

## ТЕМА 2. КИНЕМАТИЧНИ СХЕМИ. РАБОТНИ ГЕОМЕТРИЧНИ ПАРАМЕТРИ НА ИНСТРУМЕНТИТЕ

### 1. Кинематични схеми

При рязане инструментът и заготовката работят като двузвенен механизъм, чиито звена са в непрекъснат контакт в точка, по линия или повърхнина и извършват определени относителни движения един спрямо друг. Съществува строго детерминирана връзка между параметрите, определящи формата и размерите им (инструментална и номинална повърхнини), взаимното им установяване и параметрите на относителните им движения (кинематични параметри).

#### 1.1. Основни определения

##### 1.1.1. Повърхнини

**Номинална повърхнина** е теоретичната форма на обработената повърхнина, без да се отчитат микрограпавините и отклоненията от формата и размерите. Тя се представя с уравнение на цилиндър, конус, равнина, винтова повърхнина с определен профил и др. Характерни елементи на математическото и описание са нормалният и вектор с положителна посока навън, радиусът на кривина със същата положителна посока и тангентите към криволинейните и координати в общия случай.

**Обработената повърхнина** е реално получената повърхнина на детайла след завършване на обработката. Тя се характеризира с определена грапавост и степен на точност, изразяваща степента на приближаването и към номиналната повърхнина.

**Инструменталната повърхнина**, наричана още производяща повърхнина е тая, по която са разположени режещите ръбове на инструмента. При абразивните инструменти тя съвпада с работните им повърхнини, а при останалите от изходната инструментална повърхнина се оформят зъбите и ръбовете чрез изрязване на стружкови канали и формиране на предни, задни и др. повърхнини. При фрезите инструменти това е конусната повърхнина, върху която лежат главните режещи ръбове на зъбите, при червячните фрези – винтовата повърхнина, на която лежат върховете и страничните режещи ръбове на отделните зъбчета и т.н.

**Повърхнината на рязане** се определя от формата на режещия ръб и главното движение на рязане. При наличие на подавателно движение режещите инструменти образуват семейство повърхнини на рязане, при което се сменя прибавката. То включва множеството повърхнини на рязане, изместени със стойността на подавателното движение и формира обработената повърхнина и номиналната стойност на микрограпавините, получени чрез изместване на съседните повърхнини на рязане със стойността на подавателното движение. Повърхнината, обвиваща семейството повърхнини на рязане формира номиналната повърхнина. Действителната стойност на микрограпавините се различава от така определената номинална стойност поради влиянието на силите на рязане, деформациите в технологичната система, колебанието на геометричните параметри на инструмента и на механичните свойства на

материала и др.

### 1.1.2. Движения

Движенията при рязане на металите са формообразуващи и спомагателни (технологични). Формообразиващите движения са относителните движения между инструмента и заготовката, извършвани по време на стружкоотнемането. Те са движения на рязане и подавателни движения.

**Движението на рязане** (въртеливо или постъпателно) е необходимо за снемане на определената прибавка. За него са предназначени основните скорости и мощности на машината. То образува повърхнина на рязане, дефинирана от формата на режещия ръб и вектора на скоростта на рязане.

**Подавателните движения** (едно или две) в съчетание от движенията на рязане и формата на режещите ръбове определят формата на обработената повърхнина.

Всички останали движения, които не влияят на формообразуването на обработената повърхнина и се извършват, когато не се срязва стружка, са спомагателни. Това са бързи, обратни ходове на машината, установъчни, делителни движения и др. Съвкупността от формообразуващите и спомагателни движения се реализира от кинематичната схема на машината.

### 1.2. Кинематични схеми на рязане

Кинематичните схеми на рязане са съвкупност от абсолютните движения, осигуряващи формообразуването на обработената повърхнина и предавани от механизмите на машината към двоицата инструмент – заготовка. Стремещт заготовките да се обработват по прост начин е довел до създаването на принципни кинематични схеми, представляващи съвкупност от 1 до 3 елементарни движения – въртеливи и постъпателни (фиг. 2.1 а).

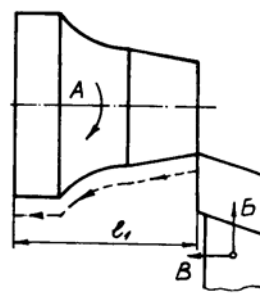
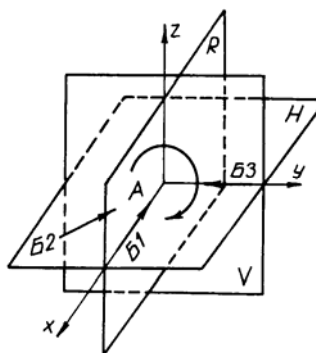
Главните движения са съставки на формообразуващото движение – едно главно движение на рязане и едно или две главни подавателни движения

гр	Схема	гр	Схема
I		V	
II		VI	
III		VII	
IV		VIII	

а/

б/

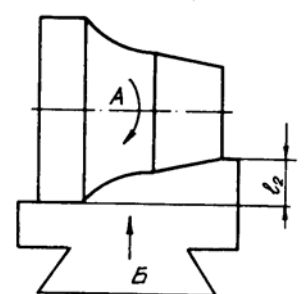
Фиг. 2.1. Кинематични схеми



а/

б/

Фиг. 2.2. Обработка а/ по VI б/ по IV схема



Първа група от кинематичните схеми, характеризираща се с едно относително транслационно движение между инструмента и заготовката е характерна за протяжки, стъргателни и дълбачни ножове. Движението на рязане може да се изпълнява от инструмента или заготовката. Движението на рязане съвпада с това на формообразуване, липсва подавателно движение по време на

рязането. Фамилията повърхнини на рязане се образува чрез установяване на режещите ръбове на известно разстояние относно предходното им установяване, реализирано от конструкцията на инструмента (протяжка) или от спомагателните движения на машината (стъргателен нож).

Втора група е характерна за стъргане по копир. Трета група се реализира при кръгли протяжки. Четвърта група е характерна за инструментите за струговане, фрезование, пробиване, зенкерование, райберование, резбонарязване и др.

По пета група работят инструменти за кръгово протегляне на ротационни повърхнини, по шеста – за затиловане на червячни фрези, по седма – за фрезование на червячни колела и дискови фрези за винтови канали, а по осма – глави за нарязване на конусни зъбни колела с кръгови зъби.

Всяка от представените групи може да се раздели на подгрупи, а те на отделни представители. Примерно ако в IV група движението B1 е успоредно на оста на въртеливото движение A, се получава схема за обработване на цилиндрични повърхнини чрез струговане, пробиване, зенкерование и др. (фиг. 2.1.б). Ако подавателното движение B3 е перпендикулярно на оста на въртене, обработената повърхнина се получава равнина (челно струговане, отрязване, фрезование), при наклонено под друг ъгъл спрямо оста подавателно движение B2 се получават конусни вътрешни или външни обработени повърхнини.

От гледна точка на формообразуването няма значение кое движение се извършва от заготовката или инструмента. Например пробиването със свредло по IV схема може да се извърши на струг, фрезова или пробивна машина, като движенията A и B се извършват съответно от заготовката и инструмента, от инструмента и заготовката и само от инструмента. Във всички случаи обработената повърхнина е цилиндрична, но е различно силовото натоварване, точността и грапавостта на получената повърхнина.

**Методите за обработване чрез рязане** не бива да се отъждествяват с принципните кинематични схеми. Освен последните методите включват редица конкретизации: кои движения от кой елемент на двузвения механизъм се изпълняват, съотношението на скоростите на отделните формообразуващи движения, вида на машината и инструмента.

Кинематичните схеми са пряко свързани с конструкцията и технологичните възможности на инструмента. На фиг. 2.2. е показана обработка на един ротационен детайл по две различни кинематични схеми. С увеличаване броя на подавателните движения инструментът става по-прост и универсален, но изисква усложняване на кинематиката на машината и понякога се губи производителност.

При показаните две схеми профилният нож (фиг. 2.2.б) е по-скъп, специален, работи с дълъг режещ ръб при по-голямо силово натоварване и изминава по-къс път. Има предимства при едросерийно производство, но за всеки подобен, но различен детайл се изисква отделен инструмент. Универсалният копирен нож може да обработи различни детайли след смяна на управляващата програма (траекторията на движение на върха на ножа) и изисква по-скъпа машина.

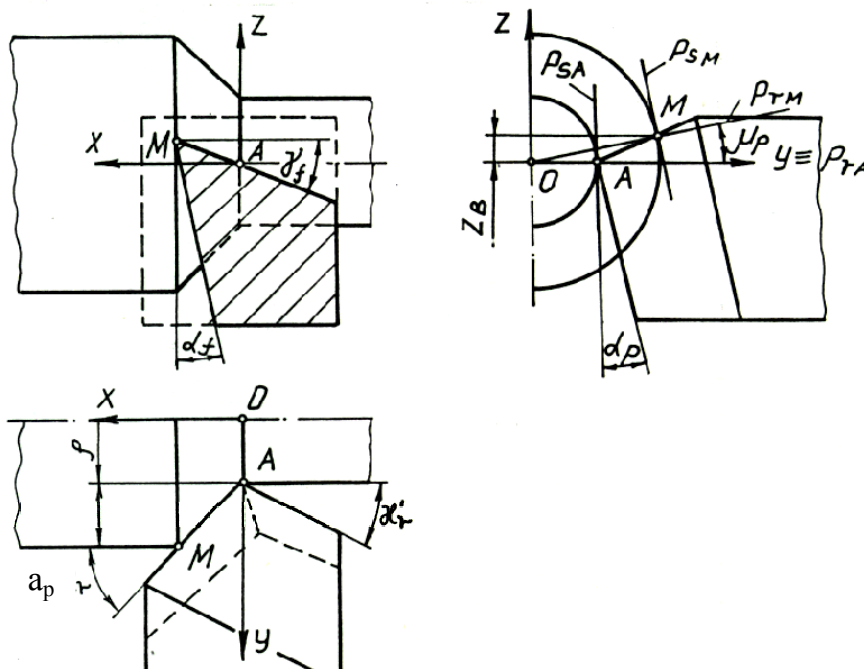
## 2. Работни геометрични параметри

### 2.1. Роля на статичните и работни геометрични параметри

Статичните геометрични параметри на инструментите служат за създаване на конструктивната им и технологична документация, както и за контрол на съответствието на параметрите на произведените инструменти със стойностите, заложи в конструктивната документация. При тях координатните равнини се ориентират относно вектора на статичната скорост на рязане, чието направление се приема спрямо базова повърхнина на инструмента.

Действителното положение на тази скорост в много случаи е различно за различните точки от разглеждания режещ ръб. Примерно на фиг. 2.3 за всяка точка от главния режещ ръб АМ направлението на статичната скорост на рязане, допирателна към обработената повърхнина в точката, оттам и на координатните равнини  $P_s$  и  $P_{re}$  е различно. Тази ситуация е валидна за всички статични геометрични параметри при положение, че ъгълът на наклона на съответния режещ ръб няма нулева стойност, примерно при инструментите, снабдени с пластини с „отрицателна геометрия“.

Статичните ъгли на режещите инструменти са пространствени ъгли, дефинирани за дадена точка от разглеждания режещ ръб и ограничавани от повърхнина, свързана с инструмента (предна, главна задна и т.н.) и повърхнина, свързана със статичната координатна система (повърхнина на рязане  $P_s$ , основна повърхнина  $P_r$ ). От фиг. 2.3 се вижда, че всички точки на режещия ръб АМ с изключение на върха А са разположени на различно разстояние над височината на оста на детайла, което предизвиква различно разположение на координатните равнини на статичната координатна система, а от там и на стойностите на статичните задни и предни ъгли за различните точки от главния режещ ръб. Разликата между разположенията на основната равнина в точки А и М  $P_{rA}$  и  $P_{rM}$  има максимална стойност  $\mu_p$ .



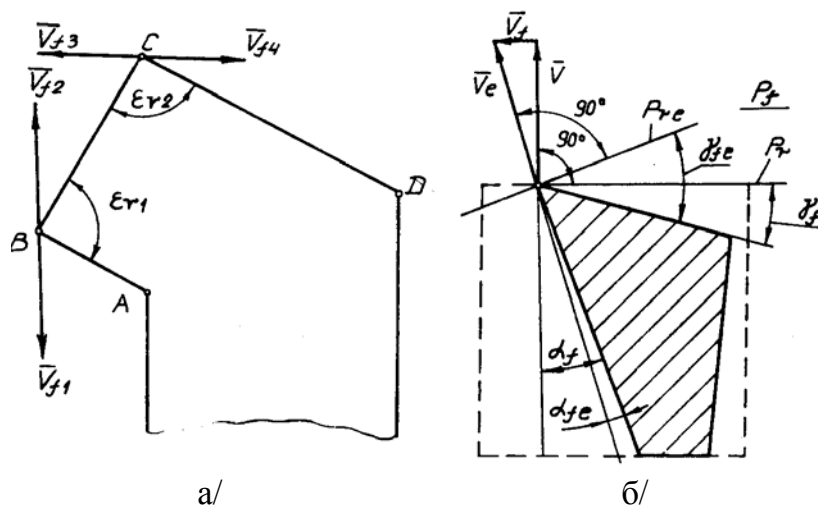
Фиг. 2.3. Връзка на ъглите на ножа с установяването

Работните геометрични параметри се реализират при рязане. Те отчитат разположението и формата на обработената повърхнина и формообразуващите движения. Статичните ъгли в дадена точка на режещия ръб са еднозначно определени и фигурират в конструктивната документация на инструмента.

## 2.2. Определяне на работните геометрични параметри

На една статична геометрия съответстват множество работни геометрични параметри, които дължат различието си на режимните фактори. Разликата между статичните и работните геометрични параметри се изразява в разликата между стойностите на статичните и работни ъгли на режещата част, дължаща се на различната ориентация на векторите на статичната и работна скорости на рязане. Работните параметри са определящи за силовото, температурното натоварване и геометричната работоспособност на инструмента, поради което трябва да се определят внимателно при избиране режима на експлоатация.

Правилното определяне както на работните, така и на статичните елементи на режещия клин изисква познаване освен на взаимното разположение на отделните повърхнини на инструмента, така и на направленията на подавателното движение относно заготовката. Така например главната задна  $P_{\alpha}$ , спомагателната задна повърхнина  $P_{\alpha I}$ , главният режещ ръб на ножа  $S$  и др. зависят от посоката на подавателното движение (фиг. 2.4.a). При подаване по  $v_{f2}$  и  $v_{f3}$   $S$  е горният ляв ръб  $BC$ , при подаване по  $v_{f4}$  – горният десен  $CD$  и т.н. При нож с определена геометрия в зависимост от посоката на подаване се изменят разположението на  $S$ , спомагателният режещ ръб  $S^I$ , предната повърхнина  $A\gamma$ , главната задна повърхнина  $A\alpha$ , ъгълът при върха  $\epsilon_r$  и други статични геометрични параметри.



Фиг. 2.4. Връзка на статични, работни ъгли и кинематични параметри на ножа

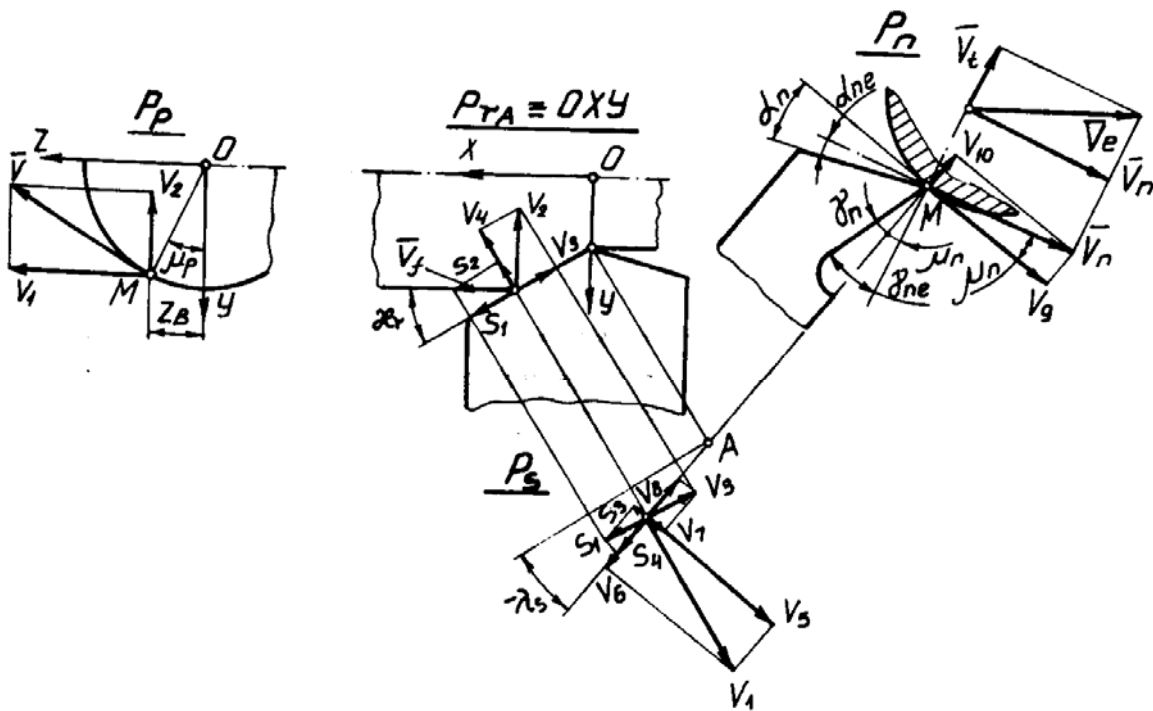
При известна стойност и посока на подавателното движение  $\bar{v}_f$  (фиг. 2.4.б) векторът на статичната скорост на рязане  $\bar{v}$  се сумира с вектора на подавателното движение  $\bar{v}_f$  и се получава вектора на работната скорост на рязане  $\bar{v}_e$ , нормален на работната основна равнина  $P_{re}$ . Ъгълът между  $\bar{v}$  и  $\bar{v}_f$  се явява и ъгъл между работните и статични координатни равнини, с които се променят стойностите между статичните и работни предни и задни ъгли.

За определяне на работните ъгли при известни статични ъгли и параметри на относителното движение между стругарски нож и заготовка се разглежда задача в общо положение - геометрия на стругарски нож с връх на височината на центрите, ъгъл  $\lambda_s < 0$ , т.е. всички останали точки от режещия ръб са на височина над центрите (фиг. 2.5).

Счита се, че са известни зависимостите между статичните ъгли в различните направления и височината  $Z_B$  на разглежданата точка над центрите на заготовката и съответстващия на това централен ъгъл в равнината  $P_p - \mu_p$ .

Известни са статичните ъгли  $\chi_r, \lambda_s, \gamma_n, \alpha_n$ , радиусът  $\rho$  на номиналната повърхнина в разглежданата точка, дълбочината на рязане  $a_p$  в нея, скоростите на главното движение на рязане  $v$  и на подавателното  $v_f$ . Разглежда се геометрията в текуща точка  $M$ , за която при  $a_p = 0$  се получават резултати за върха на ножа, а за  $a_p = a_p$  - за крайната точка от активния режещ ръб.

Използва се кинематичния метод на Петрухин за ортогонално и последователно проектиране векторите на формообразуващите движения  $v$  и  $v_f$  в различните координатни равнини като се проектират не целите вектори, а ортогоналните им съставляващи  $v_1 - v_8$  и  $s_1 - s_4$ .



Фиг. 2.5. Схема за определяне работните ъгли на нож

От проекцията в напречната равнина  $P_p$  следват зависимостите:

$$v_1 = v \cos \mu_p, \quad v_2 = v_1 \sin \mu_p.$$

От проекцията в основната равнина  $P_{ra}$  се извеждат зависимостите:

$$v_3 = v_2 \sin \chi_r = v \sin \mu_p \sin \chi_r, \quad v_4 = v_2 \cos \chi_r = v \sin \mu_p \cos \chi_r,$$

$$s_1 = v_f \cos \chi_r, \quad s_2 = v_f \sin \chi_r.$$

В проекцията Ps компонентите на формообразуващите движения се проектират по дължината и нормално на наклонения режещ ръб:

$$\begin{aligned}v_5 &= v_1 \cos \lambda_s = v \cos \mu_p \cos \lambda_s, & v_6 &= v_1 \sin \lambda_s = v \cos \mu_p \sin \lambda_s, \\v_7 &= v_3 \sin \lambda_s = v \sin \mu_p \sin \chi_r \sin \lambda_s, \\v_8 &= v_3 \cos \lambda_s = v \sin \mu_p \sin \chi_r \cos \lambda_s, \\s_3 &= s_1 \sin \lambda_s = v_f \cos \chi_r \sin \lambda_s, \\s_4 &= s_1 \cos \lambda_s = v_f \cos \chi_r \cos \lambda_s.\end{aligned}$$

Векторът на формообразуващото движение  $v_e$  има проекции в равнината Pn, нормална на режещия ръб и проекция  $v_t$ , лежаща в равнината Ps, допирателна на режещия ръб, като  $v_n$  се състои от компоненти  $v_9$ , допирателна към повърхнината на рязане и  $v_{10}$ , нормална към нея. Стойностите на съставните вектори са:

$$\begin{aligned}v_9 &= v_5 + s_7 - s_3, & v_{10} &= v_4 + s_2, \\v_n &= \sqrt{v_9^2 + v_{10}^2}, & v_t &= v_6 + s_4 - v_8.\end{aligned}$$

Ъгълът  $\mu$  на завъртане на работната основна равнина, измерван в Pn е

$$\tan \mu_n = \frac{v_{10}}{v_9}.$$

Зависимостите за определяне на работните преден и заден ъгли в равнината Pn:

$$\gamma_{ne} = \gamma_n + \mu_n, \quad \alpha_{ne} = \alpha_n - \mu_n.$$

Работният ъгъл на наклона на главния режещ ръб е:

$$\tan \lambda_{se} = \frac{v_t}{v_n}$$

При разгънатия вид на формулите и разделянето на числителя и знаменателя на  $v$  се получават изрази

$$\frac{v_f}{v} = \frac{f_n n}{2\pi r n} = \frac{f_n}{2\pi r},$$

което се нарича **кинематичен параметър** на обработката. Той е показател за ъгъла на подема на винтовата линия на траекторията на ножа върху обработената повърхнина. Разгънатият вид на формулата за ъгъла на изменение на статичните ъгли на рязане е:

$$\tan \mu_n = \frac{\sin \mu_p \cos \chi_r + \frac{f_n}{2\pi r} \sin \chi_r}{\cos \mu_p \cos \lambda_s + \sin \mu_p \sin \lambda_s \sin \chi_r - \frac{f_n}{2\pi r} \cos \chi_r \sin \lambda_s}.$$

Колкото е по-голям кинематичният параметър, толкова работните ъгли повече се отличават от статичните. Анализът на факторите, влияещи на горния ъгъл показва, че разликата между статичните и работните ъгли се дължи на два фактора - разположението на т. М над или под равнината Pr, което поражда изменения в равнината Pr и променя статичната геометрия. Това влияние не зависи от режимните фактори, а от статичните ъгли и дълбочината на срязвания

слой. Вторият фактор е наличието на подавателно движение, пораждащо изменение в равнината на подавателното движение  $P_f$ , което е свързано с кинематичния параметър и може да има различни стойности при постоянна статична геометрия.

За частния случай  $\lambda_s = 0^\circ$  се получава  $\mu_p = 0$ . Всички точки от режещия ръб лежат на височината на центрите. Изменението на работните ъгли в този случай зависи само от кинематичния и един геометричен параметър:

$$\tan \mu_n = \frac{f_n}{2\pi\rho} \sin \chi_r.$$

При повечето обработки този ъгъл не превишава стойностите на допустимите отклонения на ъглите при изработване на инструментите ( $0,5...1^\circ$ ). При обработване на винтови повърхнини с голяма стъпка (червяци за редуктори, несамоспиращи двигателни винтове и др.) този ъгъл може да достигне  $10...20^\circ$  и задължително трябва да се отчита. Това е влиянието на втория, кинематичен фактор.

При  $\lambda_s \neq 0$  и  $v_f = 0$  се получава работната геометрия на нож, чиято разлика от статичните ъгли се дължи на различното установяване на отделните точки от режещия ръб относно центрите (фиг. 2.3). При големи стойности на дълбочината на рязане, главният установъчен ъгъл и ъгъла на наклона на главния режещ ръб разликата между статичните и работни ъгли, дължаща се на този фактор, също може да бъде съществена.

### 3. Работоспособност на инструментите по геометричен признак

За да може да работи режещият инструмент освен изискванията за твърдост, якост, износоустойчивост и грапавост на работните повърхнини, е необходимо да се спазват някои геометрични условия, които гарантират внедряването на инструмента в обработената повърхнина да се осъществява само с режещия ръб, а не с цели повърхнини, при което би се получило рязко изменение на условията на рязане и преустановяване на процеса. Удовлетворяването на тези геометрични условия се нарича **работоспособност по геометричен признак**.

Правилно конструираният режещ инструмент трябва да има положителни работни задни ъгли във всички направления и за всички повърхнини. Това гарантира траекторията на точки от съответната задна повърхнина да не пресича обработената повърхнина, което би довело до силна деформация, катастрофално увеличаване силите на рязане и аварии.

Първото условие за работоспособност на инструмента по геометричен признак е работните задни ъгли (главни и спомагателни) да имат достатъчни положителни стойности. Това не гарантира най-добрите условия на работа. Последните изискват оптимизиране стойностите на ъглите в зависимост от еластичната деформация на обработвания материал. Условието гарантира само наличие на работоспособност.

Второто условие за работоспособност по геометричен признак е главният установъчен ъгъл да има достатъчна положителна стойност за снемане на определената прибавка  $a_p$  при наличната дължина на режещия ръб  $l$ .



$$l > \frac{a_p}{\sin \chi_r},$$

от където може да се изведе граничната минимална стойност на ъгъла.

Стойностите на ъгъла на наклона на главния режещ ръб могат да са положителни, нулеви или отрицателни. Това се отразява на посоката на отвеждане на стружката - към заготовката или към работника, но не и на работоспособността на инструмента.

Положителните или отрицателни стойности на предния ъгъл влияят върху здравината му. Тя е най-голяма при отрицателни стойности. Стойностите на ъгъла влияят също на силите на рязане, на износоустойчивостта, на температурата и площта за отвеждане на топлината през тялото на инструмента. Те не влияят на работоспособността на инструмента по геометричен признак.

### КОНТРОЛНИ ВЪПРОСИ

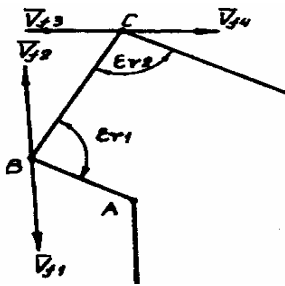
1. Дайте определения за повърхнини и движения при формиране на номиналната повърхнина от инструменталната.

2. Посочете кои ъгли могат да имат отрицателни стойности:

а/  $\chi_{re}, \lambda_{se}$

б/  $\lambda_{se}, \gamma_{oe}$

в/  $\gamma_{oe}, \alpha_{oe}$



3. Означете главния режещ ръб с S, спомагателния с S<sup>I</sup>, главния установъчен ъгъл  $\chi_r$  и спомагателния установъчен ъгъл  $\chi_r^I$  при посока на подавателното движение по  $V_{f4}$  на показаната фигура.

4. Дайте пример за инструмент, работещ по шеста кинематична схема.

5. По коя кинематична схема работят дълбачните ножове: а/ I б/ IV в/ VI

6. При нарязване на зъбно колело с дискова модулна фреза завъртането на заготовката от зъб на зъб е

а/ движение на рязане б/ кръгово подавателно в/ спомагателно

7. В кое съчетание и двата ъгъла **могат** да имат отрицателни стойности

а/  $\chi_r, \lambda_s$

б/  $\alpha_o, \gamma_o$

в/  $\lambda_s, \gamma_o$ .

8. При работа ъглите на инструментите се променят относно статичните поради:

а/ промяна на разположението на  $A_\alpha, A_\gamma, A_\alpha^I$  и т.н.

б/ промяна на разположението на Pr и Ps

в/ температурата в зоната на рязане и топлинните деформации

9. Обяснете причините за измененията на работните предни и задни ъгли по дължина на трите режещи ръба на ножа за нарязване на резба, зададен с индивидуални параметри в лабораторното упражнение.

10. Инструменталната повърхнина на червячна модулна фреза е:

а/ витновата повърхнина, по която лежат предните повърхнини на зъбчетата

б/ винтовата повърхнина с параметри на модулна резба, по която са наредени върховия и страничните режещи ръбове на зъбчетата

в/ архимедовата спирала, по която е оформена задната повърхнина на на зъбчетата

11. Повърхнината на рязане при свредловане е:

а/ предната повърхнина по която се транспортира стружката

б/ винтовата повърхнина, получена от формата на режещите ръбове, въртеливото и подавателно движение на свредлото

в/ конусната повърхнина, получена от формата на режещите ръбове и относителното въртеливото движение между него и заготовката

12. Кои движения при нарязване на зъбни колела с дискова модулна фреза са на рязане, подавателни и спомагателни?

13. При установяване върха на стругарския нож на височина на центрите статичните му ъгли ще имат различни стойности по дължината на режещия ръб ако

$$а/ \gamma_o = 20^o \quad б/ \chi_r = 20^o \quad в/ \lambda_s = 20^o$$

14. При една и съща стойност на  $f_n$  разликата между статичните и работните ъгли ще бъде по-голяма в случай че:

а/ диаметърът на обработената повърхнина е по-голям

б/ диаметърът на обработената повърхнина е по-малък

в/ не зависи от диаметъра на обработената повърхнина

15. При определена дълбочина на рязане активната дължина на режещия ръб

а/ е по-голяма при малка стойност на ъгъл  $\chi_r$

б/ е по-малка стойност при малка стойност на ъгъл  $\chi_r$

в/ не зависи от стойността на ъгъл  $\chi_r$

16. При работа на свредло с определено подаване работните задни ъгли намаляват в по-голяма степен за точките от режещия ръб, разположени

а/ близко до външния диаметър

б/ близко до сърцевината

в/ в еднаква степен за всички точки от режещия ръб