

## ТЕМА 11. РЕЖЕЩИ ИНСТРУМЕНТИ ОТ СВРЪХТВЪРДИ МАТЕРИАЛИ

От свръхтвърди материали (СТМ) се изработват абразивни инструменти и инструменти с дефиниран режещ ръб. Абразивните инструменти съдържат зърна от свръхтвърди материали, закрепени към тялото и помежду си със свързващо вещество. Зърната са с неправилна форма и хаотично разположени върхове и ръбове и изпълняват ролята на режещи зъбчета, които в процеса на рязане се затъпяват, а увеличените при това сили на рязане довеждат до изкъртването и подмяната им. При това тяхната функция се поема от други зърна, чиито ръбове и върхове са ориентирани по друг начин. Общо се приема, че те са разположени по производящата повърхнина, която се явява обвиваща на работната повърхнина на инструмента (равнина, цилиндрична, конусна или друга профилна повърхнина), по която хаотично и променливо са разположени ръбчетата на абразивните зърна, пространствата между които играят роля на стружкови канали, поемащи отпадъците от шлифоването.

Инструментите от свръхтвърди материали с дефиниран режещ ръб са изработени от едри монокристали или поликристали, отделно закрепени към държач или нанесени върху металокерамични пластини със стандартни размери. Те имат строго дефинирани елементи на режещата част – предни и задни повърхнини, ръбове и ъгли между повърхнините, които не се променят по време на експлоатацията. Тези геометрични параметри след износване при презаточващите се инструменти се възстановяват няколкократно, запазвайки дефинираните геометрични параметри.

### 1. Абразивни инструменти от свръхтвърди материали

Основното количество прахове от технически диамант и кубичен борен нитрид се използва за абразивни инструменти за грубо, чисто и фино шлифоване, отрязване, заточване, хонинговане, притриване и полиране.

За абразивни обработки при високи работни температури (шлифоване, заточване, отрязване) се използват инструменти от кубичен борен нитрид. Поради ниската си топлоустойчивост и химическия афинитет към желязото диамантът не е подходящ за операции с високи температури и налягания, а за нискотемпературни обработки на черни метали (хонинговане, полиране, притриване) и всички обработки на цветни метали, минерали, пластмаси и др., се използват абразивни инструменти от диамант. Според вида си абразивните инструменти са кръгли, брусове и ленти.

#### Кръгли абразивни инструменти от свръхтвърди материали

Кръглите абразивни инструменти от СТМ представляват дискове за отрязване, шлифоване, зъбошлифоване и др. на външни повърхнини и отвори с различни форми (фиг. 10.1). Дисковете са ротационни тела от конструкционна стомана, алуминиева сплав или бакелит, върху което са нанесени по прахово металургичен път свързващ и режещ слоеве.

*Работният (режещ) слой* се състои от зърна свръхтвърд материал, свързка, пълнител (може и въздушни пори). *Характеристиката му* се определя от вида и марката на СТМ, зърнеността, концентрацията и вида на свързката и пълнителя.

*Концентрацията* е показател за съдържанието на свръхтвърд материал в единица обем на работния слой на диска. За 100% концентрация е прието количеството  $4,4 \text{ ct/sm}^3$  (карата в кубичен сантиметър). Използваните концентрации са от 25 до 200 %, като най-употребявана е 100%. Ниските концентрации се използват за обработване на меки материали (варовик, мрамор) с по-големи дълбочини и

подавания, при които се реализират и по-груби обработени повърхнини и по-висока производителност. Високите концентрации се използват за обработване на твърди минерали с малки стойности на параметрите на режима. Концентрацията, както качеството и общото тегло на свръхтвърдия материал в един инструмент до голяма степен определят неговата цена.

**Свързката** свързва праховете от СТМ с пълнителя и придава на работния слой определени свойства като топлопроводност, жилавост, устойчивост на влага и агресивни среди, допустимост за намеса в живия организъм при медицинска употреба (зъболекарски инструменти) и др. По състав тя е органична и метална.

Органичната свързка е бакелитова или вулканитова. Тя е жилава, нетоплопроводна, с ниска топлоустойчивост. Използва се при дискове за шлифване, заточване, отрязване. Тя осигурява жилавост и висока производителност, възможност за самопрезаточване на произвеждащия абразивен профил.

Металната свързка е сплав на цветни метали (алуминий, мед, цинк и др.). Тя се характеризира с максимална топлопроводност, якост, жилавост и трайност, позволява работа с охлаждане, но създава сериозни технологични проблеми при възстановяване профила на износените дискове.

Галваничната свързка е частен случай на металната и представлява електрохимично свързване на предварително метализирани диамантни зърна към метално тяло. Използва се за еднослойни и многослойни профилни инструменти със сложна форма и за зъболекарски инструменти, при които свързката е никел. Металната свързка поради електропроводимостта си допуска електродиамантно шлифване, характеризиращо се с по-добро качество на обработената повърхнина и значително по-малък разход на свръхтвърд материал.

Керамичната свързка (смес от глина, стъклен прах и силикати), която е основна за класическите абразивни дискове много рядко се използва при дисковете от СТМ.

Диамантни дискове с различни форми и размери на ограничена и метална свързка в България се произвеждат в гр. Берковица, гр. Сопот и с. Крън.

**Пълнителят** е съставка на работния слой, осигуряваща определена концентрация и придаваща важни свойства на инструмента, свързани с износоустойчивостта, якостта и топлопроводността му. В качеството на такъв се използват материалите борен карбид и електрокорунд – основни режещи материали в класическите абразивни инструменти, които при дисковете от свръхтвърд материал изпълняват функция и на спомагателен режещ материал. Той има зърнистост с един клас по-ниска от тази на основния режещ материал. За подобряване на топлопроводността към него може да се добави меден или железен прах при дисковете на органична или керамична свързка.

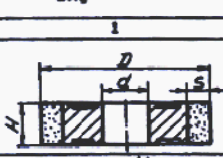
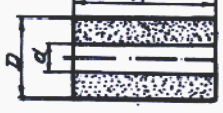
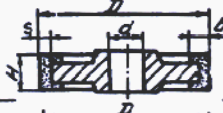

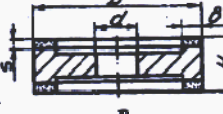
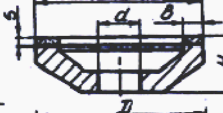
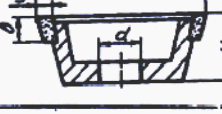
Експлоатационните възможности на дисковете значително се подобряват при използване на предварително метализирани прахове или чрез ориентиране на зърната с големия им размер нормално на работната повърхнина, което се постига в електрическо поле преди закрепването им със свързката.

Ротационното тяло, към което се пресова или залепва работния слой се характеризира с формата, присъединителните си размери и размерите на работния слой.

На телата на дисковете и на придружаващите ги етикети се нанася **характеристиката** на диска, включваща: форма (фиг. 11.1), габаритни, присъединителни размери, размери на работния слой, характеристика на праха,

свързка, година на производство, стандарт, допустима периферна скорост. Примерно за диска на фиг. 11.2 характеристиката е:

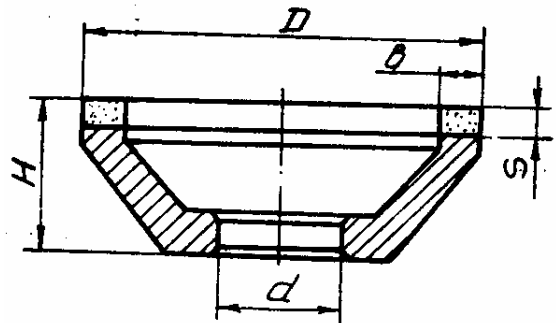
12A2 100x32x20x5x3 AC4 100/80-НС1-100 1998, където:

Вид	Наименование	Форма	Размери, мм
1	2	3	4
	Дискове плоски с прав профил	1A1 /АПП/	D=16±200 H=8±40, d=5±76 S=2±5
	Дискове плоски с прав профил без тяло	AB /А1ПП/	D=6±13 H=4±10 d=2±4
	Дискове плоски с прав профил тристранна форма	14K1 /А2ПП/	D=125±200 H=6±12, d=32±51 b=3±10, s=2±3
	Дискове плоски с вдълбната форма	6A2 /АПВ/	D=50±300 H=22±33, d=16±127 b=3±60, s=2±6
	Дискове плоски с двустранни вдълбнатини	9A3 /АПВД/	D=100±250 H=10±23, d=20±127 b=3±20, s=1, 5±4
	Дискове чашковидни конусни	12A2 /АЧК/	D=50±250 H=20±26, d=16±51 b=2±15, s=1, 5±3
	Дискове чашковидни конусни	11V9 /А1ЧК/	D=50±125 H=20±40, d=16±51 b=3±8, s=1, 5±3

Фиг. 11.1. Форми на дискове от СТМ

- 12A2 показва формата на диска (фиг. 10.1);
- 100x32x20x5x3 означава размерите D, d, H, b, s (фиг. 10.2);
- AC4 е вида на диамантеното зърно;
- 100/80 размер на зърната на СТМ;
- НС1 е българска бакелитова свързка с пълнител от цветен метал;
- 100 е концентрацията в проценти, следвана от година на производство 1998.

По аналогичен начин се означават и дисковете от кубичен борен нитрид.



Фиг. 11.2. Размери на диск от СТМ, участващи в характеристиката му

Експлоатацията на дисковете от СТМ се характеризира с големи скорости на рязане – 20...30 m/s при обработване на металокерамика, до 50 m/s при шлифване на трудообработваеми стомани, до 100 m/s при абразивно отрязване. Силовото натоварване е най-голямо при дълбочинното еднопроходно шлифване. Наличието на значителни външни сили, както и на центробежните сили от въртеливото движение с големи честоти предявява сериозни изисквания и към механичните качества на кръглите абразивни инструменти от свръхтвърд материал.

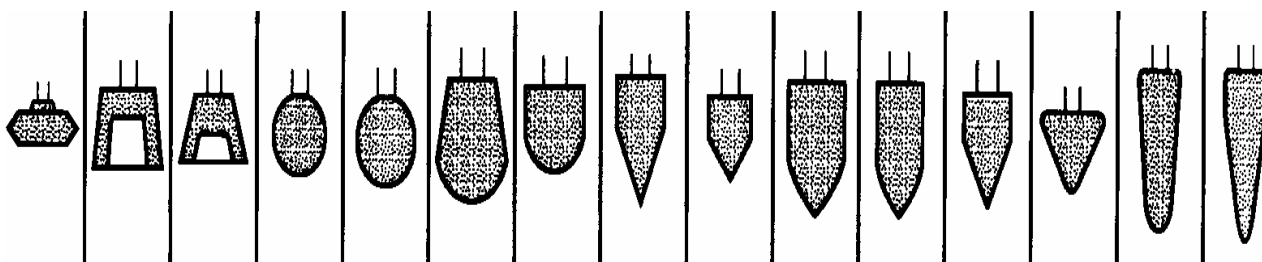
Заводите производители продават статично уравновесени дискове с нормирано челно и радиално биене на работните повърхнини. Дисковете с диаметър над 100 мм се проверяват на якост.

Зърнистостта на дисковете се подбира примерно приблизително за грубо шлифване 200/160, за чисто 50/40 и за фино 14/10. При поставяне върху дорника дисковете се балансират динамично на балансировъчни машини. Прибавките трябва да са равномерни и малки, дисковете да се връзват в заготовката плавно, без удари. Препоръчва се шлифването да се провежда с охлаждане с изключение на абразивните дискове от СТМ с органична свързка.

В редица случаи дисковете от свръхтвърд материал се износват неравномерно, при което се именя формата на произвеждащата повърхнина, износващите се зърна достигат нивото на свързката, при което се намалява мястото за побиране на стружки.

Това налага провеждане на операциите *изравняване на профила* (възстановяване формата на произвеждащата повърхнина) и *разкриване на профила* (работните зърна се разкриват от свързката на 50...60 % от размера си), при което се разкриват достатъчно ръбчета, зърна и пространства между тях. Тези операции за възстановяване режещите качества на инструмента се извършват чрез обстръгване с диамантни изравнители, чрез шлифование с дискове, чрез електроерозионна, електрохимична и електродиамантна обработка. В ТУ Габрово е патентован диск от зелен силициев карбид на метална свързка за електроабразивно изравняване и разкриване на профила на износени диамантни дискове на метална свързка.

За шлифование на отвори, издатини и профилни повърхнини се използват главички с различна форма от свръхтвърд материал, пресован върху цилиндрични стоманени опашки (фиг. 11.3).



Фиг. 11.3. Главички за шлифование от СТМ

### **Брусове от свръхтвърди материали**

Брусовете от свръхтвърди материали с различни форми се използват за хонинговане, притриване, суперфинишни и различни ръчни операции. Те имат 30...100 пъти по-голяма трайност от класическите абразивни брусове. Ръчните брусове имат напречни сечения с форми, характерни за ръчните пили: кръгли, правоъгълни, триъгълни, бъбрековидни и т.н. Използват се за шлосерски операции на заготовки от металокерамични, стъквени, керамични и др. материали, както и за вграждане на няколко бруса в един съставен инструмент (пр. хонинговална глава).

### **Абразивни ленти и шкурки от свръхтвърди материали**

Абразивните ленти и шкурки от свръхтвърди материали са ефективни при сложни форми на обработената повърхнина с неравномерни прибавки, при които шлифването с дискове е неефективно. Инструментите с определен размер или безконечни, със 100 % концентрация на работната част, която е нанесена еднослойно върху текстилна или хартиена, водоустойчива (за работа с охлаждане) или водонеустойчива (за работа на сухо) основа. Шлифването може да бъде грубо, пр. за почистване на отливки и изковки, чисто (за формообразуване на заготовки) по методите плоско, външно, вътрешно или профилно шлифование с лента.

Тези инструменти при употреба на лентошлифовъчни машини са много удобни за окончателни операции като полиране, подготовка на заготовки за покриване, заглаждане и др. Процесът на рязане лесно се регулира чрез силите на опъване на лентата и на притискането и към обработената повърхнина. Работната повърхнина на лентата е много голяма, не се нуждае от балансиране, безопасна е при разкъсване, а машината е проста и удобна за автоматизиране.

## **2. Инструменти с дефиниран режещ ръб**

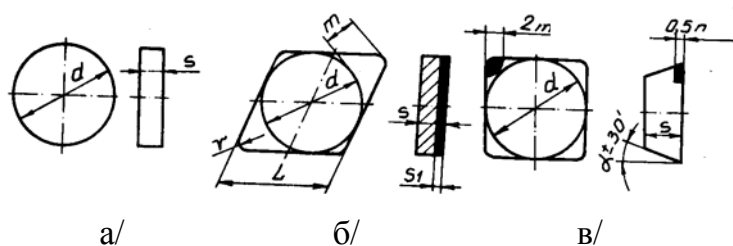
Поликристалите от свръхтвърди материали имат ситнозърнеста структура, възможност при заточване да се формират режещи ръбове с малък радиус на

закръгление – до  $5\ \mu\text{m}$ , което дава възможност да се работи с малки прибавки - над  $0,01\ \text{mm}$  при нищожни сили, температури, еластични и пластични деформации. Коефициентът на скъсяване на стружката, пластичната деформация и силите на рязане са по-малки от тези при другите инструментални материали при равни други условия. Примерно силовото натоварване е  $1,5...2$  пъти по-малко от това при металокерамичните сплави, като разликата е по-голяма при по-голяма твърдост на заготовката. Размерната и обща трайност на инструментите е десетки до стотици пъти по-голяма, като разликата се увеличава с нарастване на скоростта на рязане и твърдостта на заготовката. Докато единичните кристали имат силно различаващи се механични свойства в различните направления, поликристалите, състоящи се от много ситни ( $3...10\ \mu\text{m}$ ), хаотично ориентирани кристали, имат практически еднаква якост в различните направления, което облекчава изработването и приложението им.

Постиганите точност и грапавост при чисто струговане, разстъргване, фрезование и др. съответстват на тези, постигнати при операция шлифование след струговане, разстъргване и фрезование с други инструментални материали, при което отпада втората по-ниско производителна операция шлифование, както и отрицателният ефект от набиването на абразивни зърна в обработената повърхнина (шаржиране), което може да намали ресурса на детайли като шийки на плъзгащи лагери.

### Ножове от свръхтвърди материали

Ножовите от свръхтвърди материали се използват за фино стъргане, струговане, разстъргване, отрязване и профилни обработки. При обработване на алуминиеви, медни, цинкови, титанови сплави, стъклопласти, гума, графит, керамика, стъкло, минерали и др. с диамантени ножове се постига точност  $5...6$  степен и грапавост  $Ra = 0,008...0,04\ \mu\text{m}$  при трайност до презаточване няколкостотин часа.



**Фиг. 11.4.** Режещи пластини с нанесени поликристали от СТМ

На фиг. 11.4.а,б са показани кръгла и ромбоидна режещи пластини с нанесено покритие от свръхтвърд материал по цялата предна повърхнина. Използват се и режещи пластини с нанесени поликристали от СТМ върху единия режещ връх (фиг. 11.4.в)

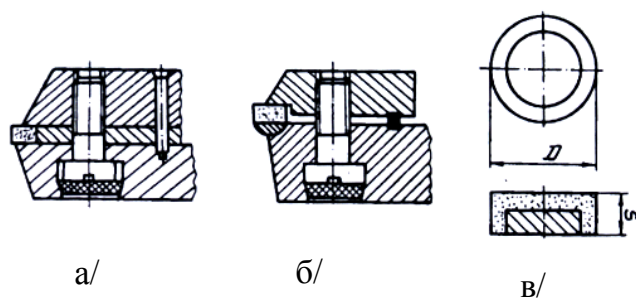
Тази форма на използване на СТМ като режеща част на инструментите с дефиниран режещ ръб е най-широко разпространена и най-съвременна. Освен като непрезаточващи се пластини, СТМ се използват и като големите моно и поликристали от естествен диамант, оформени с няколко стойности на главния установъчен ъгъл или с кръгъл режещ ръб.

Разпространени са и конструкциите със споена или залепена в държача или специална вложка режеща част (фиг. 11.5.а,б). В тези случаи чрез презаточване могат да се формират различни геометрични параметри на режещата част.

На фиг. 11.5.в е показана режеща пластина с нанесено покритие от поликристален диамант или кубичен борен нитрид по цялата предна и задна повърхнина.

Означенията на различните видове и технологични варианти на диамантните покрития, подредени по понижаваща се твърдост и износоустойчивост са: високотемпературни PCD2, среднетемпературни PCD1, нискотемпературни CVD

(според температурата на синтезиране на покритието). Освен тях за режеща част на инструментите се използват диамантни монокристали (глава 1).



Фиг. 11.5. Режещи части от СТМ

Непрезаточващите се пластини с нанесени покрития от поликристален СТМ са обикновено с кръгла, триъгълна, квадратна или ромбоидна форма с размер на вписаната окръжност до 17 mm, дебелина "s" до 5 mm, радиус при върха  $r_g = 0,2...2$  mm,  $\alpha = 0...20^\circ$ .

Поликристалите от кубичен борен нитрид, използвани като покритие на един режещ връх или на цяла повърхнина, аналогично на тези от диамант се означават с PCBN и цифра, свързана с якостта и износоустойчивостта им.

### Фрези от свръхтвърди материали

Фрезите от СТМ обработват цилиндрично, челно и профилно черни, цветни метали и неметални материали с произволна твърдост. При груби обработки снемат прибавки до 6...8 mm, а при фини обработки – 0,05...0,5 mm при много високи скорости на рязане  $v_c=1000...3000$  m/min. Финото струговане и фрезование дават точност и качество на обработената повърхнина, характерни за шлифоването, но са много по-производителни от него. Вместо две операции фрезование и шлифоване се изпълнява една, която е по-производителна от операцията фрезование с металокерамични материали.

Изискванията за челно и радиално биене са по-високи отколкото при фрезите от други инструментални материали.

### Свредла от технически диамант

Свредлата от технически диамант се използват за пробиване на отвори в бетон, пластмаса, керамика, стъкло и др., съчетавайки високата производителност с високи точност и трайност. Аналогични конструкции се използват за глави за сондиране в твърди минерални породи и в строителството. Свредлото на фиг. 5.28 има тръбна работна част, то е българско производство, предназначено за пробиване на отвори в стъкло и минерали.

### Райбери с покритие от технически диамант

Райберите с покритие от технически диамант служат за обработване на точни отвори с голяма дължина и малък диаметър, прекъснати повърхнини (хидравлични разпределители), където протеглянето, шлифоването или райбероването с традиционни многозъби райбери е неефективно.

Инструментите представляват ротационно тяло с конусна режеща част с много малък главен установъчен ъгъл, цилиндрична калибровача част и опашка. Работната част е покрита с диамантни прахове или микропрахове, свързани към тялото с метална свързка. За облекчаване на рязането при снемане на по-големи прибавки работната част може да се оформи с две или три пера, между които има стружкови канали.

### Червячни фрези от свръхтвърди материали

Червячните фрези от СТМ служат за окончателно нарязване на закалени зъбни колела с твърдост 58...64 HRC. Точността и грапавостта на обработената повърхнина

съответстват на получисто шлифване, но операцията е много по-производителна. При обработване на колела от черни метали се използват фрези, чиито режещи ръбчета са образувани от поликристали на кубичен борен нитрид, а при други материали на зъбните колела – от технически диамант.

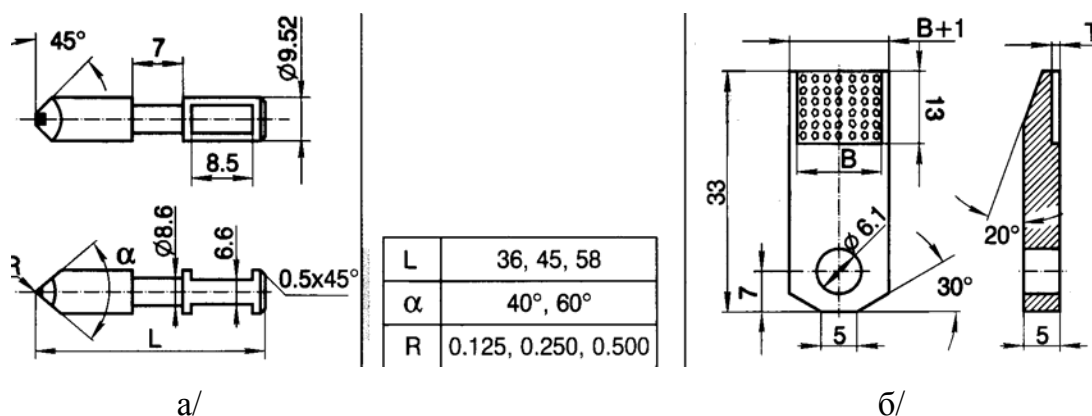
### Диамантени зъбохони

Традиционните метални шевери обработват чисто незакалени зъбни колела след зъбонарязване. При следващото закаляване поради термични напрежения и деформации се влошава точността на получените зъбни профили.

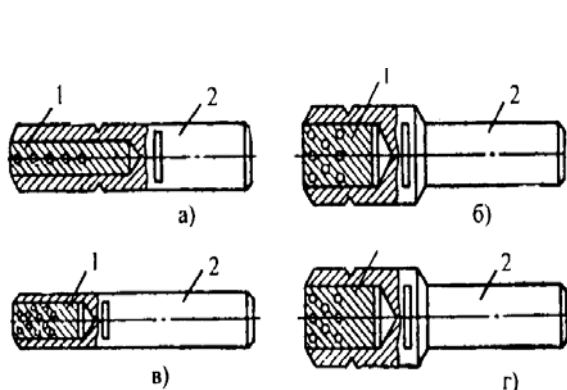
Диамантените зъбохони имат конструкцията на зъбни колела с наклонени зъби, по чиито странични стени е нанесено еднослойно или многослойно диамантено покритие. Инструментът обработва закалени зъбни колела с кинематиката на шевер и осигурява по-висока точност и по-ниска грапавост от металните шевери.

### Диамантени изравнители

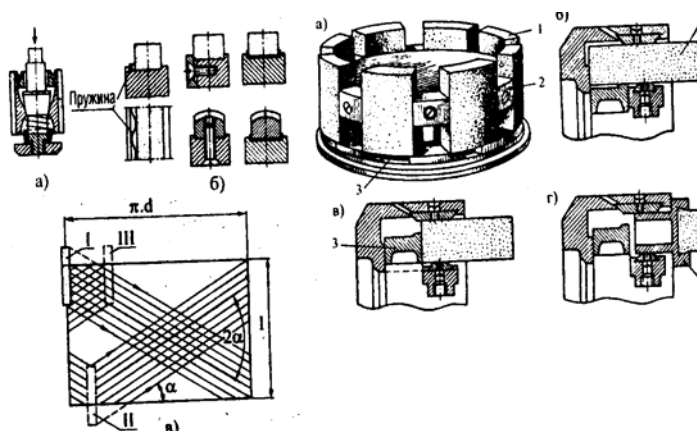
Диамантните изравнители представляват закрепени в метално тяло диамантни поликристали (фиг. 11.6.а), едноредови или многоредови инструменти (фиг. 11.6.б), (фиг. 11.7.б, г) с ориентирано разположени диамантни зърна, закрепени с подходяща свързка. Те служат за изравняване и разкриване на профила на абразивни инструменти от класически или свръхтвърди материали. Аналогични на фиг. 11.6.а са конструкциите и на крайниците за твърдомери тип Роквел и Викерс, профиломери и др., които трябва да запазват микрорелефа си максимално дълго време.



Фиг. 11.6. Диамантни изравнители



Фиг. 11.7. Диамантни изравнители - едноредови и многоредови



Фиг. 11.8. Хонинговална глава с брусове от свръхтвърди материали

## **Хонинговални глави**

Хонинговалните глави служат за окончателно обработване на вътрешни и външни повърхнини. В конструкцията си те съдържат брустчета от СТМ, които се притискат към обработената повърхнина с минимални сили, реализирани от пружини (фиг. 11.8). При възвратно - постъпателно и въртеливо движения на главата се формира изключително точна и гладка повърхнина.

Сврѣхтвърдите материали се използват в бижутерийната промишленост за обработване на скъпоценни и полускъпоценни камъни, в електронната промишленост за обработване на полупроводници, като износоустойчиви накрайници на измерителни уреди за активен контрол, твърдомери, профиломери, дюзи за изтегляне на проводници в електротехническата промишленост и др.

## **Експлоатация на инструментите от сврѣхтвърди материали**

Заготовките, предназначени за обработване с инструменти от сврѣхтвърди материали трябва да са с еднакви по форма и размери прибавки, равномерни физикомеханични характеристики, рязането да е безударно. Желателно е прибавката плавно да нараства при врязване и да намалява при излизане на инструмента от зоната на рязане.

Машините трябва да са с висока мощност и скорости на главното движение, да имат малки работни подавания – над 0,003 mm/tr за струговите и големи – до 30 mm/min за фрезите. Подавателното движение трябва да се осъществява безстепенно, обикновено чрез хидравлични устройства. Машините трябва да са с голяма стабилност.

Вретеното не бива да има биене по-голямо от 2...5  $\mu\text{m}$  и да не е на търкалящи лагери, да не се задвижва от зъбна, а от плоскоремъчна предавка. Прилагат се електродвигатели с безстепенно регулиране на честотите на въртене, които са отделно фундаментирани от машината. Тези мерки осигуряват условия за високопроизводителна обработка при минимален риск от възникване на автотрептения.

Инструментите от СТМ са много удобни за автоматизирано и едросерийно производство, използването им обикновено е свързано с отпадане на ниско производителните шлифовални и ръчни довършителни операции, които са трудоемки, а производствения им ритъм и качеството силно зависят от субективния фактор.

## **КОНТРОЛНИ ВЪПРОСИ**

1. 100% концентрация за дисковете от СТМ означават:  
а/ 100% от работната част е СТМ      б/ СТМ е  $4,4 \text{ ct/sm}^3$       в/ показател за якост
2. **Неподходяща** свързка за тесни (1mm) отрезни дискове от СТМ е:  
а/ метална      б/ органична      в/ силикатна
3. **Зъболекарските диамантени инструменти** е необходимо да са със свързка  
а/ органична      б/ сплав от Cu, Zn, Sn      в/ никелова
4. Означението 1A1 в дисковете от СТМ е показател за: а/ вида и якостта на режещите зърна      б/ форма на диска      в/ размерите на работния слой на диска
5. Означението AC4 в дисковете от СТМ е показател за  
а/ вида и якостта на режещите зърна      б/ форма на диска  
в/ размерите на работния слой на диска
6. Ножовете от СТМ в сравнение с тези от металокерамика работят  
а/ с по-големи скорости и подавания      б/ с по-малки скорости и подавания  
в/ с по-големи скорости и по-малки подавания