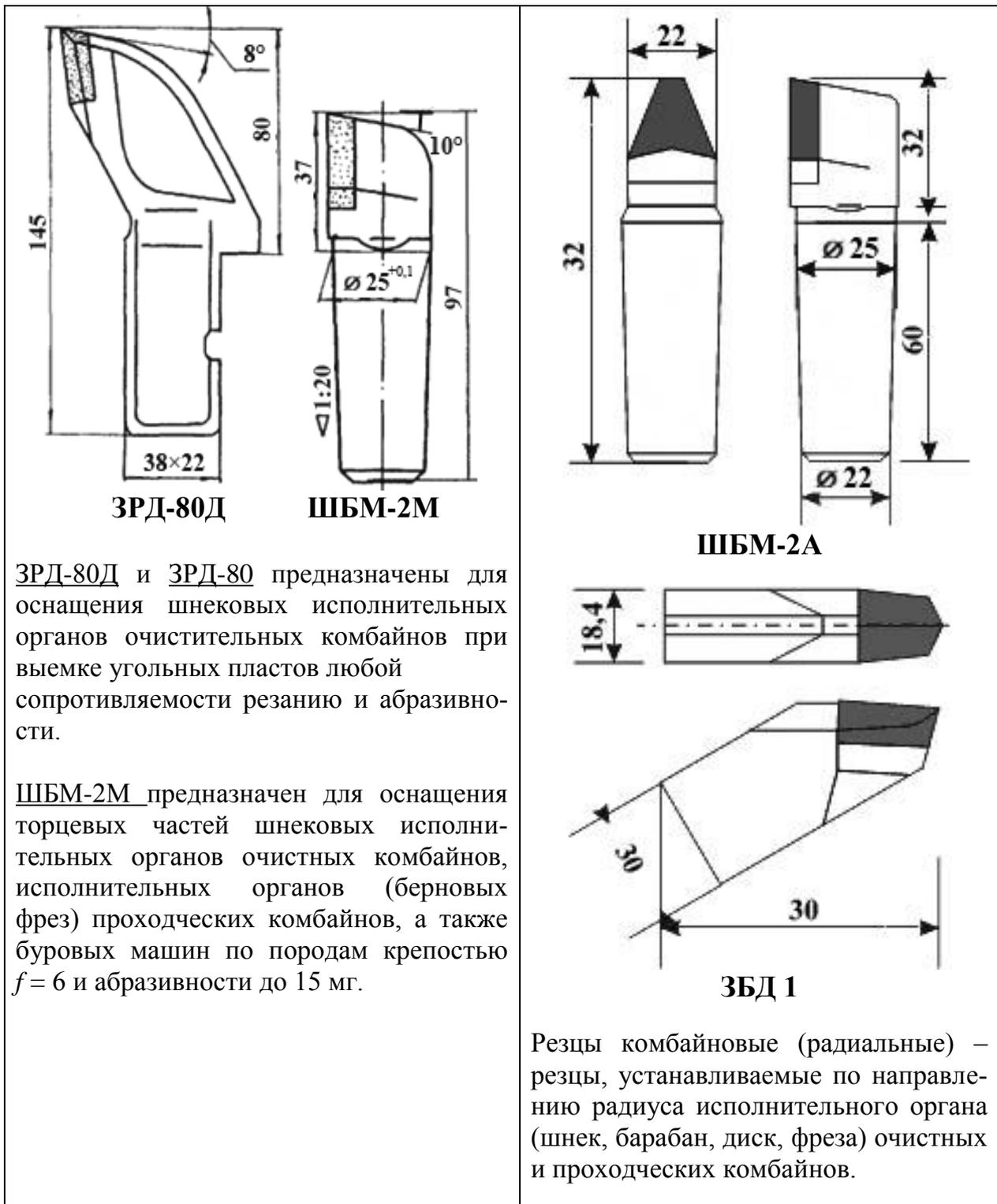


### 5.1.4. Резцы для комбайнов типа КПС 33, 6LS, EDW

Резцы предназначены для оснащения исполнительных органов проходческих комбайнов, работающих по углю с включениями пород с коэффициентом крепости до  $f = 6$  по шкале проф. М. М. Протоdjeконова.

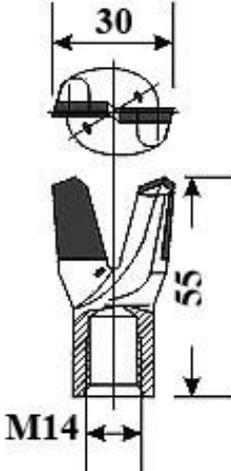
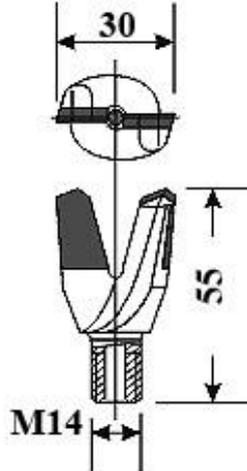
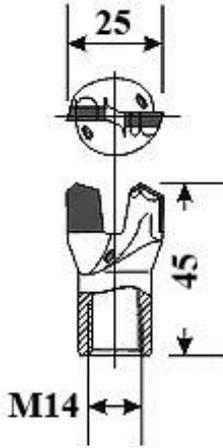
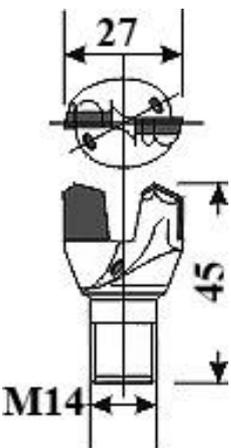
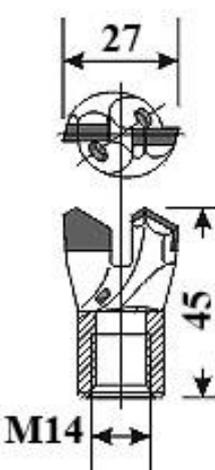
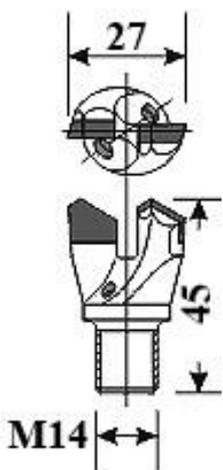


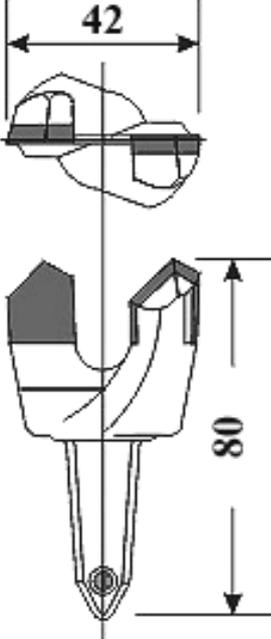
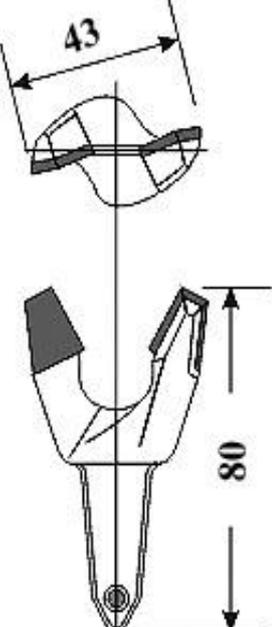
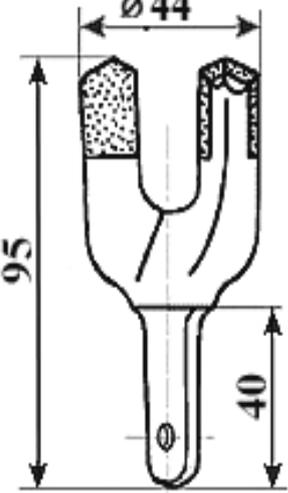
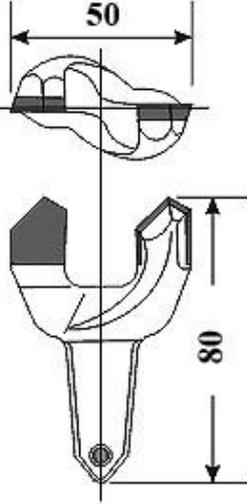
## 5.2. Радиальные резцы (вылет резцов от 32 до 80 мм)



### 5.3. Буровые резцы

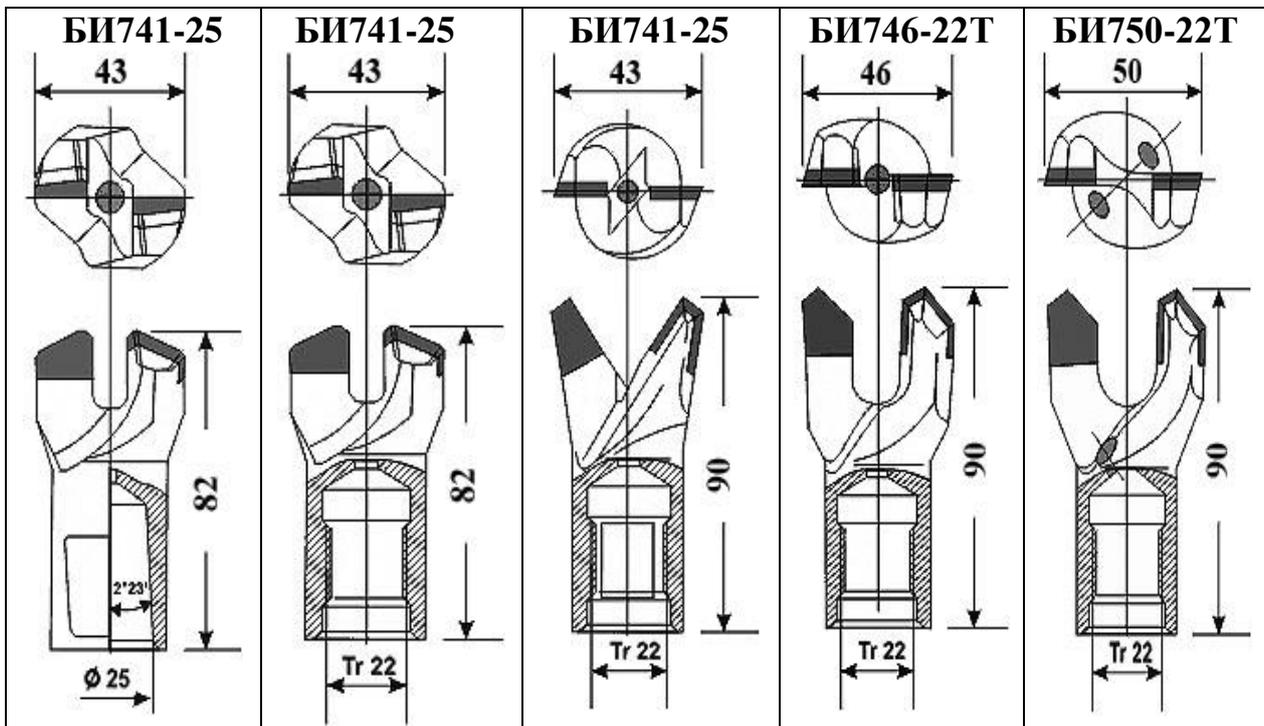
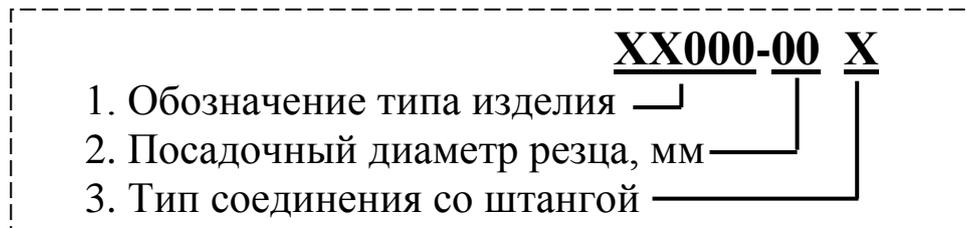
(диаметром – 25, 27, 30, 42, 43, 44, 46, 50 мм)

<p><b>РП30-14</b></p>  <p><b>МОДИФИКАЦИИ</b></p> <p>РП30-16</p> <p>РП28-14</p> <p>РП27-14</p>	<p><b>РП30-14А</b></p>  <p><b>МОДИФИКАЦИИ</b></p> <p>РП28-14А</p> <p>РП27-14А</p>	<p><b>РП25-14Л</b></p>  <p><b>МОДИФИКАЦИИ</b></p> <p>РП30-14Л</p> <p>РП28-14Л</p> <p>РП27-14Л</p>
<p><b>РП27-14ЛА</b></p>  <p><b>МОДИФИКАЦИИ</b></p> <p>РП30-14ЛА</p> <p>РП28-14ЛА</p> <p>РП25-14ЛА</p>	<p><b>РП27-14Т</b></p>  <p><b>МОДИФИКАЦИИ</b></p> <p>РП30-14Т</p> <p>РП28-14Т</p>	<p><b>РП27-14ТА</b></p>  <p><b>МОДИФИКАЦИИ</b></p> <p>РП30-14ТА</p> <p>РП28-14ТА</p>

<p><b>Резец угольный РУ13, 13/ГИ</b></p> 	<p><b>Резец угольный РУ43, 43М, 43/ГИ</b></p> 	<p><b>Резец угольный РУ6</b></p> 	<p><b>Резец гипсовый РГ-50</b></p> 
<p>Резец РУ-13 предназначен для вращательного бурения шпуров в углях и горных породах крепостью до <math>f = 4</math> по шкале проф. М. М. Протодьяконова. Соединение со штангой клиновое.</p>	<p>Резец РУ-43 предназначен для вращательного бурения мягких и средней крепости углей ручными сверлами. Соединение со штангой клиновое.</p>	<p>Резец РУ-6 предназначен для вращательного бурения средних и крепких углей и сланцев ручными сверлами. Соединение со штангой клиновое.</p>	<p>Резец гипсовый РГ-50 предназначен для бурения шпуров в гипсах любой крепости. Соединение со штангой клиновое.</p>

**5.4. Буровые резцы БИ ООО “Кузнецкий машиностроительный завод”** предназначены для бурения шпуров колонковыми сверлами и буровыми машинами с промывкой, продувкой по породам крепостью до  $f = 10$  по шкале проф. М. М. Протодяконова. Соединение со штангой конусное или резьбовое.

Расшифровка обозначения буровых резцов

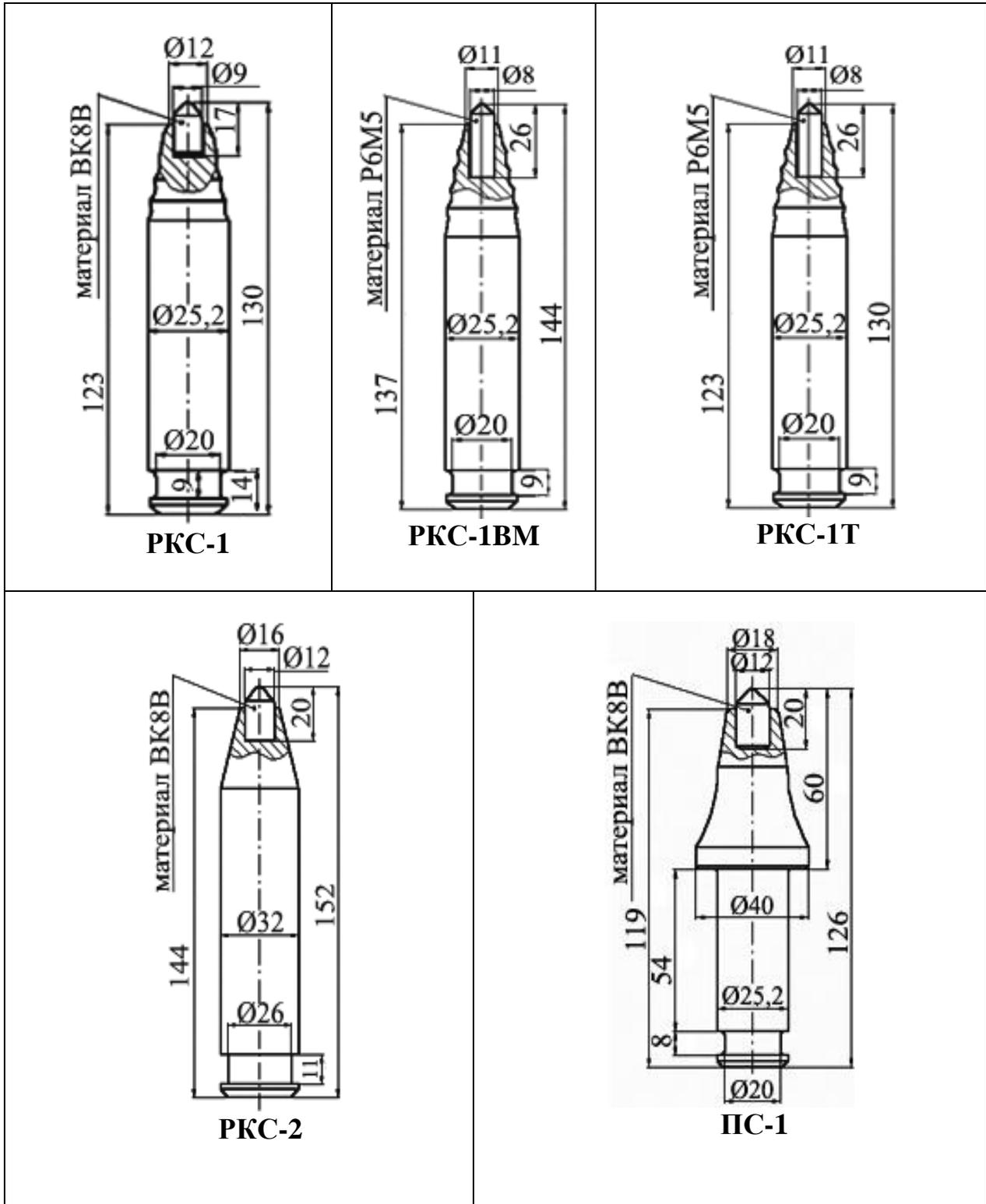


## **ПРИЛОЖЕНИЕ 6**

**Режущий инструмент ЗАО “Белтехнология и М”**

### 6.1. Тангенциальные поворотные резцы

(вылет резцов от 46 до 69 мм; диаметры хвостовиков – 19,6, 25,2, 30, 32, 33 мм)





UZ-1



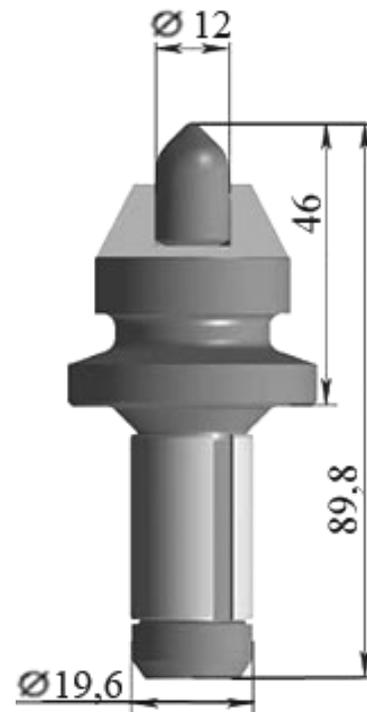
UZ-2



UZ-4



UZ-5



ДЗ-3

Резец **PKC-1**. Предназначен для проходческих и очистных комбайнов, работающих по углю и породам с коэффициентом крепости  $f$  до 5 и показателем абразивности  $a$  до 15 мг.

Резец **PKC-1BM**. Предназначен для проходческих и очистных комбайнов, работающих по углю и породам с коэффициентом крепости  $f$  до 5 и показателем абразивности  $a$  до 15 мг.

Резец **PKC-1T**. Предназначен для проходческих и очистных комбайнов, работающих по углю и породам с коэффициентом крепости  $f$  до 5 и показателем абразивности  $a$  до 15 мг.

Резец **PKC-2**. Предназначен для проходческих и очистных комбайнов, работающих по углю и породам с коэффициентом крепости  $f$  до 5 и показателем абразивности  $a$  до 15 мг.

Резец **ПС-1** (аналог горный резец РГ-401). Предназначен для проходческих и очистных комбайнов, работающих по углю и породам с коэффициентом крепости  $f$  до 8 и показателем абразивности  $a$  до 18 мг.

Резец **UZ-1** (аналог горный резец РГ-501, горный резец РШ-32-70/16). Предназначен для проходческих и очистных комбайнов, работающих по углю и породам с коэффициентом крепости  $f$  до 8 и показателем абразивности  $a$  до 18 мг.

Резец **UZ-2** (аналог горный резец РГ-501Д, горный резец РШ-32-85/16). Предназначен для проходческих и очистных комбайнов, работающих по углю и породам с коэффициентом крепости  $f$  до 8 и показателем абразивности  $a$  до 18 мг.

Резец **UZ-4**. Предназначен для проходческих и очистных комбайнов, работающих по углю и породам с коэффициентом крепости  $f$  до 8 и показателем абразивности  $a$  до 18 мг.

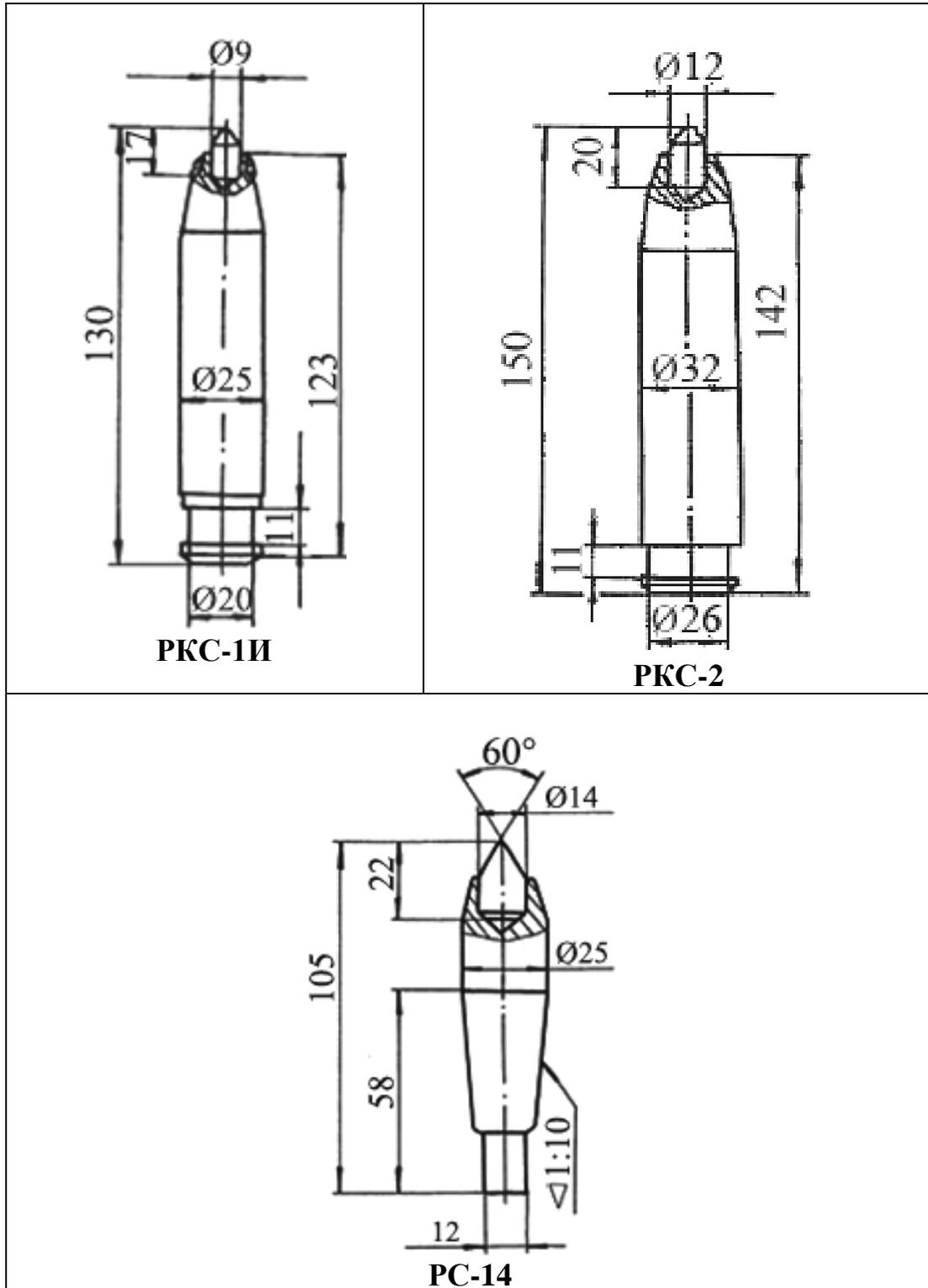
Резец **UZ-5**. Предназначен для проходческих и очистных комбайнов, работающих по углю и породам с коэффициентом крепости  $f$  до 8 и показателем абразивности  $a$  до 18 мг.

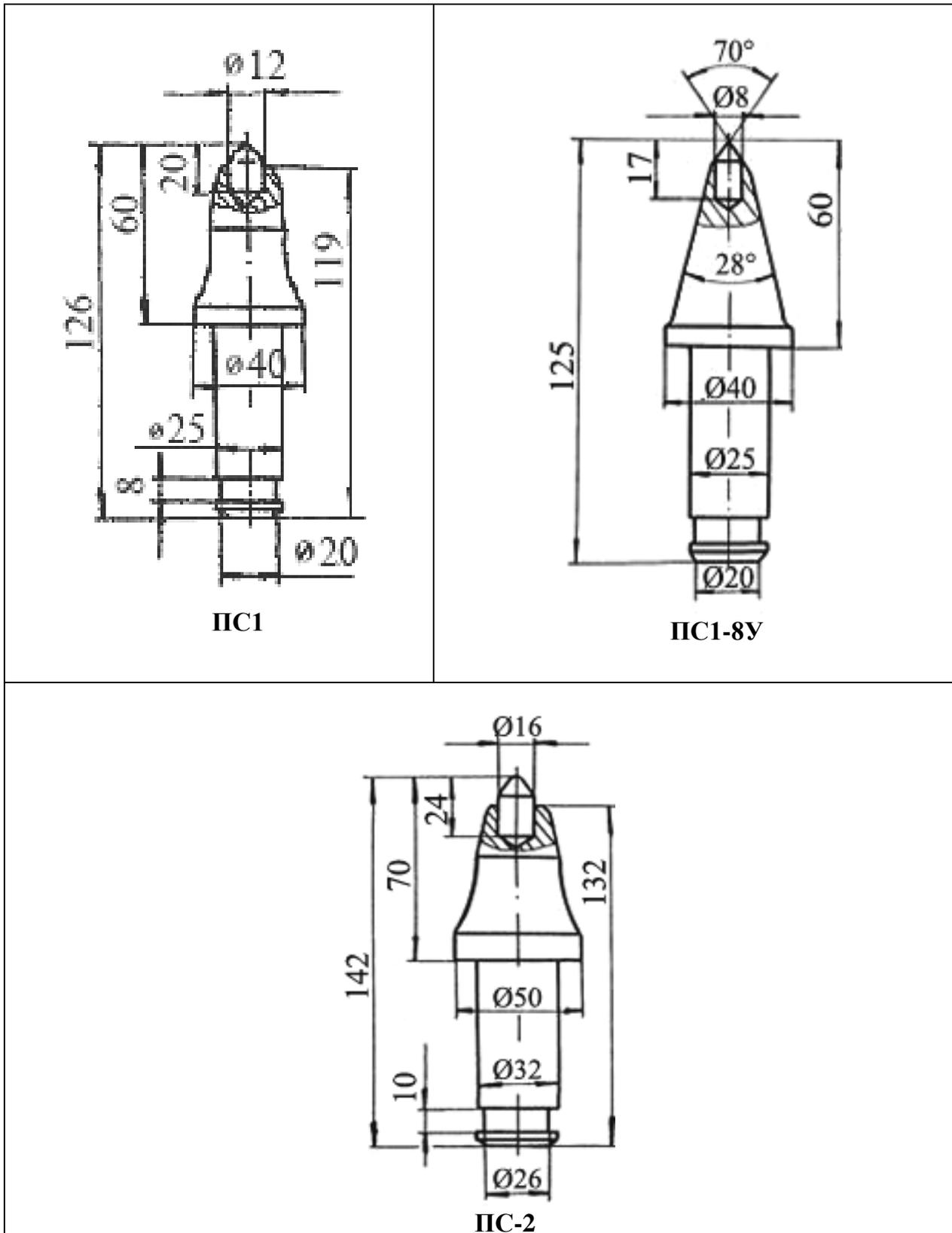
Резцы для буровой техники: **ДЗ-3** и **UZ-5**.

## **ПРИЛОЖЕНИЕ 7**

**Режущий инструмент  
ОАО “Копейский машиностроительный завод”**

**7.1. Тангенциальные поворотные резцы**  
 (вылет резцов 60, 70 мм; диаметры хвостовиков – 25, 32 мм)





Резцы **РКС-1И** предназначены для оснащения исполнительных органов проходческих комбайнов, работающих по углю и породам с верхним пределом прочности разрушаемых пород при одноосном сжатии  $\sigma_{сж}$  до 70 МПа (коэффициентом  $f$  до 5 единиц по

шкале проф. М. М. Протодяконова и показателем абразивности а до 15 мг по Л. И. Барону и А. В. Кузнецову). Масса резца – 0,43 кг.

Резцы **РКС-2** предназначены для оснащения исполнительных органов проходческих и очистных комбайнов с преимущественной областью применения по породам с верхним пределом прочности при одноосном сжатии 50–70 МПа и верхним пределом прочности пород присечки  $\sigma_{сж} = 100$  МПа в виде отдельных прослоек и включений при абразивности а до 15 мг по Л. И. Барону и А. В. Кузнецову. Масса резца – 0,78 кг.

Резцы **РС-14** предназначены для проходческо-очистных комбайнов, работающих по пластам калийных руд и каменной соли с сопротивляемостью резанию  $A_p$  до 450 Н/мм. Масса резца – 0,3 кг.

Резцы **ПС-1** с круглой ступенчатой державкой предназначены для оснащения исполнительных органов проходческих комбайнов, применяемых при проведении подготовительных выработок смешанным забоем с присечкой пород прочностью при одноосном сжатии  $\sigma_{сж}$  до 70 МПа и показателем абразивности а до 15 мг по Л. И. Барону и А. В. Кузнецову. Масса резца – 0,55 кг.

Резцы **ПС-2** с круглой ступенчатой державкой предназначены для оснащения исполнительных органов проходческих комбайнов, применяемых при проведении подготовительных выработок смешанным забоем с присечкой пород прочностью при одноосном сжатии  $\sigma_{сж}$  до 100 МПа и показателем абразивности а до 15 мг по Л. И. Барону и А. В. Кузнецову. Масса резца – 1,1 кг

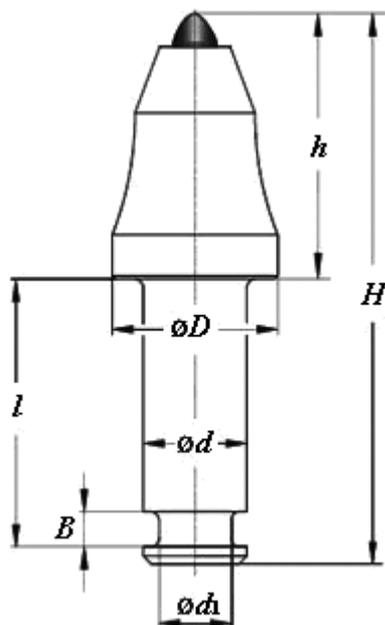
Резцы исполнения **ПС1-8У** предназначены для оснащения исполнительных органов проходческо-очистных комбайнов, применяемых на проходке и очистных работах по пластам калийных руд и каменной соли с сопротивляемостью резанию  $A_p$  до 450 Н/мм. Особенности конструкции: – опора производится на юбку резца. Масса резца – 0,46 кг.

## **ПРИЛОЖЕНИЕ 8**

**Режущий инструмент, резцедержатели, твердосплавные вставки  
ОАО “Кировоградский завод твердых сплавов”**

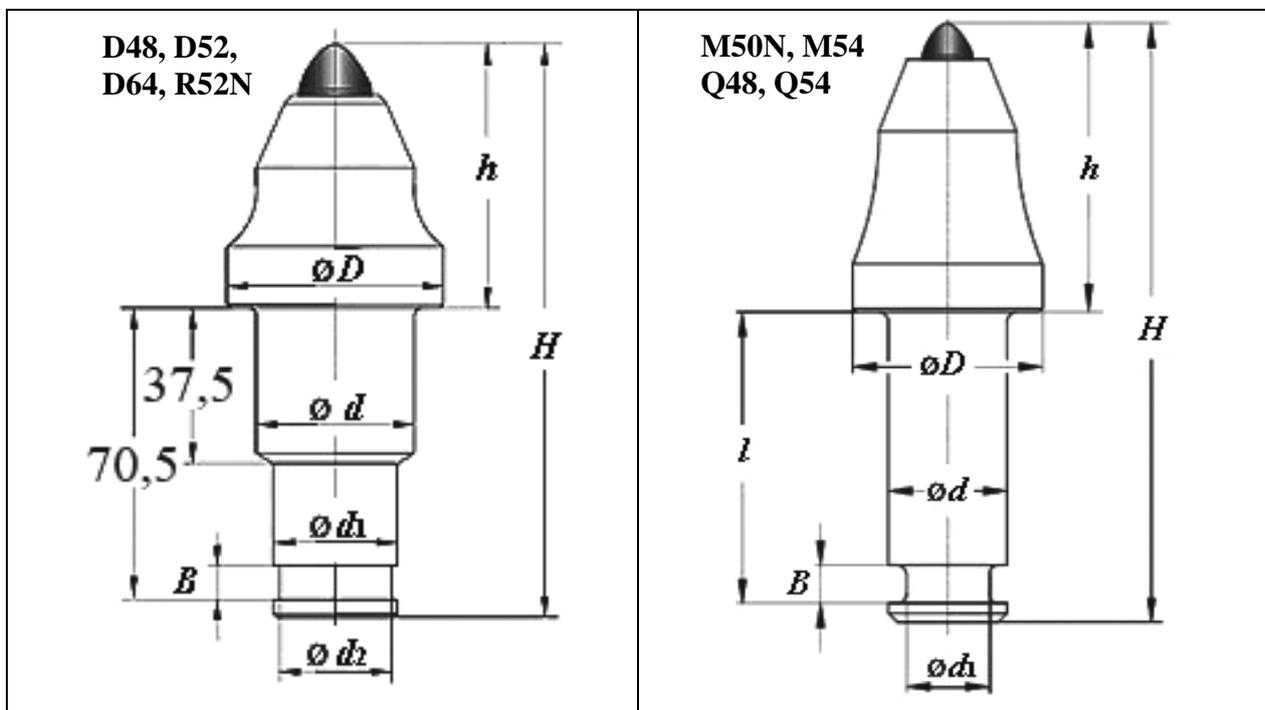
### 8.1. Тангенциальные поворотные резцы

(вылет резцов от 51 до 110 мм; диаметры хвостовиков – 20, 25, 27, 29,6, 30, 32, 33, 34, 35, 37,7, 38, 42 мм)



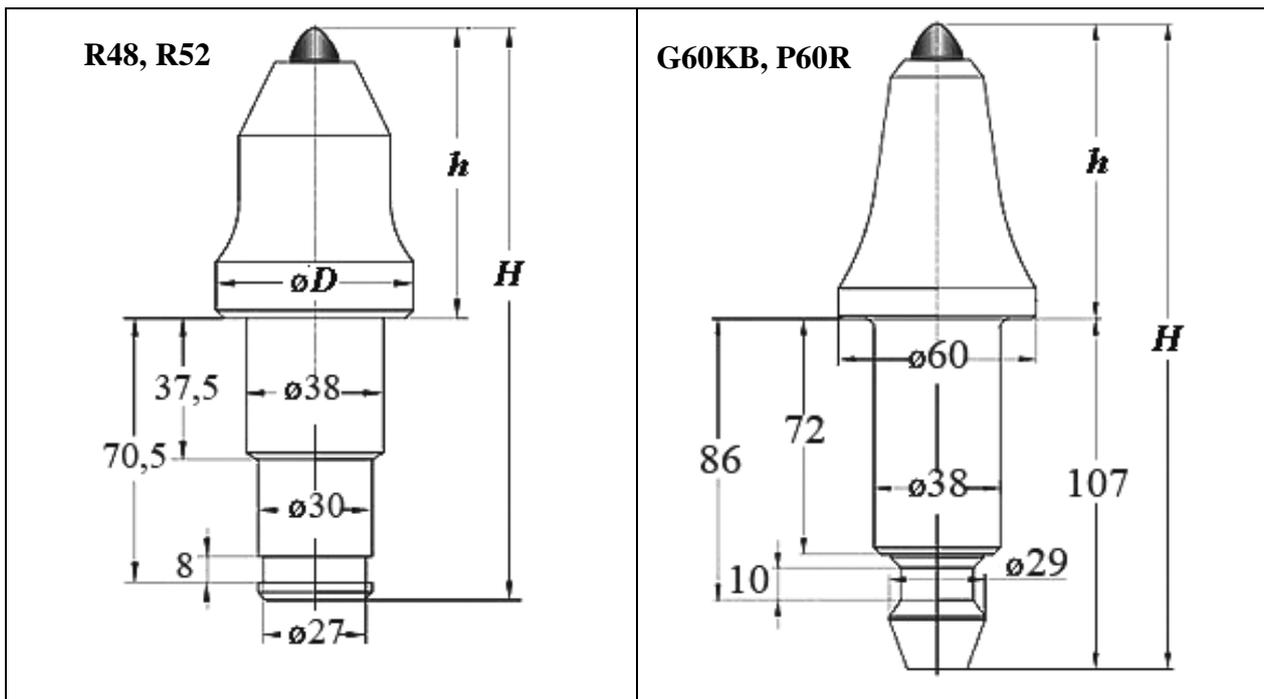
Название резца	Тип вставки	Размеры, мм							Код
		$H$	$h$	$D$	$d$	$d_1$	$B$	$l$	
G50	12,3	140	70	50	32	25	8	65,5	G50S.70.B3.C3.12K7
G50	15,5	140	70	50	32	25	8	65,5	G50S.70.B3.C3.15K1
G50	16S	140	70	50	32	25	8	65,5	G50S.68.B3.C3.16S5
G50	18S	140	70	50	32	25	8	65,5	G50S.70.B3.C3.18S6
G50	19,5	140	70	50	32	25	8	65,5	G50S.70.B3.C3.19K3
G50C14	15,5	155	70	49,5	32	26	8	79,5	G50S.70.B3.C14.15K1
G50C14	16S	155	70	49,5	32	26	8	79,5	G50S.70.B3.C14.16S5
G50C20/70	16S	146	70	50	32	25	8	70,5	G50S.70.B3XC20.16S5
G50M	12,3	145	70	50	32	25	6	71	G50S.70.B3.C11.16S5
G50M	12S	145	70	50	32	25	6	71	G50S.70.B3.C11.12S9
G50M	15,5	145	70	50	32	25	6	71	G50S.70.B3.C11.15K1
G50M	16S	145	70	50	32	25	6	71	G50S.70.B3.C11.16S5
G50M	18S	145	70	50	32	25	6	71	G50S.70.B3.C11.18S6
G50M	19,5	145	70	50	32	25	6	71	G50S.70.B3.C11.19K3
G50V	12,3	156	70	50	32	25	8	81,5	G50S.70.B3.C7.12K7
G50V	12S	156	70	50	32	25	8	81,5	G50S.70.B3.C7.12S9
G50V	15,5	156	70	50	32	25	8	81,5	G50S.70.B3.C7.15K1
G50V	16S	156	70	50	32	25	8	81,5	G50S.70.B3.C7.16S5
G50V	18S	156	70	50	32	25	8	81,5	G50S.70.B3.C7.18S6
G50V	19,5	156	70	50	32	25	8	81,5	G50S.70.B3.C7.19K3
G50V	22S	156	70	50	32	25	8	81,5	G50S.70.B3.C7.22S7
K110	30	177	95	110	42	39	7	76,5	K110S.95.C1.C19.30K6
K110	35	177	95	110	42	39	7	76,5	K110S.95.C1.C19.30K12
K110	35J	177	95	110	42	39	7	76,5	K110S.95.C1.C19.35K13

Название резца	Тип вставки	Размеры, мм							Код
		<i>H</i>	<i>h</i>	<i>D</i>	<i>d</i>	<i>d</i> <sub>1</sub>	<i>B</i>	<i>l</i>	
M48	15,5	139	64	48	30	27	8	70,5	M48S.64.B4.C2.15K1
M48	17,5	139	64	48	30	27	8	70,5	M48S.64.C1.C2.17K2
M48	18S	139	64	48	30	27	8	70,5	M48S.64.B4.C2.18S4
M48	19,5	139	64	48	30	27	8	70,5	M48S.64.C1.C2.19K3
M48	22S	139	64	48	30	27	8	70,5	M48S.64.B4.C2.22S7
M54	18S	150	75	54	30	27	8	70,5	M54S.75.C1.C2.18S6
M70	19,5	140	64	70	30	27	8	70,5	M70S.64.B3.C2.19K3
M70/75	19,5	153	75	70	30	27	8	70,5	M70S.75.B3.C2.19K3
N40	12,3	129	64	40	25	20,2	8	60	N40S.64.B3.C1.12K7
N40	12S1	125	60	40	25	20,2	8	60	N40S.60.B3.C1.12S1
N40	9,3D	125	60	40	25	20,2	8	60	N40S.60.B3.C1.09D1
P70	25	156	80	70	38	34,8	7	70,5	P70S.80.C1.C5.25K5
P70	30	156	80	70	38	34,8	7	70,5	P70S.80.C1.C5.30K6
P80	25	156	80	80	38	34,8	7	70,5	P80S.80.C1.C5.25K5
P84	22S	159	82,5	84	38	34,8	7	70,5	P84S.82.E5.C5.22S7
Q60	18S	140	64	60	29,7	27	8	70,5	Q60S.64.B3.C2.18S6
Q60	19,5	140	64	60	29,7	27	8	70,5	Q60S.64.B3.C2.19K3
Q70	19,5	140	64	70	29,7	27	8	70,5	Q70S.64.B3.C2.19K3
Z70	22	143	75	70	34	31	7	61	Z70S.75.C1.C12.22K4
Z70	25	143	75	70	34	31	7	61	Z70S.75.C1.C12.25K5



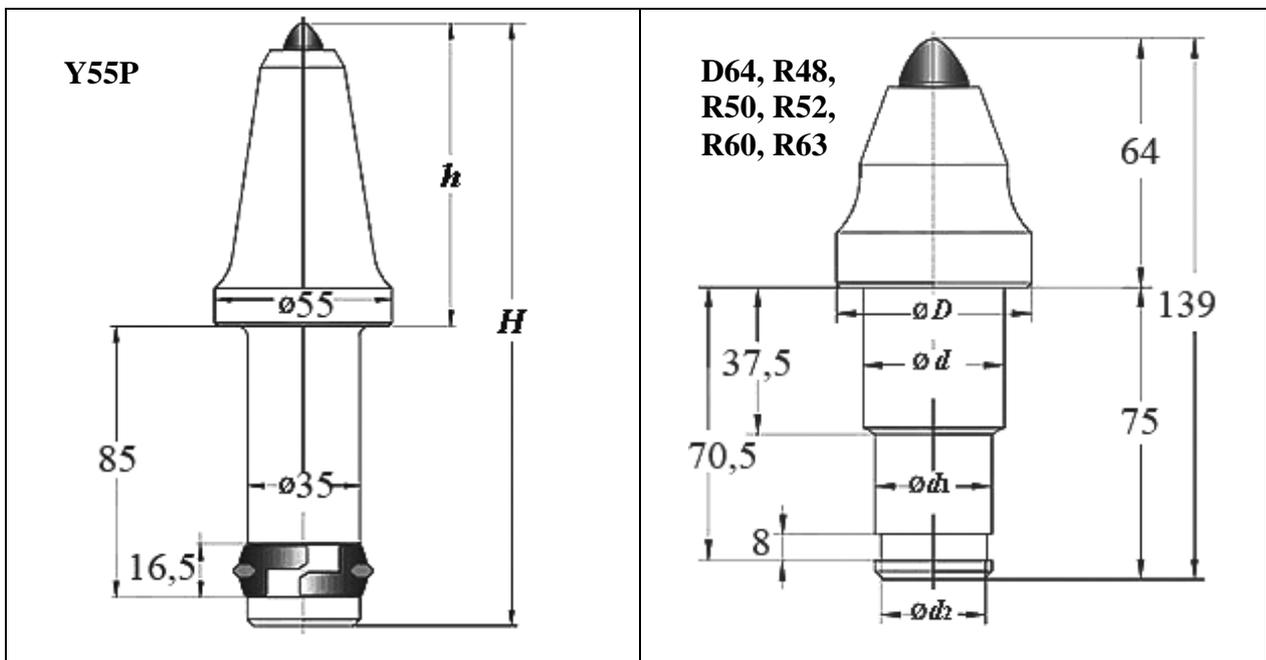
Название резца	Тип вставки	Размеры, мм							Код
		<i>H</i>	<i>h</i>	<i>D</i>	<i>d</i>	<i>d</i> <sub>1</sub>	<i>d</i> <sub>2</sub>	<i>B</i>	
D48	12,3	137	62	48	37,7	29,6	26,6	8	D48S.62.C1.D2.12K7
D48	17,5	139	64	48	37,7	29,6	26,6	8	D48S.64.C5.D2.17K7
D48	18S	139	64	48	37,7	29,6	26,6	8	D48S.64.C5.D2.18S6
D48	19,5	139	64	48	37,7	29,6	26,6	8	D48S.64.C1.D2.19K3
D48/78	17,5	153	78	48	37,7	29,6	26,6	8	D48S.78.C5.D2.17K2
D48/78	18S	153	78	48	37,7	29,6	26,6	8	D48S.78.C5.D2.18S6
D52	19,5	139	64	52	37,7	29,6	27	2,5	D52S.64.C5.D1.19K3
D64/76	19,5	151	76	64	37,7	29,6	26,6	8	D64S.76.C1.D1.19K3
R52	19,5	139	64	52	38	30	27	8	R52S.64.C1.D1.19K3
R52N	16S	139	64	52	38	30	27	2,5	R52S.64.C5.D3.16S5
R52N	17,5	139	64	52	38	30	27	2,5	R52S.64.C5.D3.17K2
R52N	19,5	139	64	52	38	30	27	2,5	R52S.64.C5.D3.19K3

Название резца	Тип вставки	Размеры, мм							Код
		<i>H</i>	<i>h</i>	<i>D</i>	<i>d</i>	<i>d</i> <sub>1</sub>	<i>B</i>	<i>l</i>	
M50N	12,3	162	86	50	30	25	4,6	70	M50S.86.B4.C4.12K7
M50N	15,5	156	80	50	30	25	4,6	70	M50S.80.B4.C4.15K1
M50N	16S	156	80	50	30	25	4,6	70	M50S.80.B4.C4.16S5
M50N/89	12,3	165	89	50	30	25	4,6	70	M50S.89.B4.C4.12K7
M54	15,5	150	75	54	30	25	4,6	70	M54S.75.B4.C4.15K1
M54	17,5	150	75	54	30	27	8	70,5	M54S.75.B4.C2.17K2
M54/90	16S	165	90	54	30	27	8	70,5	M54S.90.B4.C2.16S5
Q48/77	17,5	152	77	48	29,7	27	8	70,5	Q48S.77.B3.C2.12K7
Q54/77	17,5	153	77	54	29,7	27	8	70,5	Q54S.77.B4.C2.17K2



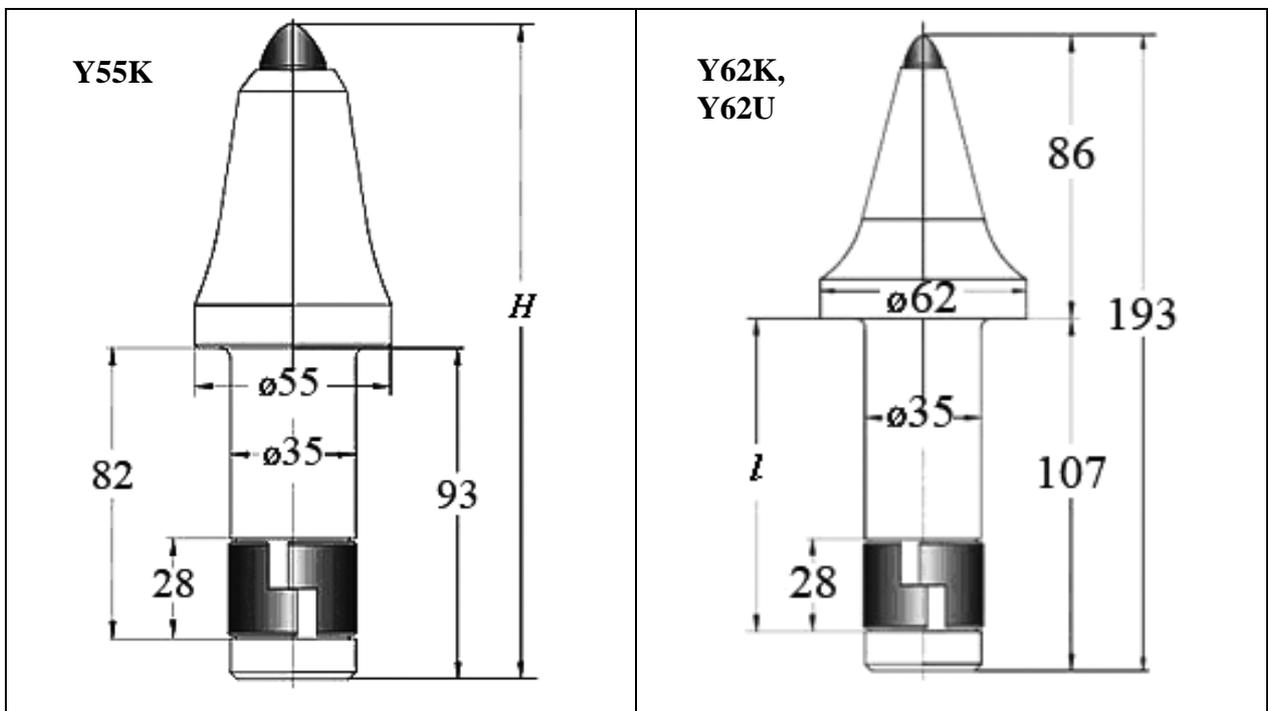
Название резца	Тип вставки	Размеры, мм			Код
		$H$	$h$	$D$	
R48/62	16S	137	62	48	R48S.62.C1.D1.16S5
R52	16S	137	64	52	R52S.64.C1.D1.16S5
R52/77	15,5	152	77	52	R52S.77.B3.D1.15K1
R52/77	17,5	152	77	52	R52S.77.B3.D1.17K2
R52/77	18S	152	77	52	R52S.77.C1.D1.19K3
R52/77	22S	152	77	52	R52S.77.C1.D1.22S7
R52/89	19,5	164	89	52	R52S.89.C1.D1.19K3
R52/89	22S	164	89	52	R52S.89.C1.D1.22S7

Название резца	Тип вставки	Размеры, мм		Код
		$H$	$h$	
G60KB/110	17,5	217	110	G60S.110B4.XD11.17C5
G60KB/110	18S	217	110	G60S.110B4.XD11.18S6
G60KB/90	17,5	197	90	G60S.90B4.XD11.17C5
P60R/110	17,5	217	110	P60S.110.B4.D11.17K2
P60R/110	18S	217	110	P60S.110.B4.D11.18S6
P60R/90	17,5	197	90	P60S.90.B4.D11.17K2
P60R/90	18S	197	90	P60S.90.B4.D11.18S6



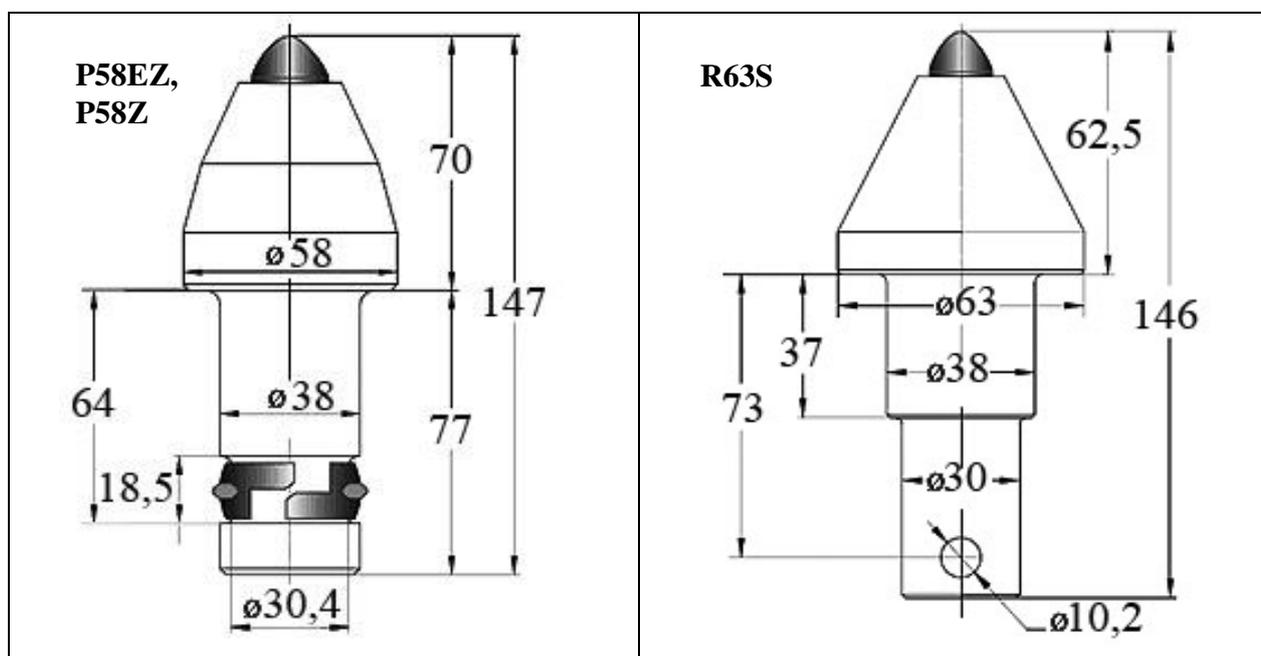
Название резца	Тип вставки	Размеры, мм		Код
		$H$	$h$	
Y55P/89	19,5	184	90	Y55S.89.B4.P3.19K3
Y55P/95	17,5	189	95	Y55S.95.B4.P3.17K2
Y55P/95	18S	189	95	Y55S.95.B4.P3.18S6
Y55P/102	15,5	195	102	Y55S.102.B4.P3.15K1
Y55P/102	16S	195	102	Y55S.102.B4.P3.16S5
Y55P/102	19,5	195	102	Y55S.102.B4.P3.19K3

Название резца	Тип вставки	Размеры, мм				Код
		$D$	$d$	$d_1$	$d_2$	
D64	19,5	64	37,7	29,6	26,6	D64S.64.C1.D2.19K3
R48	16S	48	38	30	27	R48S.64.B3.D1.16S5
R50	19,5	50	38	30	27	R50S.64.C1.D1.19K3
R52	22	52	38	30	27	R52S.64.C1.D1.22K4
R60	19,5	60	38	30	27	R60S.64.C1.D1.19K3
R63	22	63	38	30	27	R63S.64.C1.D1.22K4

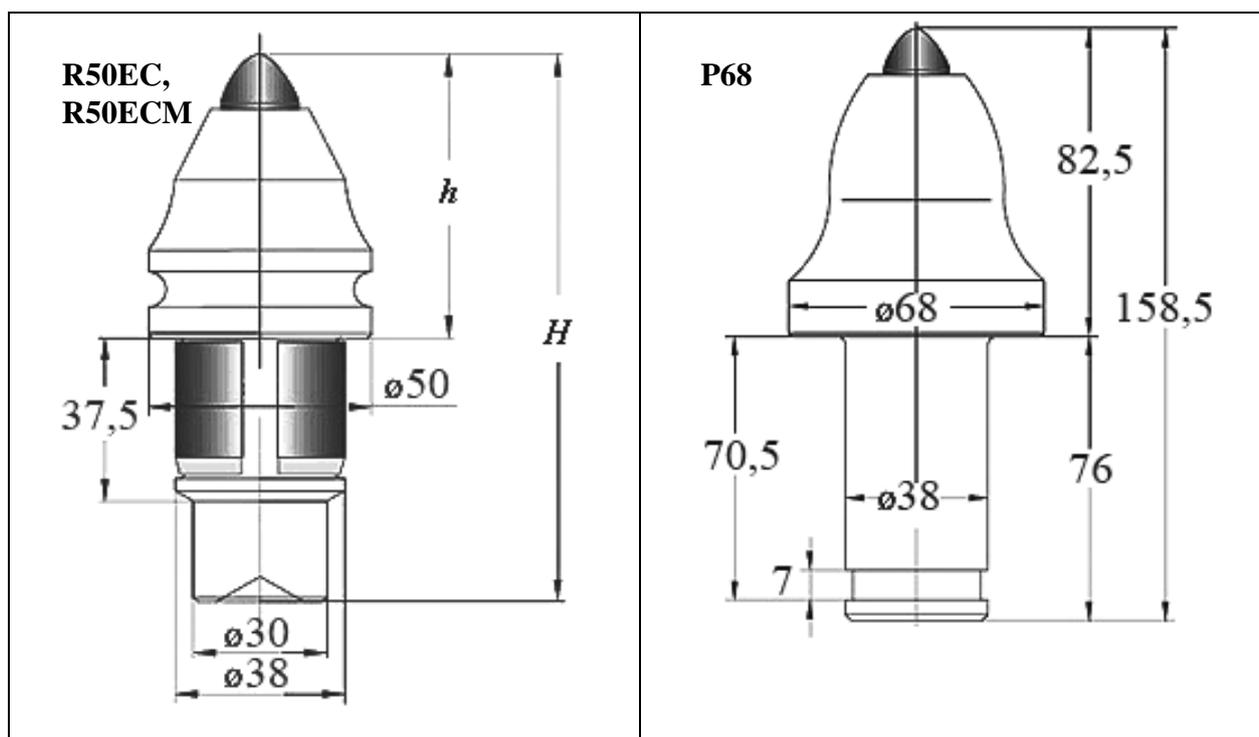


Название резца	Тип вставки	Размеры, мм	Код
		<i>H</i>	
Y55K/100	17,5	193	Y55S.100.B4.P14.17K2
Y55K/100	18S	193	Y55S.100.B4.P14.18S4
Y55K/100	19,5	193	Y55S.100.B4.P14.19K3
Y55K/90	18S	183	Y55S.90.B4.P14.18S6
Y55K/90	19,5	183	Y55S.90.B4.P14.19K3

Название резца	Тип вставки	Размеры, мм	Код
		<i>l</i>	
Y62K/86	11	95	Y62S.86.B4.P9.11K9
Y62K/86	12,3	95	Y62S.86.B4.P9.12K7
Y62U/86	11	67,5	Y62S.86.B4.P8.11K9
Y62U/86	12,3	67,5	Y62S.86.B4.P8.12K7

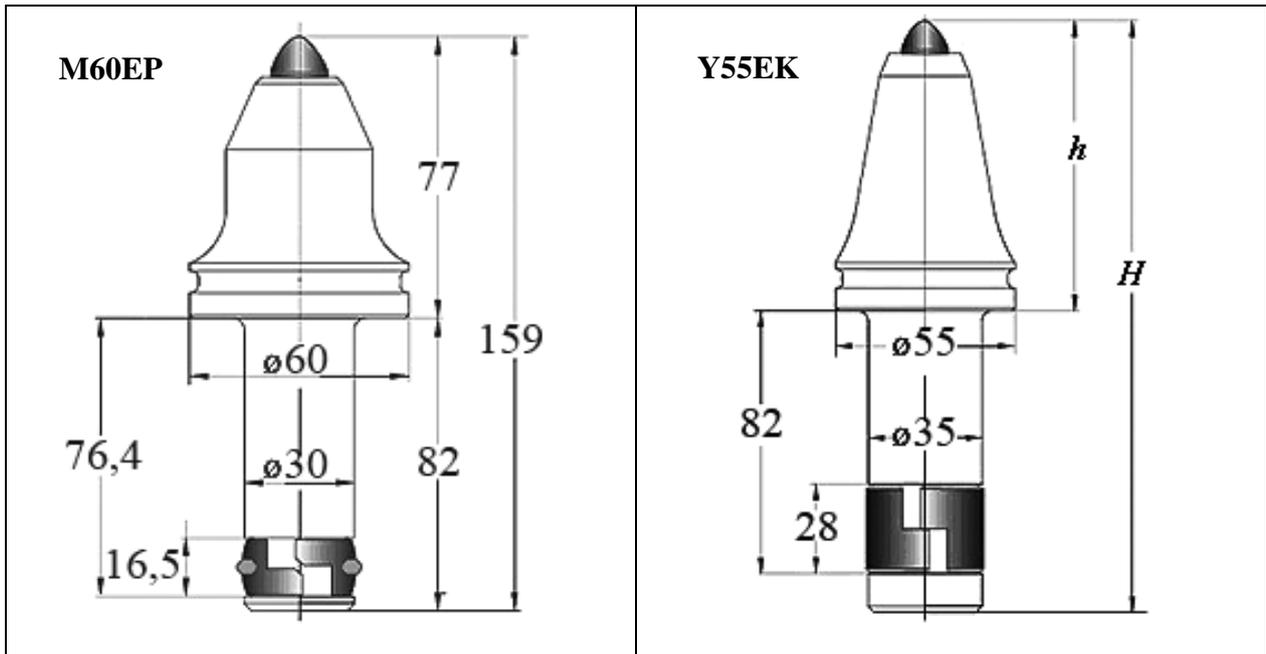


Название резца	Тип вставки	Код
P58EZ	22	P58E.70.A2.P4.22K4
P58EZ	22S	P58E.70.A2.P4.22S7
P58Z	22	P58S.70.A2.P4.25S8
P58Z	22S	P58S.70.A2.P4.22S7
R63S	16S	R63S.62.A1.H2.16S5
R63S	17,5	R63S.62.A1.H2.17K2
R63S	18S	R63S.62.A1.H2.18S6
R63S	18S4	R63S.62.A1.H2.18S4



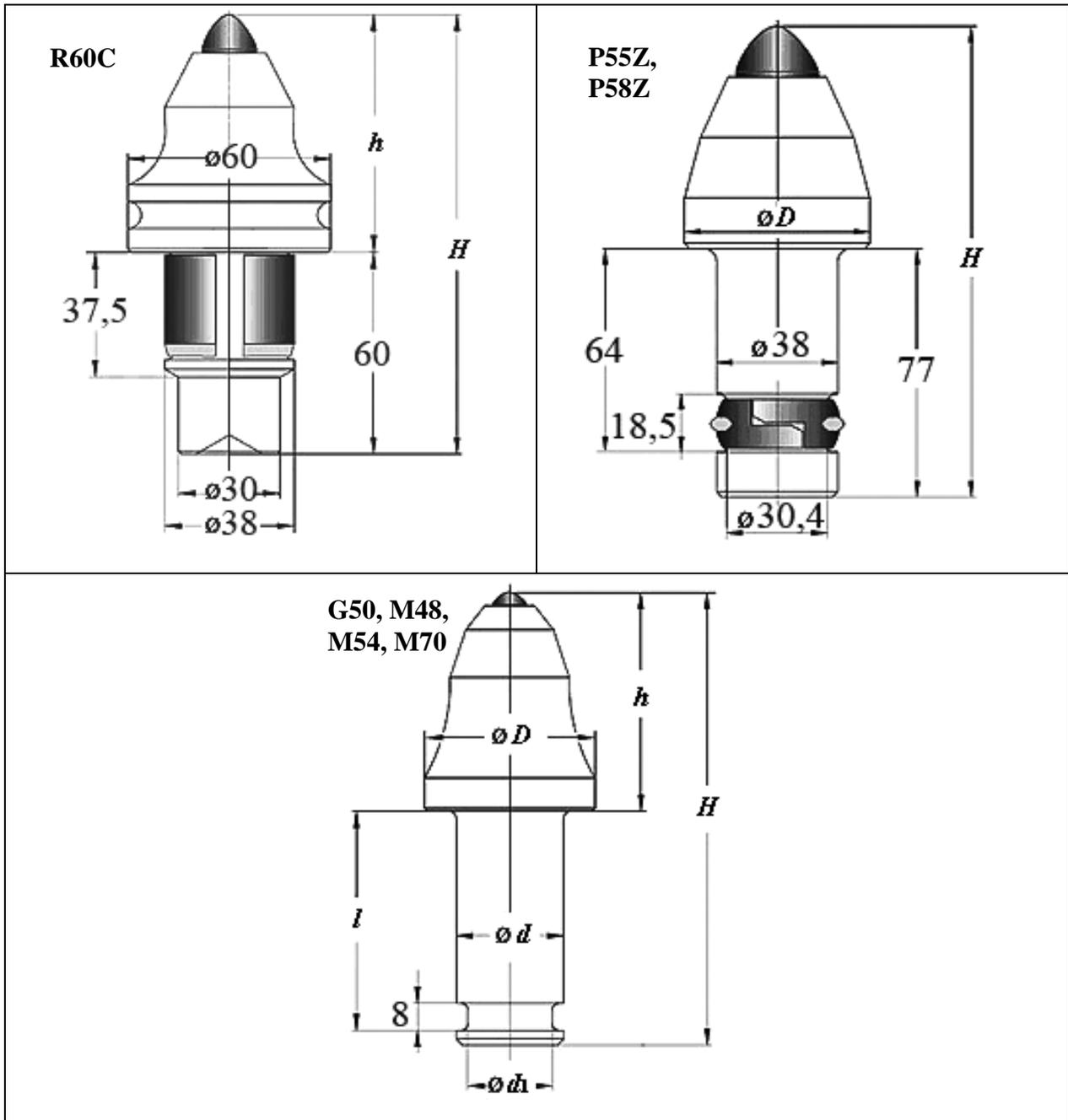
Название резца	Тип вставки	Размеры, мм		Код
		$H$	$h$	
R50EC	22	130,5	70,5	R50E.70.C1.D4.22K4
R50EC	17,5	130,5	70,5	R50E.70.C1.D4.17K2
R50EC	19,5	125	65	R50E.65.C1.D4.19K3
R50ECM	17,5	144	70,5	R50E.70.C1.D5.17K2

Название резца	Тип вставки	Код
P68	22	P68S.82.E5.C5.22K4
P68	25	P68S.82.E5.C5.25K5
P68	19,5	P68S.82.E5.C5.19K3
P68	22S	P68S.82.E5.C5.22S7



Название резца	Тип вставки	Код
M60EP	17,5	M60E.77.C5.P2.17K2
M60EP	18S4	M60E.77.C5.P2.18S4
M60EP/90	17,5	M60E.90.C5.P2.17K2
M60EP/90	18S	M60E.90.C5.P2.18S6

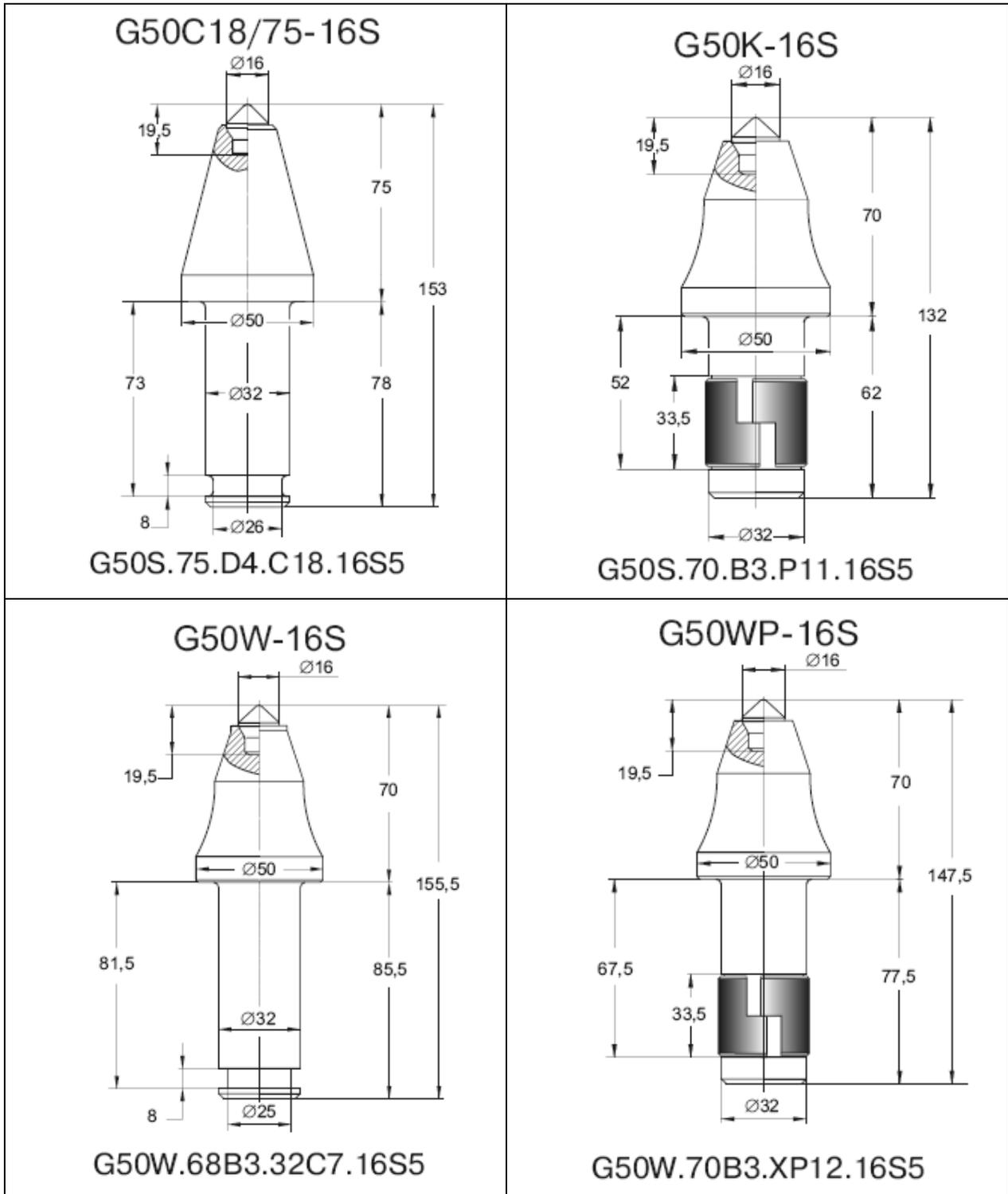
Название резца	Тип вставки	Размеры, мм		Код
		<i>H</i>	<i>h</i>	
Y55EK/90	18S	183	90	Y55E.90.B4.P14.18S6
Y55EK/102	15,5	196	102	Y55E.102.B3.P14.15K1
Y55EK/102	16S	196	102	Y55E.102.B3.P14.16S5

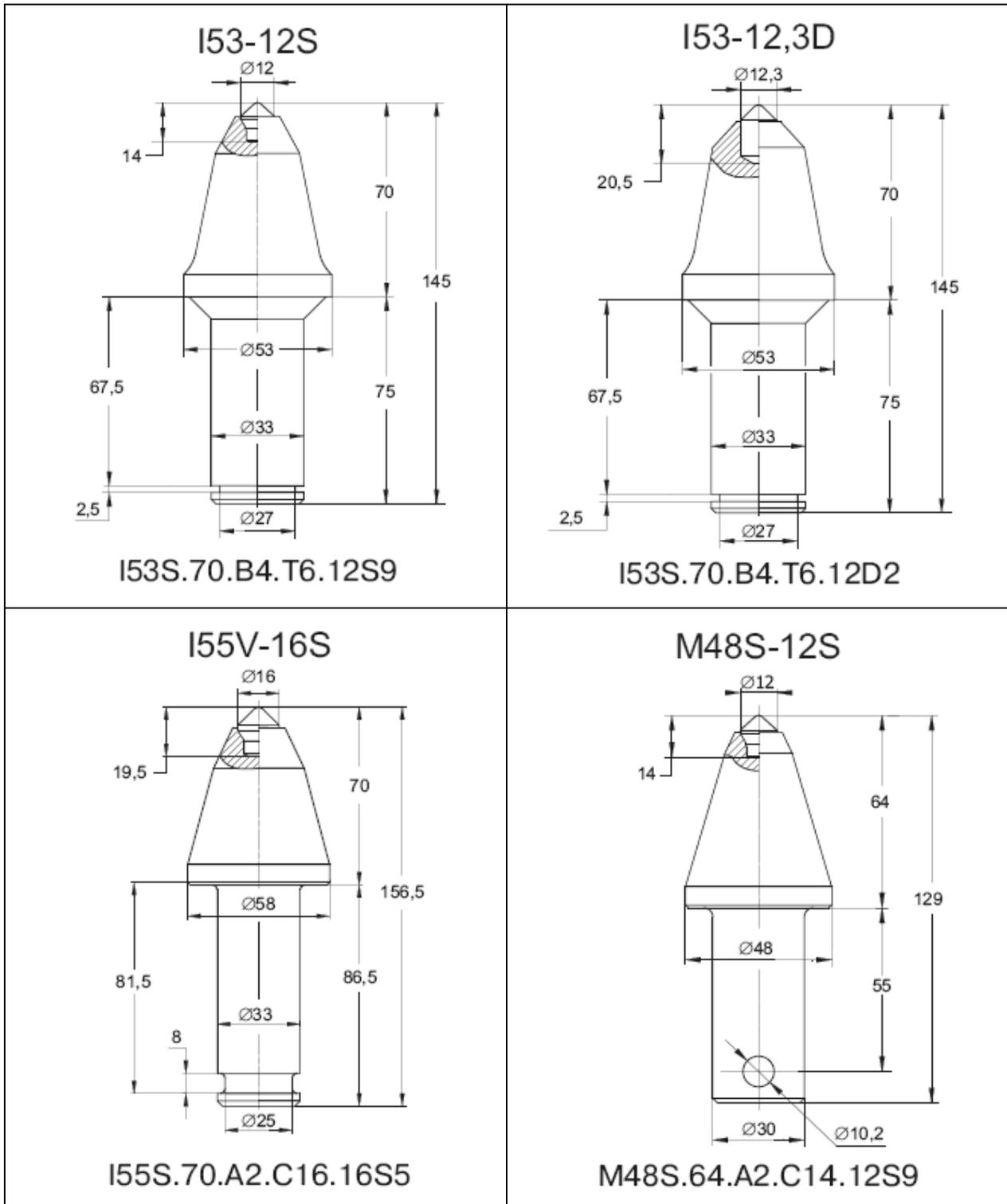


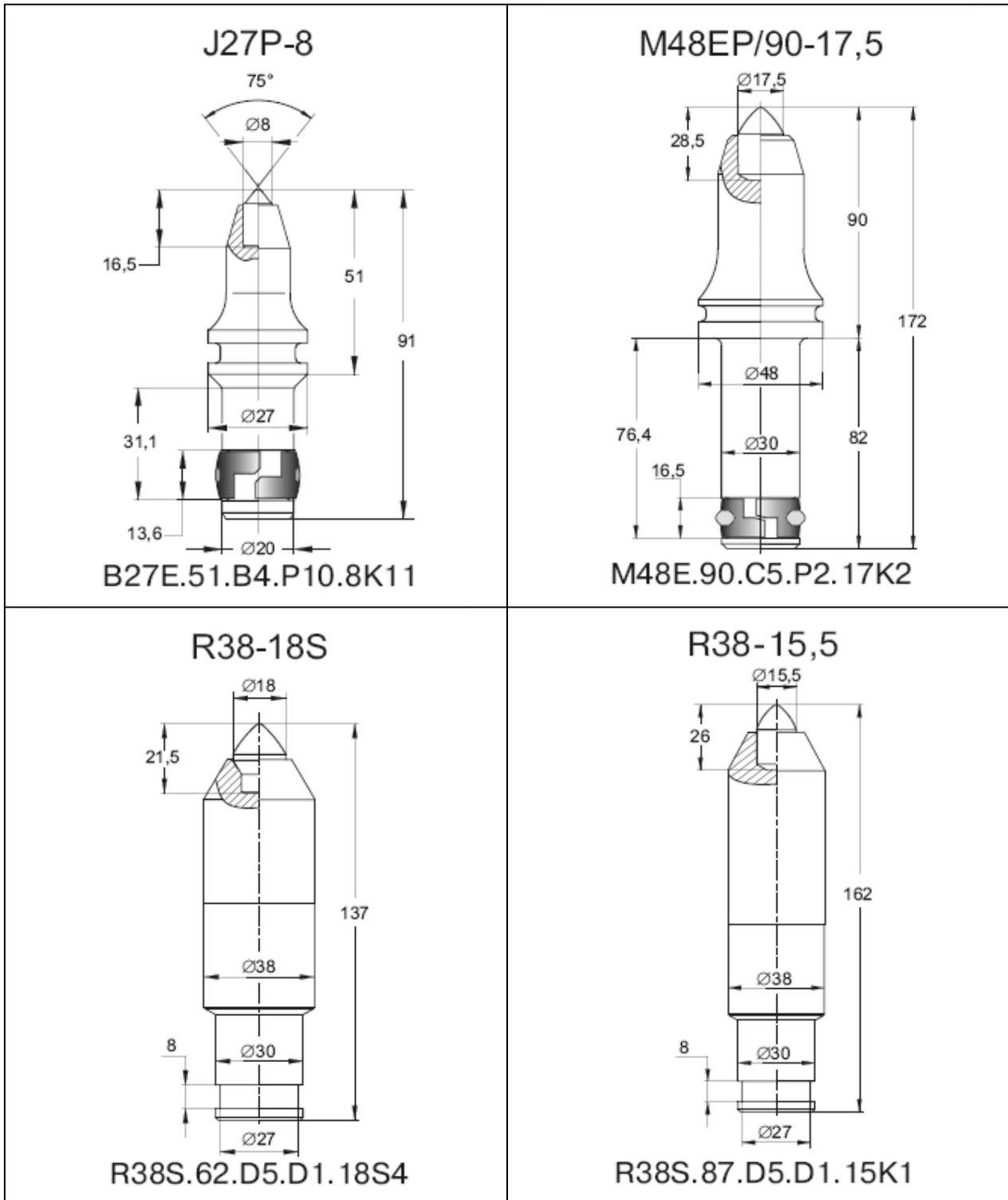
Название резца	Тип вставки	Размеры, мм		Код
		$H$	$h$	
R60C	22	130,5	70,5	R60E.70.C1.D4.22K4
R60C	17,5	130,5	70,5	R60E.70.C1.D4.17K2
R60C	19,5	125	65	R60E.65.C1.D4.19K3

Название резца	Тип вставки	Размеры, мм		Код
		$H$	$D$	
P55Z	17,5	154	55	P55S.77.A3.P4.17K2
P58Z	22	147	58	P58S.70.A2.P4.22K4
P58Z	25	147	58	P58S.70.A2.P4.25K5

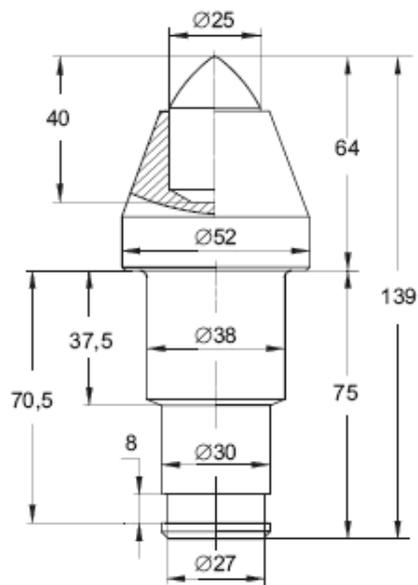
Название резца	Тип вставки	Размеры, мм						Код
		<i>H</i>	<i>h</i>	<i>D</i>	<i>d</i>	<i>d</i> <sub>1</sub>	<i>l</i>	
G50	12S	140	70	50	32	25	66	G50S.70.B3.C3.12S9
M48/77	12,3D	150	77	48	30	25	70	M48S.77.B4.C17.12D2
M54	19,5	150	75	54	30	27	71	M54S.75.C5.C2.19K3
M70/70	25	145	70	70	30	27	71	M70S.70.C5.C2.25K5





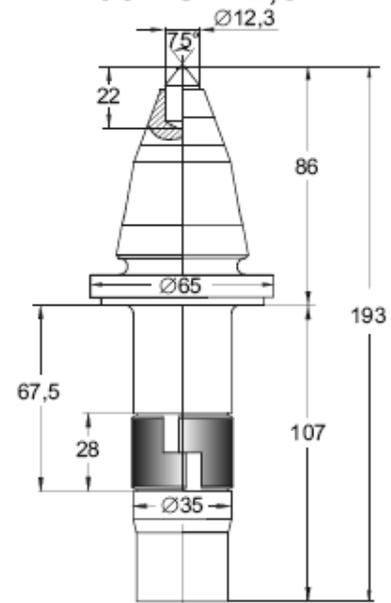


R52-25



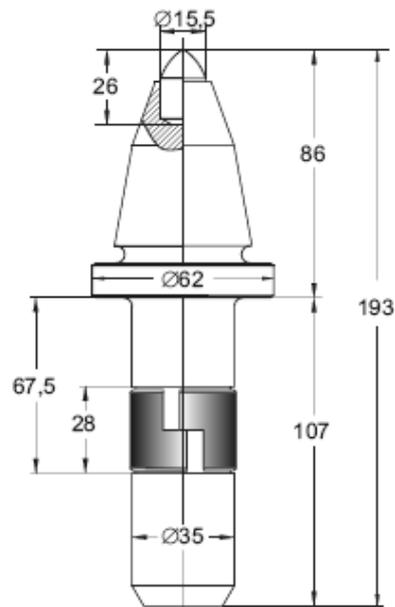
R52S.64.D4.D1.25K5

Y65EU-12,3



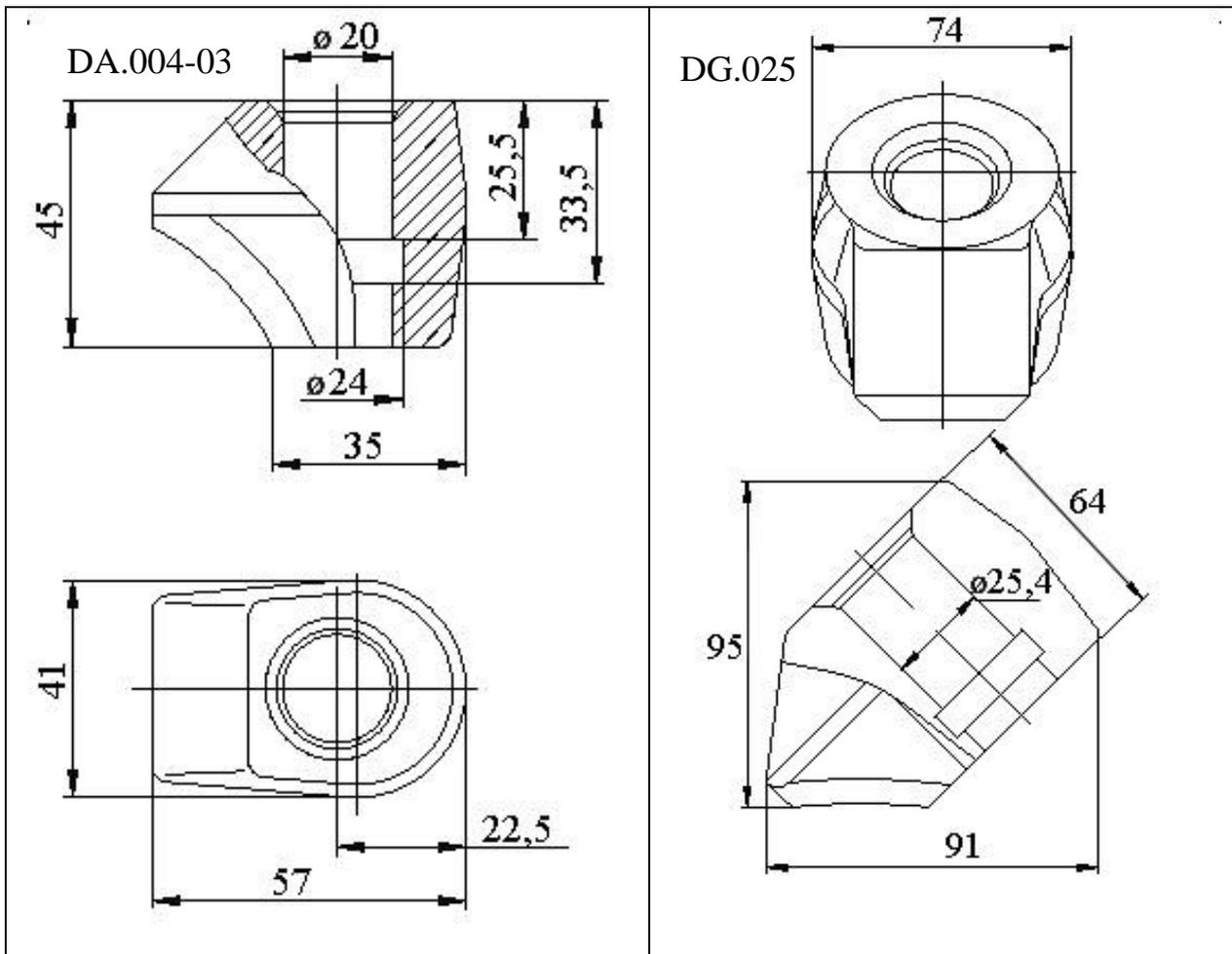
Y65E.86.B4.P8.12K7

Y65EU-15,5

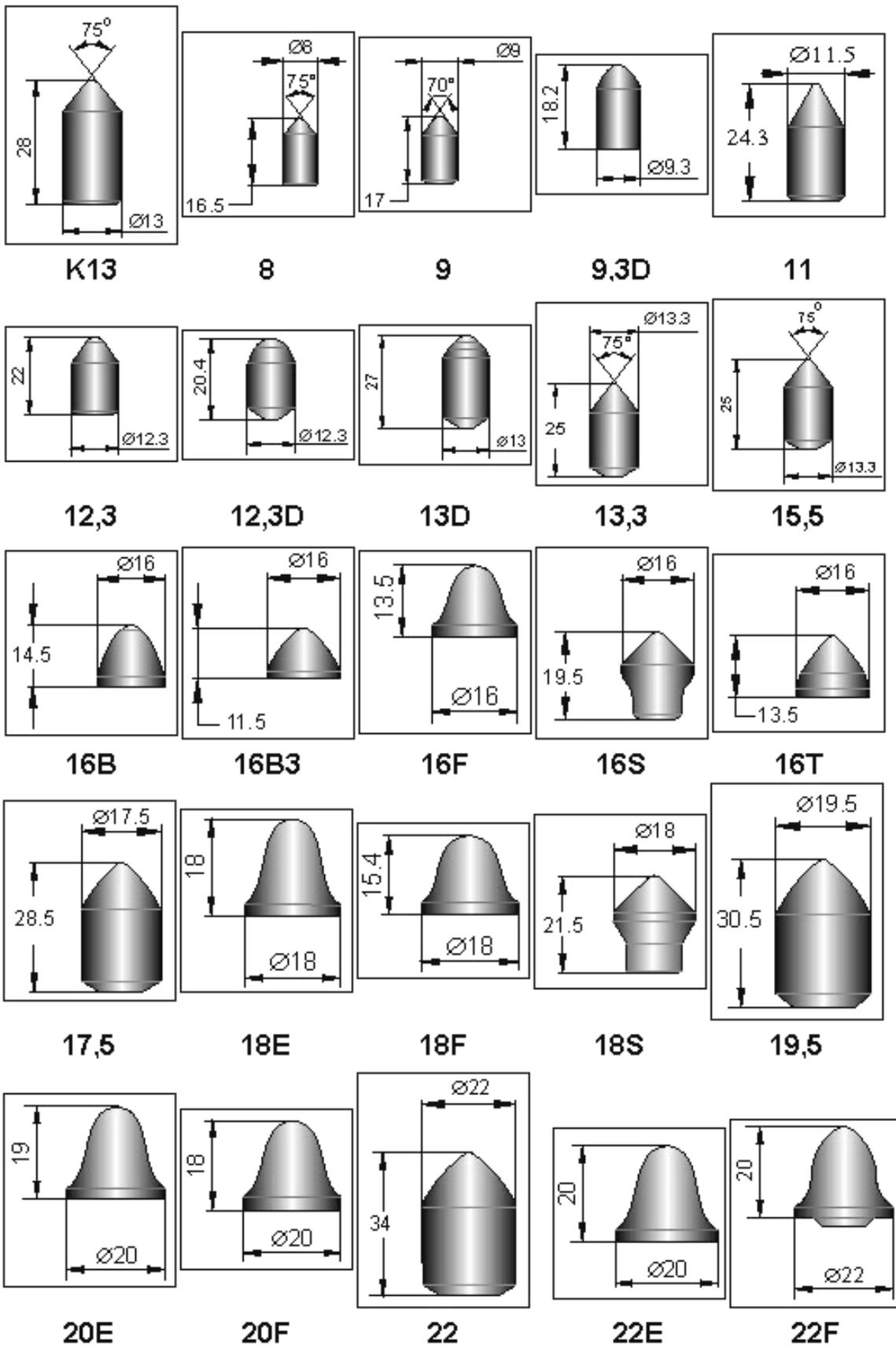


Y65E.86.A2.P8.15K1

## 8.2. Резцедержатели



### 8.3. Твердосплавные вставки



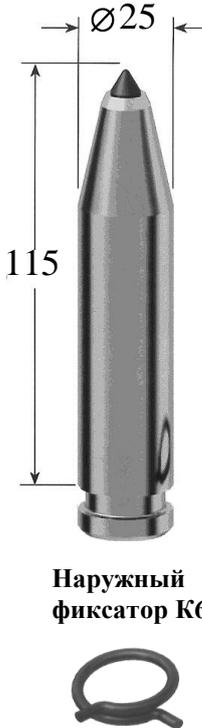
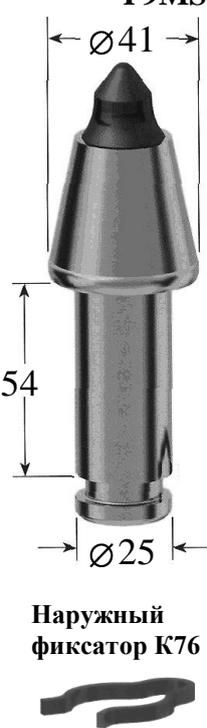
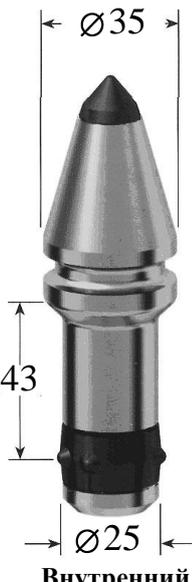
Существуют вставки: 12S, 12S1, 16S2, 18S4, 22S, 25, 25S, 30, 35, 35J.

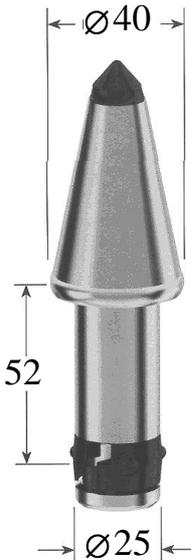
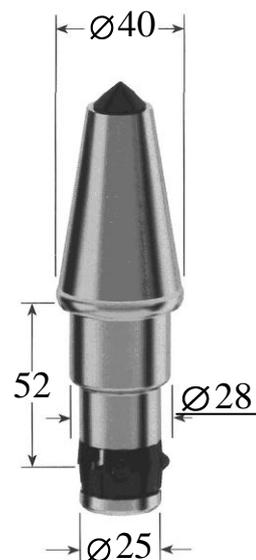
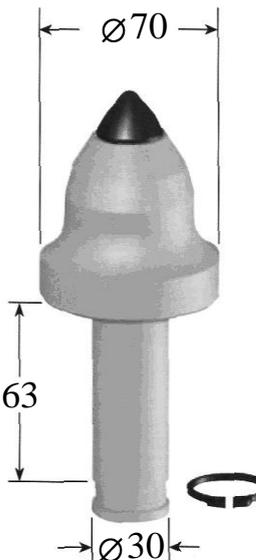
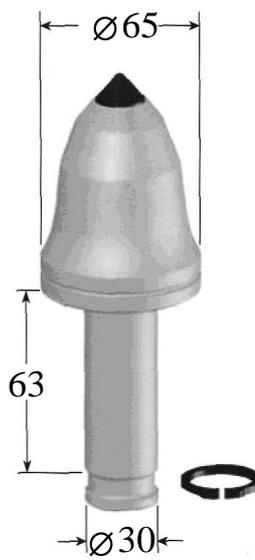
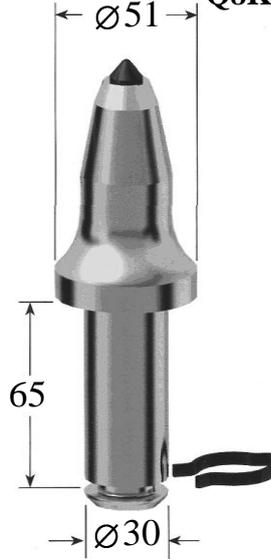
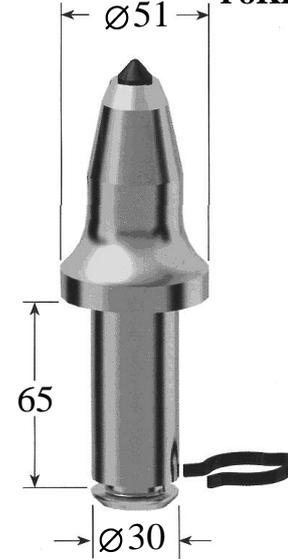
## **ПРИЛОЖЕНИЕ 9**

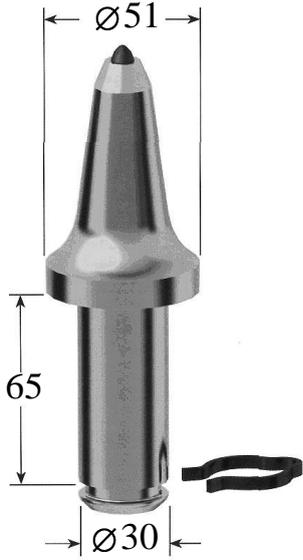
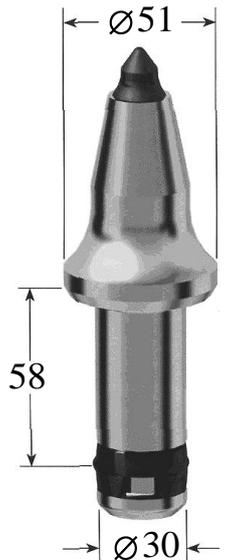
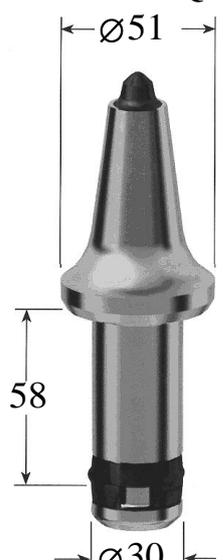
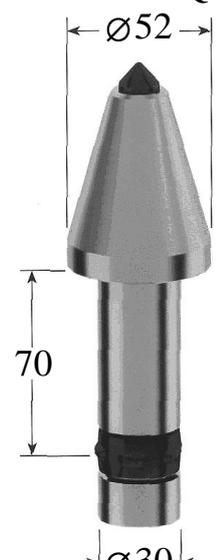
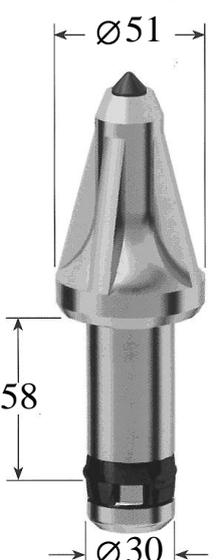
**Режущий инструмент компании “Sandvik”**

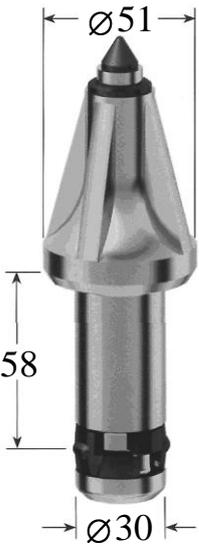
## 9.1. Тангенциальные поворотные резцы

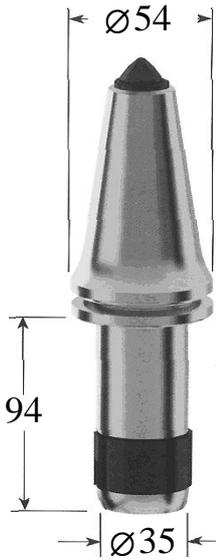
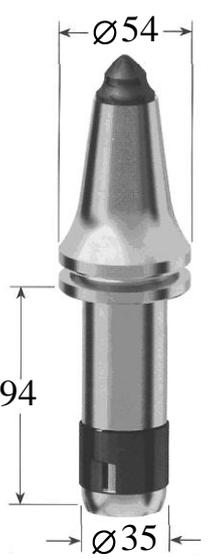
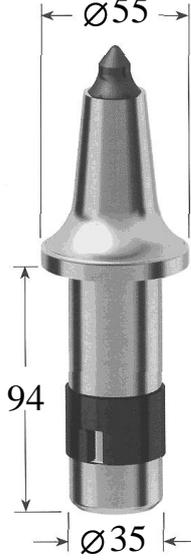
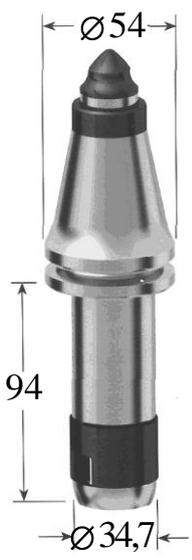
(резцы “Sandvik” представлены в различных вариантах с вылетом от 60,9 до 84,2 мм; диаметры хвостовиков – 25, 30, 34,7, 35, 38, 51 мм; резцы отличаются друг от друга конструктивным исполнением керн из твердосплавного материала)

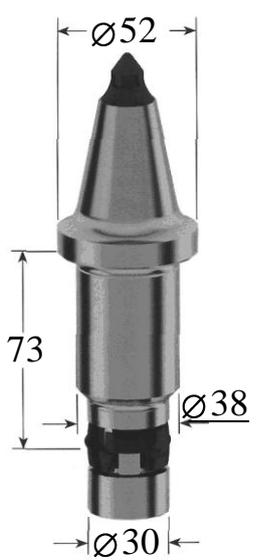
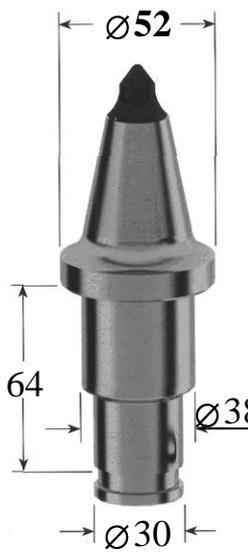
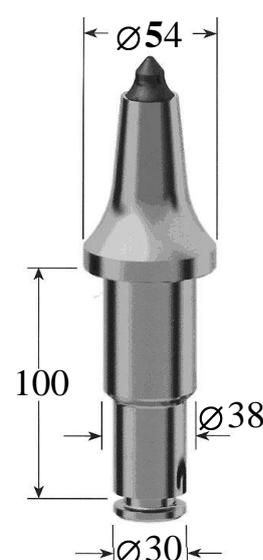
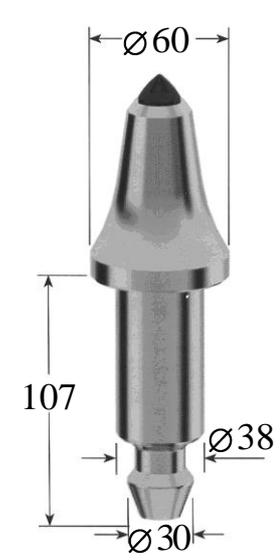
<p style="text-align: center;"><b>POMS</b></p>  <p style="text-align: center;">Наружный фиксатор K60</p>	<p style="text-align: center;"><b>P7MS</b></p>  <p style="text-align: center;">Наружный фиксатор K76</p>	<p style="text-align: center;"><b>Q7MS</b></p>  <p style="text-align: center;">Наружный фиксатор K76</p>	<p style="text-align: center;"><b>P9MS</b></p>  <p style="text-align: center;">Наружный фиксатор K76</p>
<p style="text-align: center;"><b>P9XJ</b></p>  <p style="text-align: center;">Фиксатор втулки K09</p> <p style="text-align: center;">Наружный фиксатор K76</p>	<p style="text-align: center;"><b>Q7MF</b></p>  <p style="text-align: center;">Наружный фиксатор K76</p>	<p style="text-align: center;"><b>P9QA</b></p>  <p style="text-align: center;">Внутренний фиксатор K66</p>	<p style="text-align: center;"><b>P9AA</b></p>  <p style="text-align: center;">Внутренний фиксатор K66</p>

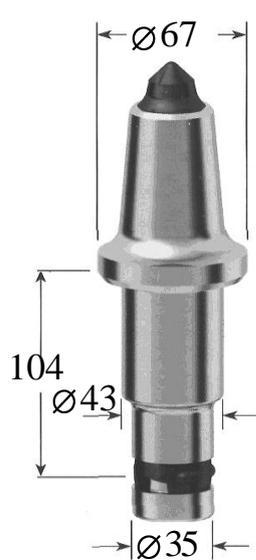
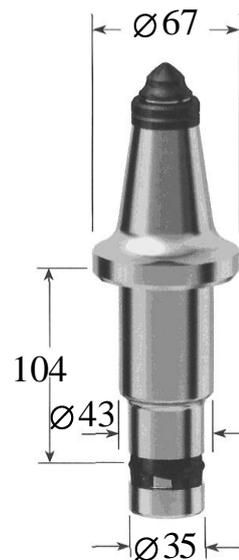
<p style="text-align: center;"><b>Q7AA</b></p>  <p style="text-align: center;">Внутренний фиксатор K66</p>	<p style="text-align: center;"><b>Q7BA</b></p>  <p style="text-align: center;">Внутренний фиксатор K66</p>	<p style="text-align: center;"><b>P4KS</b></p>  <p style="text-align: center;">Наружный фиксатор M8C-0033</p>	<p style="text-align: center;"><b>P5KS</b></p>  <p style="text-align: center;">Наружный фиксатор M8C-0033</p>
<p style="text-align: center;"><b>Q8KF</b></p>  <p style="text-align: center;">Наружный фиксатор K37</p>	<p style="text-align: center;"><b>P8KD</b></p>  <p style="text-align: center;">Наружный фиксатор K37</p>	<p style="text-align: center;"><b>Q8KD</b></p>  <p style="text-align: center;">Наружный фиксатор K37</p>	<p style="text-align: center;"><b>W8KD</b></p>  <p style="text-align: center;">Наружный фиксатор K37</p>

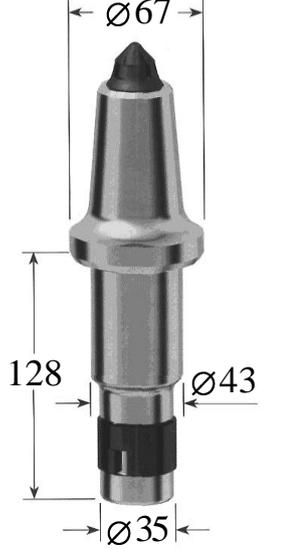
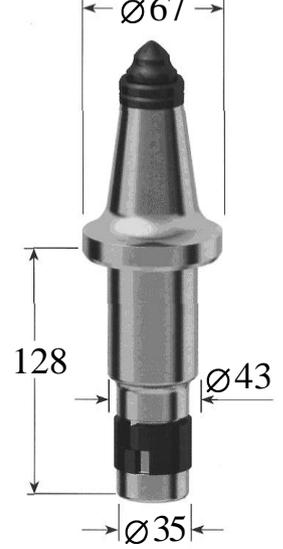
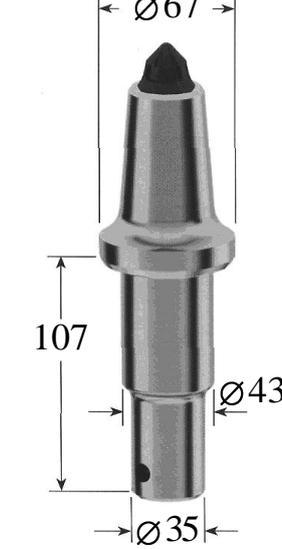
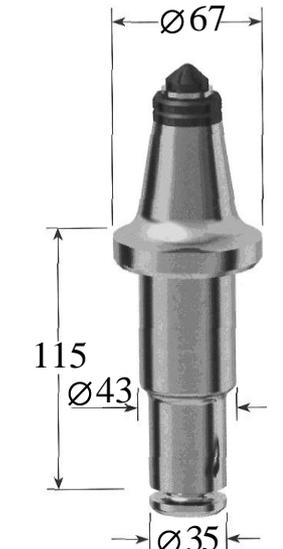
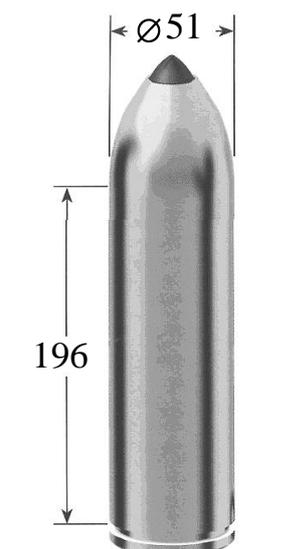
<p><b>Q8KX</b></p>  <p>Наружный фиксатор K76</p>	<p><b>P6AA</b></p>  <p>Внутренний фиксатор K90</p>	<p><b>P8AA</b></p>  <p>Внутренний фиксатор K90</p>	<p><b>Q8AA</b></p>  <p>Внутренний фиксатор K90</p>
<p><b>Q8AX</b></p>  <p>Внутренний фиксатор K90</p>	<p><b>Q2AA</b></p>  <p>Внутренний фиксатор K90</p>	<p><b>Q8TA</b></p>  <p>Внутренний фиксатор M8C-0018</p>	<p><b>Q8AF</b></p>  <p>Внутренний фиксатор K90</p>

<p style="text-align: center;"><b>T8AF</b></p>  <p style="text-align: center;">Внутренний фиксатор К90</p>	<p style="text-align: center;"><b>T8AA</b></p>  <p style="text-align: center;">Внутренний фиксатор К90</p>	<p style="text-align: center;"><b>Q6AR</b></p>  <p style="text-align: center;">Внутренний фиксатор М8С-0020</p>	<p style="text-align: center;"><b>Q7AR</b></p>  <p style="text-align: center;">Внутренний фиксатор К36</p>
<p style="text-align: center;"><b>W7AR</b></p> 	<p style="text-align: center;"><b>W7AX</b></p> 	<p style="text-align: center;"><b>Q7AX</b></p>  <p style="text-align: center;">Внутренний фиксатор К36</p>	<p style="text-align: center;"><b>Q9AR</b></p>  <p style="text-align: center;">Внутренний фиксатор К76</p>

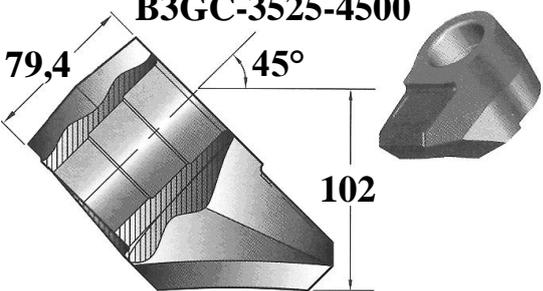
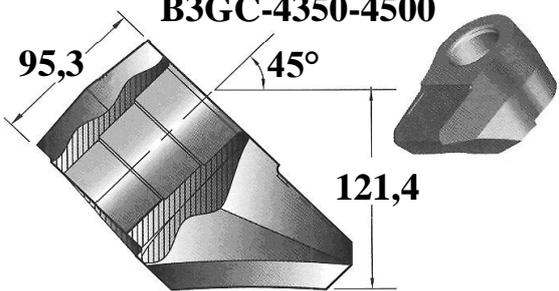
<p style="text-align: center;"><b>Q9AA</b></p>  <p style="text-align: center;"><b>Внутренний фиксатор К36</b></p>	<p style="text-align: center;"><b>W6JA</b></p>  <p style="text-align: center;"><b>Внутренний фиксатор М8С-0028</b></p>	<p style="text-align: center;"><b>Q6JA</b></p>  <p style="text-align: center;"><b>Внутренний фиксатор М8С-0028</b></p>	<p style="text-align: center;"><b>Q7JA</b></p>  <p style="text-align: center;"><b>Внутренний фиксатор втулки К35</b></p>
<p style="text-align: center;"><b>Q7JX</b></p>  <p style="text-align: center;"><b>Внутренний фиксатор втулки К35</b></p>	<p style="text-align: center;"><b>W6JX</b></p>  <p style="text-align: center;"><b>Внутренний фиксатор втулки М8С-0028</b></p>	<p style="text-align: center;"><b>Q7MR</b></p>  <p style="text-align: center;"><b>Наружный фиксатор К30</b></p> 	<p style="text-align: center;"><b>Q7MX</b></p>  <p style="text-align: center;"><b>Наружный фиксатор К30</b></p> 

<p style="text-align: center;"><b>Q2VA</b></p>  <p style="text-align: center;"><b>Внутренний фиксатор K90</b></p>	<p style="text-align: center;"><b>P4XS</b></p>  <p style="text-align: center;"><b>Наружный фиксатор M8C-0033</b></p>	<p style="text-align: center;"><b>Q2DS</b></p>  <p style="text-align: center;"><b>Наружный фиксатор M8C-0033</b></p>	<p style="text-align: center;"><b>Q3DS</b></p>  <p style="text-align: center;"><b>Наружный фиксатор K86</b></p>
<p style="text-align: center;"><b>Q6EC</b></p>  <p style="text-align: center;"><b>Наружный фиксатор K04</b></p>	<p style="text-align: center;"><b>Q7YM</b></p> 	<p style="text-align: center;"><b>P4AA</b></p>  <p style="text-align: center;"><b>Внутренний фиксатор M8C-0016</b></p>	<p style="text-align: center;"><b>Q7AA</b></p>  <p style="text-align: center;"><b>Внутренний фиксатор K96</b></p>

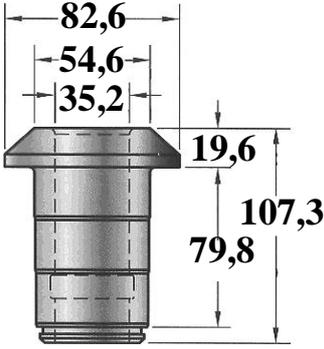
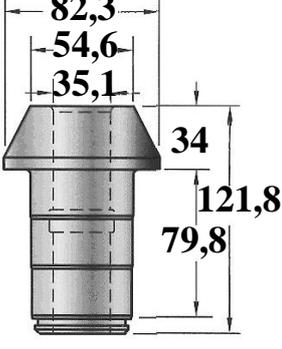
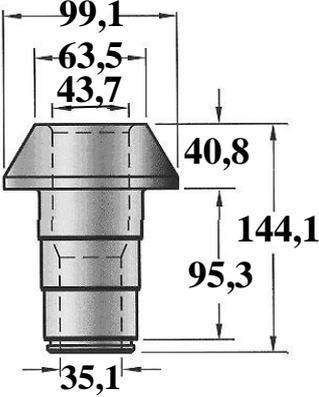
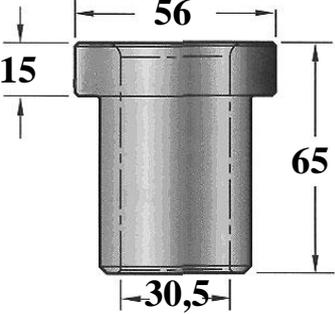
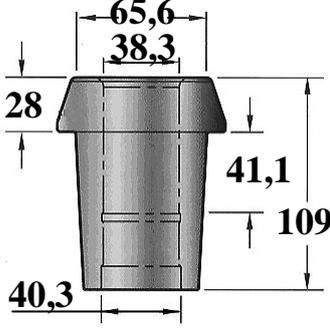
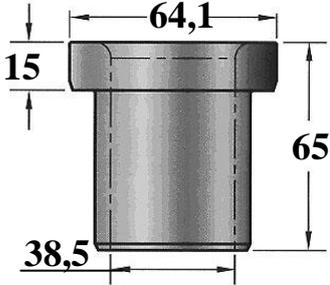
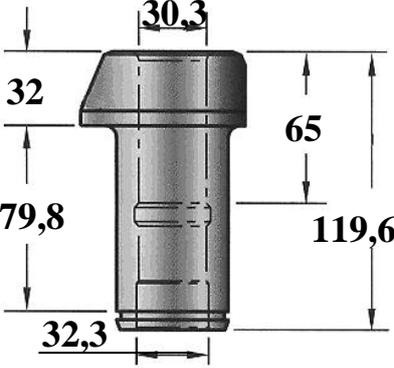
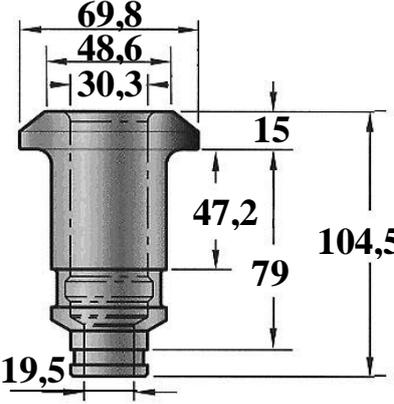
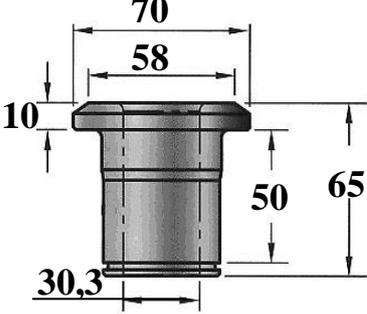
<p style="text-align: center;"><b>Q7AU</b></p>  <p style="text-align: center;">Внутренний фиксатор K93</p>	<p style="text-align: center;"><b>Q7AD</b></p>  <p style="text-align: center;">Внутренний пластиковый фиксатор K80</p>	<p style="text-align: center;"><b>Q7AW</b></p>  <p style="text-align: center;">Внутренний фиксатор K93</p>	<p style="text-align: center;"><b>Q7AP</b></p>  <p style="text-align: center;">Внутренний пластиковый фиксатор K80</p>
<p style="text-align: center;"><b>P7JU</b></p>  <p style="text-align: center;">Длинный фиксатор K47SLV</p>	<p style="text-align: center;"><b>P4MS</b></p>  <p style="text-align: center;">Наружный фиксатор M8C-0033</p>	<p style="text-align: center;"><b>Q3AR</b></p>  <p style="text-align: center;">Внутренний фиксатор K36</p>	<p style="text-align: center;"><b>W3AR</b></p> 

<p style="text-align: center;"><b>Q3JX</b></p>  <p style="text-align: center;"><b>Внутренний фиксатор втулки К35</b></p>	<p style="text-align: center;"><b>Q3XA</b></p>  <p style="text-align: center;"><b>Внутренний фиксатор втулки К35</b></p>	<p style="text-align: center;"><b>W3XA</b></p> 	<p style="text-align: center;"><b>Q3HA</b></p> 
<p style="text-align: center;"><b>Q3XD</b></p>  <p style="text-align: center;"><b>Наружный фиксатор К30</b></p> 	<p style="text-align: center;"><b>W3XD</b></p>  <p style="text-align: center;"><b>Наружный фиксатор</b></p> 	<p style="text-align: center;"><b>POMS</b></p>  <p style="text-align: center;"><b>Внешний фиксатор М8С-0049</b></p> 	<p style="text-align: center;"><b>POMX</b></p>  <p style="text-align: center;"><b>Внешний фиксатор К02</b></p> 

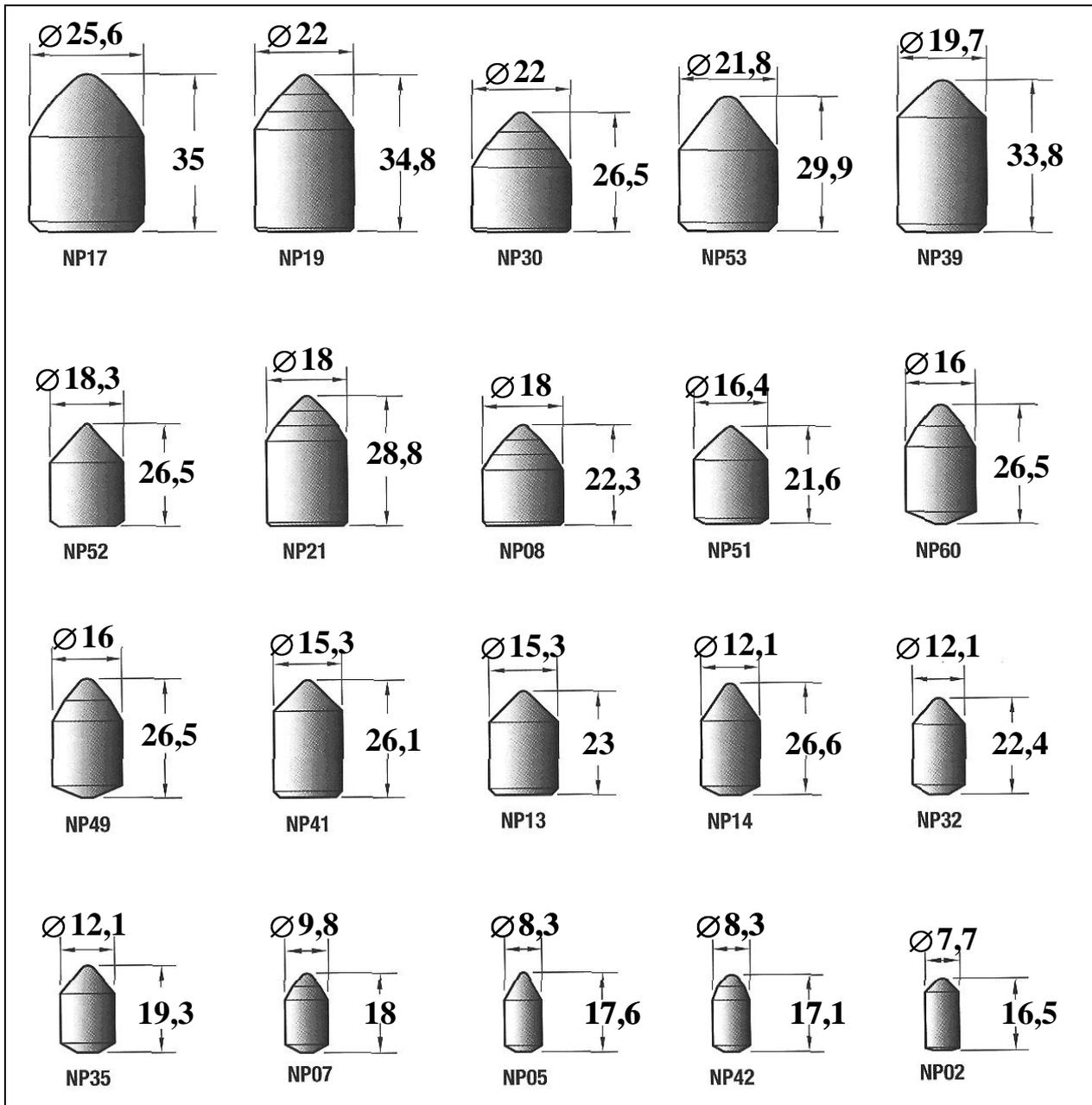
## 9.2. Резцедержатели

 <p><b>B3GC-3525-4500</b></p> <p>79,4 45° 102</p>	 <p><b>B3GC-4350-4500</b></p> <p>95,3 45° 121,4</p>
<p>Данный резцедержатель предназначен для использования со стандартными переходными втулками: C2AG-4920-3500, C2AG-4934-3500</p>	<p>Данный резцедержатель предназначен для использования с тремя широкими втулками. Втулка скользящей ступенчатой посадки для использования с инструментом 43×35 мм со ступенчатой державкой. Втулка оснащена канавкой для внешней фиксации. C2LG-4341-5900</p>

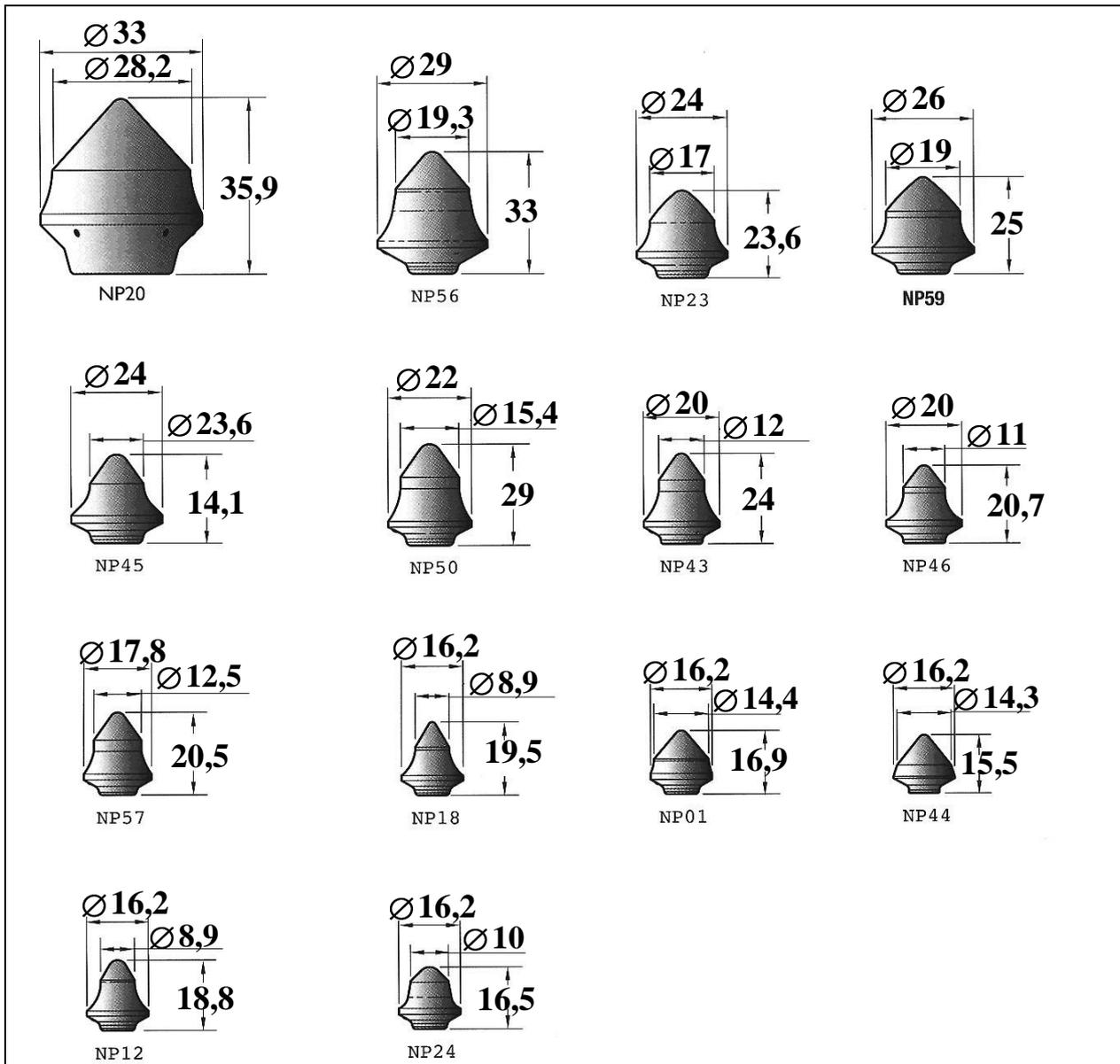
## 9.3. Переходные втулки

<p><b>C2AG-4920-3500</b></p> 	<p><b>C2AG-4934-3500</b></p> 	<p><b>C2LG-4341-5900</b></p> 
<p><b>C2AG-4920-3500</b></p> 	<p><b>C2AG-4920-3500</b></p> 	<p><b>C4BB-3815-4800</b></p> 
<p><b>C4PA-3032-5000-MF</b></p> 	<p><b>C4PA-3032-5000-MF</b></p> 	<p><b>C4BU-3010-4700</b></p> 

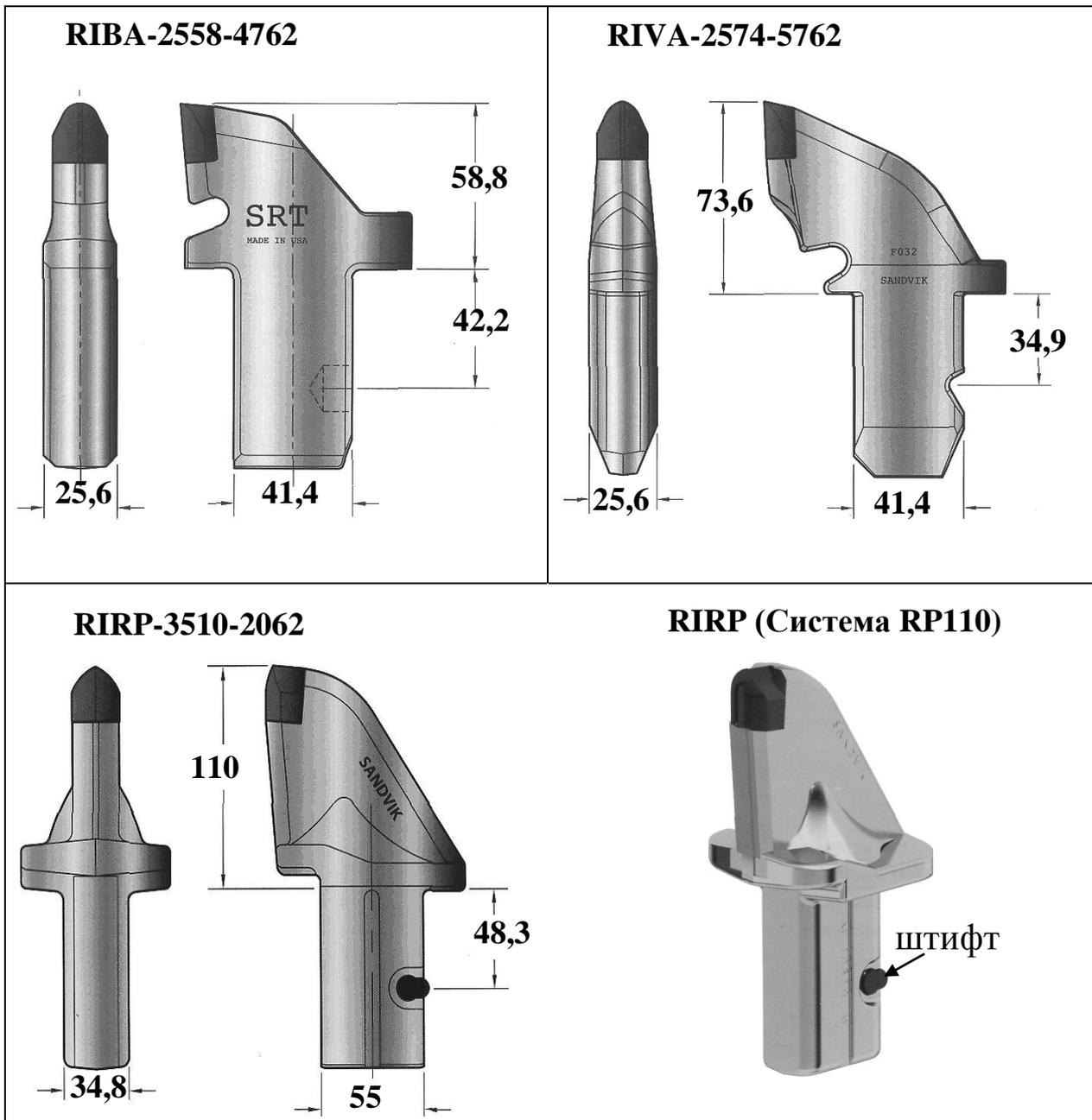
### 9.4. Твердосплавные вставки цилиндроконической формы



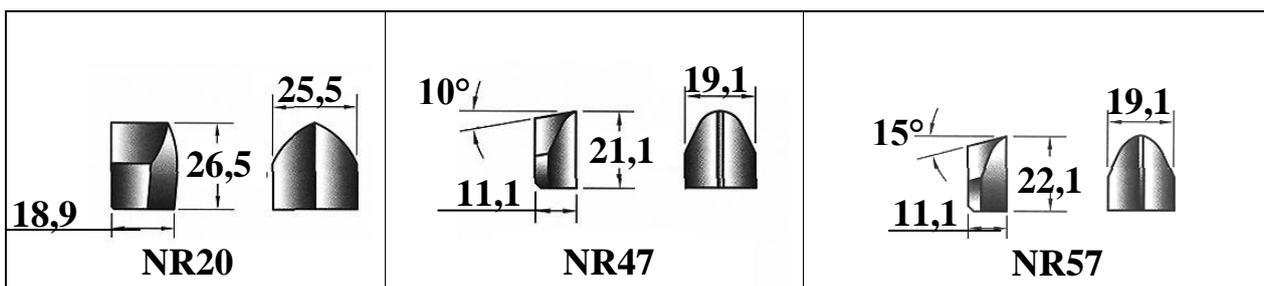
## 9.5. Твердосплавные вставки грибовой формы



## 9.6. Радиальные резцы



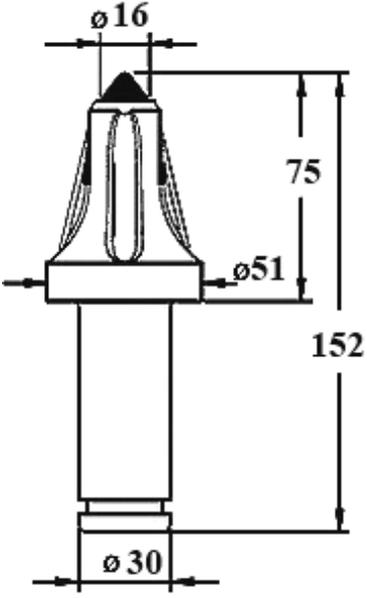
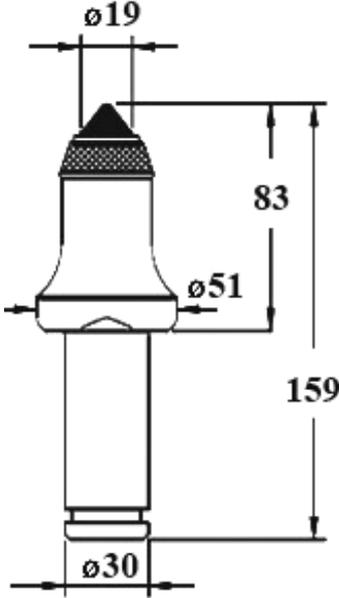
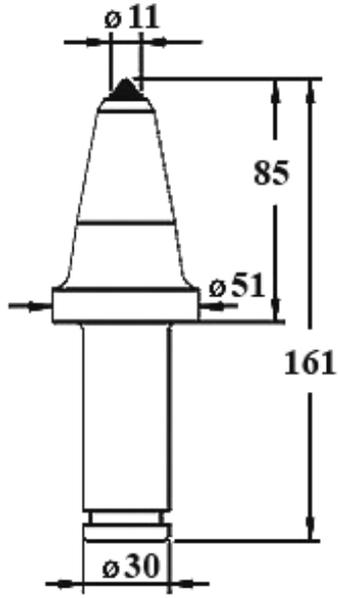
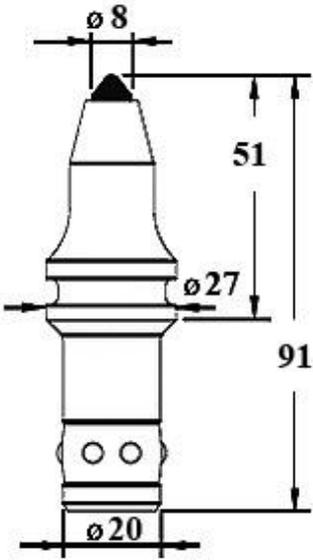
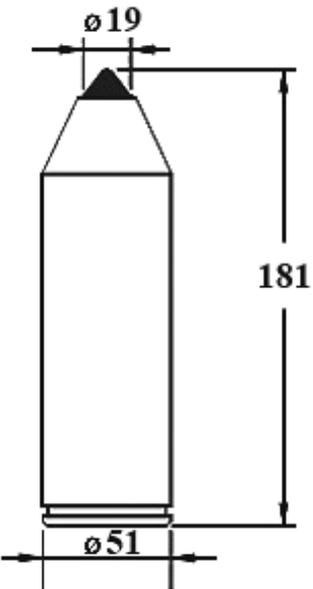
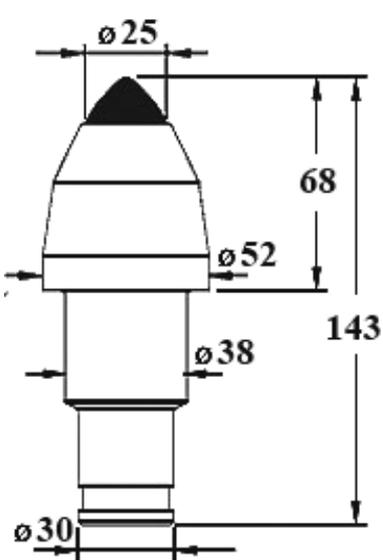
## 9.7. Твердосплавные пластины радиальных резцов

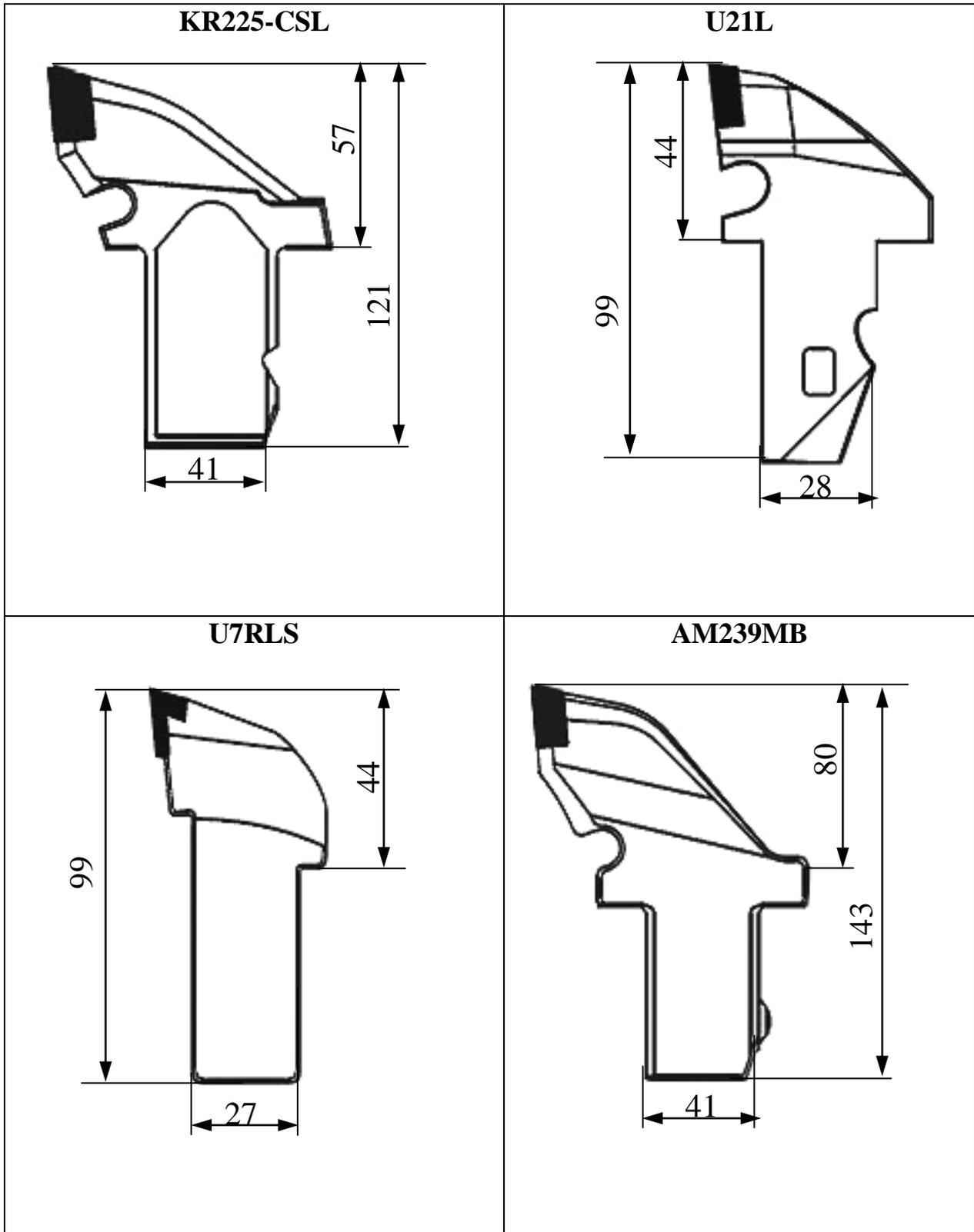


## **ПРИЛОЖЕНИЕ 10**

**Режущий инструмент компании “Kennametal”**

## 10.1. Тангенциальные резцы

<p style="text-align: center;"><b>AM510FG</b></p>  <p style="text-align: center;">для тяжелых условий</p>	<p style="text-align: center;"><b>AM521HF.74</b></p>  <p style="text-align: center;">для тяжелых условий</p>	<p style="text-align: center;"><b>U119 3.4 .42</b></p>  <p style="text-align: center;">для легких условий</p>
<p style="text-align: center;"><b>U51KHL 75°</b></p>  <p style="text-align: center;">для легких условий</p>	<p style="text-align: center;"><b>AM941</b></p>  <p style="text-align: center;">для средних условий</p>	<p style="text-align: center;"><b>U47 52</b></p>  <p style="text-align: center;">для сверхтяжелых условий</p>

**10.2. Радиальные резцы**

**СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Морозов, В. И. Очистные комбайны / В. И. Морозов, В. И. Чуденков, Н. В. Сурина : справочник / под общ. ред. В. И. Морозова. – М. : Изд-во Моск. гос. горн. ун-та, 2006. – 650 с.
2. Струговая выемка угля. Каталог-справочник / А. Н. Аверкин [и др.] ; под общ. ред. В. М. Щадова. – Новочеркасск : “Оникс+”, 2007. – 298 с.
3. Расчет и конструирование струговых установок / Б. Б. Луганцев [и др.]. – М. : Горная книга, 2011. – 291 с.
4. Оборудование для проведения наклонных и горизонтальных выработок угольных шахт. Каталог-справочник / А. В. Дуб, В. А. Чернов ; под общ. ред. В. М. Щадова. – М. : ЦП “Васиздаст”, 2007. – 124 с.
5. Буялич, Г. Д. Направления совершенствования механизированных крепей для отработки угольных пластов в сложных горно-геологических условиях / Г. Д. Буялич // Горная техника: добыча, транспортировка и переработка полезных ископаемых: каталог-справочник, 2007. – СПб. : Славутич. – С. 10–16.
6. Арцер, А. С. Угли Кузбасса: происхождение, качество, использование. Кн. 1 / А. С. Арцер, С. И. Протасов. – Кемерово : Кузбас. гос. техн. ун-т, 1999. – 177 с.
7. Арцер, А. С. Угли Кузбасса: происхождение, качество, использование. Кн. 2 / А. С. Арцер, С. И. Протасов. – Кемерово : Кузбас. гос. техн. ун-т, 1999. – 168 с.
8. Голицын, М. В. Коксующиеся угли России / М. В. Голицын, А. М. Голицын. – М. : ИАЦ ГН, 1992. – 179 с.
9. Физико-технические свойства горных пород и углей Кузнецкого бассейна : справочник / Г. Г. Штумпф, Ю. А. Рыжков, В. А. Шаламанов, А. И. Петров. – М. : Недра, 1994. – 447 с.
10. Цехин, А. М. Анализ условий эксплуатации очистных комбайнов на шахтах Кузбасса / А. М. Цехин, А. Ю. Борисов, Д. А. Потапов // Перспектива развития Прокопьевско-Киселевского угольного района как составная часть комплексного инновационного плана моногородов : сб. тр. III Междунар. науч.-практ. конф., 30 марта 2011 г. – Прокопьевск : Изд-во филиала ГУ КузГТУ в г. Прокопьевске, 2011. – С. 204–206.

11. Цехин, А. М. Особенности эксплуатации рабочего инструмента очистных комбайнов на ш. Красноярская / А. М. Цехин, М. П. Григорьев, Д. Е. Гончаров // Инновации в угольной отрасли и экономике Кузбасса : сб. ст. участников IV межрегион. науч.-практ. конф. с междунар. участием (28–29 апреля 2011 г.) : в 2 т. / Филиал ГУ КузГТУ в г. Белово. – Белово, 2011. – Ч. 1. – С. 32–36.

12. Разрушение угольных и рудных пластов с твердыми включениями шнековыми рабочими органами : монография / В. И. Нестеров [и др.] ; Кузбас. гос. техн. ун-т. – Кемерово, 2001. – 125 с.

13. Полкунов, Ю. Г. Циклическое разрушение крепких пород инструментами горных машин, формирующими трещины нормального разрыва : дис. ... д-р техн. наук / Ю. Г. Полкунов. – Кемерово, 2000. – 515 с.

14. Механика разрушения горных пород дисковым инструментом : научное издание / В. И. Нестеров [и др.] ; Кузбас. гос. техн. ун-т. – Кемерово, 2001. – 159 с.

15. Цехин, А. М. Исследование и выбор схем разрушения и режущего инструмента расширителей буро-сблочных машин для бурения скважин в условиях шахт Кузбасса : дис. ... канд. техн. наук / А. М. Цехин. – Кемерово, 1974. – 168 с.

16. Исследование механизма разрушения хрупкого горного массива дисковой шарошкой / А. Н. Коршунов [и др.]. – М., 1985, вып. № 2(160). – С. 151. – Деп. В ВИНТИ.

17. Крестовоздвиженский, П. Д. Повышение прочности тангенциальных поворотных резцов горных очистных комбайнов : дис. ... канд. техн. наук / П. Д. Крестовоздвиженский. – Кемерово, 2011. – 199 с.

18. ГОСТ Р 51047-97. Резцы для очистных и проходческих комбайнов. Общие технические условия. – М. : Госстандарт России. – 1997. – 20 с.

19. Патент № 3.342.532, автор Clode Krekeler, 1967.

20. ОСТ 12.44.165–80. Комбайны очистные узкозахватные. Резцы и гнезда для них. Типы и основные размеры.

21. Сафохин, М. С. Горные машины и оборудование : учеб. для вузов / М. С. Сафохин, Б. А. Александров, В. И. Нестеров. – М. : Недра, 1995. – 463 с.

22. Крапивин, М. Г. Горные инструменты / М. Г. Крапивин. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Недра, 1979. – 263 с.

23. Крапивин, М. Г. Горные инструменты / М. Г. Крапивин, И. Я. Раков, Н. И. Сысоев. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Недра, 1990. – 256 с.
24. Яцких, В. Г. Горные машины и комплексы / В. Г. Яцких, Л. А. Спектор, А. Г. Кучерявый ; под ред. В. Г. Яцких : учеб. для техникумов. – 5-е изд., перераб. и доп. – М. : Недра, 1984. – 400 с.
25. Каталог “Sandvik”. Режущий инструмент для горных пород. Горное дело. 2008. – 52 с.
26. Каталог инструмента “Горный инструмент”. 2006. – 44 с.
27. Каталог “Кировоградский завод твердых сплавов”. Инструмент для горных работ. – 32 с.
28. Каталог “Кировоградский завод твердых сплавов”. Твердосплавные изделия для бурового инструмента. – 56 с.
29. Каталог “KENNAMETAL”. Underground Mining. 2004. – 60 с.
30. РТМ 12.14.001–77. Машины очистные. Струговые установки. Расчет сил на резцах струга. Методика. – Введ. впервые с 23.02.1977. – М., 1977. – 49 с.
31. Резцы с круглым стержнем РКС-1 (Т-1) // Уголь. – 1976. – № 9. – С. 45.
32. Наблюдения за результатами работы резцов РКС-1. – Новочеркасск, 1981. – 124 с.
33. Крестовоздвиженский, П. Д. Некоторые результаты наблюдений за работой очистных комбайнов на шахтах Кузбасса / П. Д. Крестовоздвиженский // Горн. информ.-аналит. бюл. – 2009. – № 6. – С. 120–123.
34. Дворников, Л. Т. Исследование напряженно-деформированного состояния инденторов тангенциальных поворотных резцов очистных комбайнов / Л. Т. Дворников, П. Д. Крестовоздвиженский // Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири. Сибресурс 2010 : материалы XIII Междунар. науч.-практ. конф., Кемерово, 28–29 окт. 2010 г. / ГУ КузГТУ. – Кемерово, 2010. – Т. 1. – С. 215–217.
35. Опыт эксплуатации рабочего инструмента исполнительных органов горных машин на шахтах Кузбасса / А. А. Хорешок [и др.] // Горн. оборудование и электромеханика. – 2011. – № 4. – С. 8–11.
36. Мышляев, Б. К. Международная выставка-ярмарка “Уголь России-97” / Б. К. Мышляев // Уголь. – 1998. – № 2. – С. 69–72.

37. Особенности эксплуатации проходческих комбайнов на шахтах ОАО “Воркутауголь” / В. В. Габов [и др.] // Горн. оборудование и электромеханика. – 2008. – № 12. – С. 2–6.

38. Испытание нового горно-режущего инструмента в шахтах Воркуты / Е. В. Белич, Л. М. Гусельников, Д. А. Задков, А. А. Подосенов // Горн. оборудование и электромеханика. – 2007. – № 8. – С. 2–5.

39. Аршавский, В. В. Промышленная проверка добычи ангидрита с применением проходческого комбайна 4ПП-2 в условиях рудника “Ангидрит” Норильского ГМК / В. В. Аршавский, С. Г. Зберовский // Горн. журнал. – 2000. – № 2. – С. 33–35.

40. Прокушенко, С. И. Ресурс – одно из основных условий эффективности / С. И. Прокушенко, Н. В. Мошкин // Горн. пром-сть. – 2006. – № 4. – С. 19–21.

41. Сысоев, Н. И. Методы повышения прочности и долговечности режущих инструментов очистных и проходческих машин : автореф. дис. ...д-р техн. наук / Н. И. Сысоев. – Новочеркасск, 1992. – 38 с.

42. Пат. 2212535 РФ, МПК E21C35/18. Тангенциальный поворотный резец / Л. Т. Дворников, С. И. Прокушенко, П. Д. Крестовоздвиженский, Н. А. Полынцев; – № 2001134315/03 ; заявл. 17.12.2001 ; опубл. 20.09.2003.

43. Пат. 44744 РФ, МПК E21C35/18. Тангенциальный поворотный резец / Л. Т. Дворников, С. И. Прокушенко, П. Д. Крестовоздвиженский ; – № 2004123541/22 ; заявл. 04.08.2004 ; опубл. 27.03.2005.

44. Пат. 54628 РФ, МПК E21C35/18. Резец добычного комбайна / Л. Т. Дворников, С. И. Прокушенко, П. Д. Крестовоздвиженский. – № 2006100399/22; Заявл. 10.01.2006 ; Опубл. 10.07.2006.

45. Захаров, Ю. Н. Исследование эффективности работы шнекового исполнительного органа очистного комбайна / Ю. Н. Захаров, Т. П. Щерба // Горн. оборудование и электромеханика. – 2011. – № 4. – С. 55–56.

46. Солод, В. И. Горные машины и автоматизированные комплексы : учеб. для вузов / В. И. Солод, В. И. Зайков, К. М. Первов. – М. : Недра, 1981. – 503 с.

47. Горные машины и оборудование подземных горных работ: Учебное пособие для курсового и дипломного проектирования / А. А. Хорешок [и др.] ; КузГТУ. – Кемерово, 2012. – 170 с.

48. Малашенко, В. А. Исследование и совершенствование исполнительных органов проходческих комбайнов с конусной режущей головкой в условиях Львовско-Волынского угольного бассейна : автореф. дис. ...канд. техн. наук / В. А. Малышенко. – Киев, 1975. – 30 с.

49. Гидроструйные технологии в промышленности. Гидромеханическое разрушение горных пород / В. А. Бреннер, А. Б. Жабин, А. Е. Пушкарев, М. М. Щеголевский. – М. : Изд-во Академии горн. наук, 2000. – 343 с.

50. Король, В. В. Обоснование параметров и определение нагруженности гидромеханических резцов струговой установки : автореф. дис. ...канд. техн. наук / В. В. Король. – Тула, 2011. – 17 с.

51. Пушкарев, А. Е. Исследование влияния гидравлических параметров гидромеханических резцов струговых установок на усилие резания / А. Е. Пушкарев, В. В. Король // Горн. оборудование и электромеханика. – 2010. – № 4. – С. 10–13.

52. Мерзляков, В. Г. Научные основы создания гидромеханических исполнительных органов для очистных и проходческих комбайнов : автореф. дис. ...канд. техн. наук / В. Г. Мерзляков. – М., 2000. – 40 с.

53. ГОСТ 880-75. Изделия твердосплавные для горного инструмента. Формы и размеры.

54. Крапивин, М. Г. Основные закономерности изнашивания и стойкость инструментов проходческих и выемочных машин : автореф. дис. ... д-р техн. наук / М. Г. Крапивин. – М., 1973. – 45 с.

55. Леванковский, И. А. Научные основы создания высокоэффективных инструментов для разрушения горных пород и породосодержащих композитов : автореф. дис. ... д-р техн. наук / И. А. Леванковский. – М., 2000. – 34 с.

56. Садко, В. И. Новая технология производства горного инструмента / В. И. Садко // Горн. пром-сть. – 2003. – № 2. – С. 64–66.

57. Прокопенко, С. А. Применение инновационных комбайновых резцов в шахтах / С. А. Прокопенко, В. С. Лудзиш // Горн. пром-сть. – 2012. – № 1. – С. 56–60.

58. Сафохин, М. С. Машинист бурового станка : учеб. для учащихся профтехобразования и рабочих на производстве / М. С. Сафохин, И. Д. Богомоллов, Н. М. Скорняков. – М. : Недра, 1990. – 272 с.

59. ГОСТ 4543-71. Прокат из легированной конструкционной стали. Технические условия.

60. ГОСТ 8479-70. Поковки из конструкционной углеродистой и легированной стали. Общие технические условия.

61. ГОСТ 7505-89. Поковки стальные штампованные. Допуски, припуски и кузнечные напуски.

62. ГОСТ 3882-74. Сплавы твердые спеченные. Марки.

63. Мультианов, А. С. Твердые сплавы для армирования резцов горных и дорожных машин / А. С. Мультианов, В. А. Фальковский, В. А. Чистякова // Техника и технология открытой и подземной разработки месторождений : науч. сообщ. / ННЦ ГП – ИГД им. А. А. Скочинского. – М. : 2000. Вып. 317. – С. 79–92.

64. Мультианов, А. С. Перспективы использования особо крупнозернистых твердых сплавов для оснащения инструмента горных машин // Техника и технология открытой и подземной разработки месторождений : науч. сообщ. / ННЦ ГП – ИГД им. А. А. Скочинского. – М. : 2001. Вып. 318. – С. 189–196.

65. Мультианов, А. С. Крупнозернистые сплавы WC-Co для армирования резцов горных машин / А. С. Мультианов // Горн. машины и автоматика. – 2002. – № 10. – С. 38–40.

66. Плюм, Д. Разработка конструкций шнеков и совершенствование шнековых комбайнов / Д. Плюм // Глюкауф. – 1987. – № 17. – С. 25–32.

67. Дриш, С. Новые материалы режущих вставок резцов проходческих комбайнов избирательного действия / С. Дриш, Х.-В. Кляйнерт, Е. Хаф // Глюкауф. – 1992. – № 5. – С. 85–91.

68. Лайдерс, К. Международная выставка горного оборудования в Стокгольме в 1987 г. / К. Лайдерс, Ф. Велленкамп // Глюкауф. – 1987. – № 16. – С. 9–19.

69. Кубица, Г. Производственные испытания новых резцов со вставками из ПКА на шахте “Проспер-Ханиель” / Г. Кубица, Д. Плюм, Р. Витек // Глюкауф. – 1989. – № 3/4. – С. 27–31.

70. Жафто, Г. Р. Поликристаллические композиционные алмазные материалы в качестве режущих вставок для бурового ин-

струмента в горном деле / Г. Р. Жафто, П. Н. Томлинсон, К. Штайнмец // Глюкауф. – 1988. – № 2. – С. 29–37.

71. К распределению микроструктуры по длине породоразрушающих резцов / В. И. Болобов, В. Л. Бобров, М. П. Талеров, В. В. Мишин // Горн. оборудование и электромеханика. – 2010. – № 10. – С. 26–28.

72. Коган, Б. И. Основы пайки. Технология пайки буровых резцов : учеб. пособие / Б. И. Коган ; ГУ КузГТУ. – Кемерово, 2006. – 58 с.

73. ГОСТ 617-90. Трубы медные. Технические условия.

74. ГОСТ 6086-75. Коронки буровые для перфораторов. Технические требования.

75. ГОСТ 16504-81. Система государственных испытаний продукции. Испытания и контроль качества продукции. Основные термины и определения.

76. Разработка и постановка на производство изделий угольного машиностроения. ОСТ 12.47.008-74. М., МУП СССР, 1974.

77. ГОСТ 166-89. Штангенциркули. Технические условия.

78. ГОСТ 427-75. Линейки измерительные металлические. Технические условия.

79. ГОСТ 8.401-80. Государственная система обеспечения единства измерений. Классы точности средств измерений. Общие требования.

80. ГОСТ 2875-88. Меры плоского угла призматические. Общие технические условия

81. ГОСТ 9013-59. Металлы. Метод измерения твердости по Роквеллу.

82. ГОСТ 24104-2001. Весы лабораторные. Общие технические требования.

83. Красников, Ю. Д. Повышение надежности горных выемочных машин / Ю. Д. Красников, С. В. Солод, Х. И. Хазанов. – М. : Недра, 1989. – 215 с.

84. Разработка и первое применение “оптимизированной комбинированной системы безопасности” для проходческого комбайна избирательного действия на шахте “Нидерберг” / М. Юнкер, В. Низен, И. Гастберг, В. Теббе // Глюкауф. – 2001. – июнь № 1(2). – С. 24–27.

85. Байдинов, В. Н. Обоснование параметров и разработка средств формирования водяных струй для систем высоконапорного

орошения горных машин : автореф. дис. ...канд. техн. наук / В. Н. Байдинов. – М., 2010. – 28 с.

86. Липин, Ю. Н. Фрикционное воспламенение пылеметано-воздушных смесей и его предупреждение в угольных шахтах: дис. ... д-р техн. наук. – Кемерово, 2001. – 268 с.

87. Миничев, В. И. Угледобывающие комбайны. Конструирование и расчет. – М. : Машиностроение, 1976. – 248 с.

88. Лихачев, Л. Я. Создать типовой комплекс оборудования для высоконапорных оросительных систем выемочных комбайнов, работающих на пластах пологого и наклонного падения, на давление 80–100 кгс/см<sup>2</sup> и производительностью до 200 л/мин / Л. Я. Лихачев, И. П. Белоногов, Е. Г. Зырянов ; отчет : ВостНИИ. – Кемерово, 1976. – 75 с.

89. Дриш, С. Шахтные испытания системы орошения высоконапорными водяными струями на проходческих комбайнах избирательного действия / С. Дриш, Х. Гуче // Глюкауф. – 1994. – № 4. – С. 43–46.

90. Хорешок, А. А. О системах орошения на проходческих комбайнах избирательного действия / А. А. Хорешок, А. Ю. Борисов, В. Г. Внуков // Совершенствование технологических процессов при разработке месторождений полезных ископаемых : сб. науч. тр. / Науч.-техн. центр “Кузбассуглетехнология”. – Кемерово, 2002. – № 19. – С. 135–139.

**ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ***Твердые сплавы, режущие инструменты и приспособления*

1. ОАО “Кировоградский завод твердых сплавов”  
<http://www.kzts.ru>
2. ОАО “Твердосплав”  
<http://tverdosplav.ru>
3. ООО “Горный инструмент”  
<http://www.grins.ru>
4. ОАО “Завод Гидромаш”  
<http://www.gidromash.ru>
5. ООО “Кузнецкий машиностроительный завод”  
<http://www.nvkz.kuzbass.net/M-Plant>
6. ОАО “Копейский машиностроительный завод”  
<http://www.kopemash.ru>
7. ЗАО “Белтехнология и М”  
<http://www.beltechnologia.com/product/cutters>  
[http://www.beltechnologia.com/cutters/cutters\\_gor.htm](http://www.beltechnologia.com/cutters/cutters_gor.htm)  
<http://www.beltechnologia.com/product/rezec.php>  
[http://www.beltechnologia.com/cutters/cutters\\_technology.doc](http://www.beltechnologia.com/cutters/cutters_technology.doc)
8. “Kennametal Inc.”  
<http://www.kennametal.com>  
<http://www.kennametal.ru>
9. “Sandvik”  
<http://www.sandvik.com>
10. “KRUMMENAUER”  
<http://www.krummenauer.de>  
<http://anlagenbau.krummenauer.de>
11. “BETEK GmbH & Co.KG”  
<http://www.betek.de>
12. ООО “Компания РИТС”  
<http://www.ritscomp.ru>
13. ЗАО “НПП имени М. И. Платова”  
<http://www.zaoplatov.ru/equipment/miner?n=127>
14. НТС “Украина”  
<http://www.nts-service.com.ua>
15. ООО “Техпоставка”  
<http://www.tehpostavka.com>

16. МЧП фирма “Апрель”  
<http://aprilgri.dp.ua>
17. Резцы и ГШО  
<http://rezec.com.ua>
18. ЗАО “СИПРсОП”  
[http://www.sipr.by/product/t\\_cut\\_tools.html](http://www.sipr.by/product/t_cut_tools.html)
19. ООО “Техмашсервис”  
<http://www.techmash.ru>
20. ООО НПП “Сибирские горнопромышленники”  
[http://sibgp.ucoz.ru/index/rezcy\\_dlja\\_shakhtnykh\\_kombajnov/0-5](http://sibgp.ucoz.ru/index/rezcy_dlja_shakhtnykh_kombajnov/0-5)  
[http://sibgp.ucoz.ru/index/universalnyj\\_rezec/0-7](http://sibgp.ucoz.ru/index/universalnyj_rezec/0-7)
21. “BOART LONGYEAR”  
<http://www.boartlongyear.com>
22. “Bauer”  
<http://www.bauer.de>

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие.....	3
1. НАЗНАЧЕНИЕ РАБОЧИХ ИНСТРУМЕНТОВ И ТРЕБОВАНИЯ К НИМ.....	4
2. УСЛОВИЯ И ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ГОРНОГО РАБОЧЕГО ИНСТРУМЕНТА.....	5
3. МЕХАНИКА РАЗРУШЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД РАБОЧИМ ИНСТРУМЕНТОМ ГОРНЫХ МАШИН.....	8
3.1. Моделирование методами разрывных смещений и фотоупругости.....	9
3.2. Моделирование методом теории упругости.....	16
4. КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА.....	18
4.1. Определения, обозначения по конструкциям резцов.....	19
4.2. Классификация, основные параметры и размеры резцов.....	20
4.3. Элементы и параметры резцов.....	22
4.4. Основные типы и конструктивные особенности резцов.....	25
5. КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ РАДИАЛЬНЫХ РЕЗЦОВ.....	28
6. РЕЖУЩИЙ ИНСТРУМЕНТ СТРУГОВЫХ УСТАНОВОК.....	30
7. КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ТАНГЕНЦИАЛЬНЫХ РЕЗЦОВ.....	37
7.1. История развития тангенциального инструмента.....	37
7.2. Конструктивные особенности гидромеханических тангенциальных резцов, область их применения, параметры...	52
7.3. Формы и параметры головных частей ТПР.....	55
7.4. Формы и параметры твердосплавных вставок ТПР.....	56
8. КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ БУРОВЫХ РЕЗЦОВ.	57
8.1. Твердосплавные вставки для армирования резцов вращательного бурения.....	60
9. ИЗНОС РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА.....	62
9.1. Терминология и критерии износа.....	62
9.2. Механизм изнашивания режущих твердосплавных инструментов.....	64
9.2.1. Влияние формы передней грани радиальных резцов на износ.....	67
9.2.2. Влияние пути резания на износ радиальных резцов.....	69

9.2.3. Влияние структуры твердого сплава на износ радиальных резцов.....	70
9.2.4. Влияние контактных температур на износ радиальных резцов.....	71
9.2.5. Влияние скорости резания на износ радиальных резцов	72
9.2.6. Виды поломок радиальных резцов.....	73
9.3. Износ тангенциального режущего инструмента.....	75
9.3.1. Формы износа тангенциальных поворотных резцов.....	76
9.3.2. Результаты промышленных испытаний тангенциальных поворотных резцов.....	82
9.4. Износ буровых резцов.....	91
10. КОНСТРУКЦИИ КРЕПЛЕНИЯ РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ.....	93
10.1. Способы крепления радиальных резцов.....	93
10.2. Способы крепления тангенциальных резцов.....	95
11. МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ РЕЗЦОВ.....	98
11.1. Материалы корпусов резцов.....	98
11.2. Материалы для твердосплавных вставок резцов.....	99
11.2.1. Вольфрамкобальтовые твердые сплавы.....	99
11.2.2. Физические свойства твердых сплавов.....	101
11.2.3. Механические свойства твердых сплавов.....	102
11.2.4. Твердые сплавы для резцов очистных и проходческих комбайнов.....	104
11.2.5. Влияние размера карбидной составляющей WC на прочность твердосплавных вставок и пластин.....	105
11.2.6. Алмазы и сверхтвердые материалы для армирования режущих инструментов.....	110
11.2.7. Применение сверхтвердых материалов для изготовления радиальных и тангенциальных резцов....	112
11.2.8. Вставки буровых резцов из сверхтвердых материалов.	117
11.2.8.1. Режущие вставки синдит – твердый сплав.....	117
11.2.8.2. Режущие вставки синдрил – твердый сплав.....	118
11.2.8.3. Режущие вставки синдакс-3 – твердый сплав.....	120
12. ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ РЕЗЦОВ.....	121
12.1. Виды пазов при армировке.....	122
12.2. Припой и флюсы.....	125

12.3. Особенности технологии изготовления тангенциальных поворотных резцов.....	127
12.4. Особенности технологии изготовления буровых резцов.....	133
12.4.1. Припой для пайки бурового инструмента.....	133
12.4.2. Флюсы для пайки буровых резцов.....	136
12.4.3. Технологический процесс пайки буровых резцов.....	138
12.4.4. Контроль качества паяного соединения.....	146
12.4.5. Перспективы совершенствования технологии пайки буровых резцов.....	147
12.4.6. Пайка пластин из твердого сплава.....	148
13. ОСНОВЫ ПРИЕМОСДАТОЧНЫХ И РЕСУРСНЫХ ИСПЫТАНИЙ ЭЛЕМЕНТОВ ГОРНОГО РАБОЧЕГО ИНСТРУМЕНТА.....	153
13.1. Правила приемки.....	153
13.2. Цели приемочных испытаний.....	155
13.3. Виды приемочных испытаний.....	156
13.4. Объект испытаний.....	156
13.5. Условия и объем испытаний.....	159
13.6. Организация и порядок проведения приемочных испытаний.....	160
13.7. Методы контроля при испытаниях.....	165
13.7.1. Контролируемые показатели.....	165
13.7.2. Испытание резцов на усталость.....	166
13.8. Определение прочности соединения резцедержателей с корпусом исполнительного органа.....	171
14. СПОСОБЫ ПЫЛЕПОДАВЛЕНИЯ ПРИ РАБОТЕ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА ГОРНЫХ МАШИН.....	172
14.1. Мероприятия и средства по борьбе с пылью.....	172
14.2. Опыт эксплуатации средств пылеподавления на горных машинах.....	174
14.2.1. Средства пылеподавления буровой установки.....	175
14.2.2. Средства пылеподавления очистных комбайнов.....	175
14.2.3. Средства пылеподавления проходческих комбайнов...	176
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	182
ПРИЛОЖЕНИЕ 1. Режущий инструмент ООО “Горный инструмент”.....	183

ПРИЛОЖЕНИЕ 2. Режущий инструмент ОАО “Завод Гидромаш” .....	211
ПРИЛОЖЕНИЕ 3. Режущий инструмент “Рум-Сервис” .....	215
ПРИЛОЖЕНИЕ 4. Режущий инструмент ЗАО СП “Пигма-Кеннаметал” .....	221
ПРИЛОЖЕНИЕ 5. Режущий инструмент ООО “Кузнецкий машиностроительный завод” .....	225
ПРИЛОЖЕНИЕ 6. Режущий инструмент ЗАО “Белтехнология и М” .....	233
ПРИЛОЖЕНИЕ 7. Режущий инструмент ОАО “Копейский машиностроительный завод” .....	237
ПРИЛОЖЕНИЕ 8. Режущий инструмент, резцедержатели, твердосплавные вставки ОАО “Кировоградский завод твердых сплавов” .....	241
ПРИЛОЖЕНИЕ 9. Режущий инструмент компании “Sandvik” .....	257
ПРИЛОЖЕНИЕ 10. Режущий инструмент компании “Kennametal” .....	271
СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ .....	274
ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ .....	282

Хорешок Алексей Алексеевич  
Маметьев Леонид Евгеньевич  
Цехин Александр Михайлович  
Борисов Андрей Юрьевич

**ГОРНЫЕ МАШИНЫ И ОБОРУДОВАНИЕ  
ПОДЗЕМНЫХ ГОРНЫХ РАБОТ  
РЕЖУЩИЙ ИНСТРУМЕНТ ГОРНЫХ МАШИН**

Редактор З. М. Савина

Компьютерная верстка А. Ю. Борисов

Подписано в печать 29.06.2012. Формат 60×84/16.

Бумага офсетная. Отпечатано на ризографе.

Уч.-изд. л. 18,0. Тираж 320 экз. Заказ

КузГТУ. 650000, Кемерово, ул. Весенняя, 28.

Типография КузГТУ. 650000, Кемерово, ул. Д. Бедного, 4а.