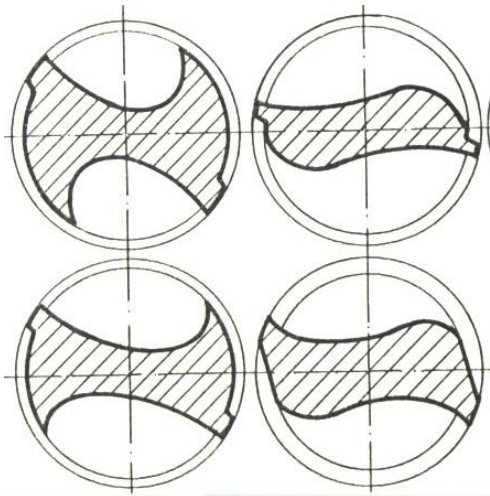


## ТЕМА 3. ЯКОСТ НА РЕЖЕЩИТЕ ИНСТРУМЕНТИ

### 1. Оразмеряване на тялото и на съединителната част

Обоснованото оразмеряване на телата на режещите инструменти е важно за правилното им функциониране. Те трябва успешно да понесат напреженията, предизвикани от силите на рязане и закрепване и вътрешните напрежения, да имат приемливи деформации, да са виброустойчиви и да съдържат минимум метал.

Опростените модели на силово натоварване предвиждат статично действие на външните сили, неизменящи се по време на експлоатация. Едномерното напрегнато състояние е характерно за малък брой случаи: опън – натиск за протяжки и прошивки, чистото усукване - за метчици и плашки, чистото огъване - за отрязващите ножове.



Фиг. 3.1. Напречни сечения на свредла

За повечето инструменти е характерно сложно напрегнато състояние. Така например свредлата са ротационни тела със сложна и разнообразна форма и геометрични характеристики на напречното сечение (фиг. 3.1), с винтови канали с променящ се от 15 до 60° ъгъл на подема на винтовата линия. Осовата сила товари свредлото на натиск, а въртящият момент се стреми да развива винтовите пера и да удължава тялото, което води до моментно увеличаване на подаването, то до моментна промяна на ъглите на режещата част и натоварването и т.н.

В реалните случаи сложната форма на телата е съчетана със сложна картина на натоварването – съчетания от усукване и натиск (свредла, зенкери и др.), огъване и усукване и т.н. В тези случаи действителното двумерно или тримерно натоварване се редуцира до еквивалентно едномерно, обикновено огъване или опън/натиск.

Под въздействие на външното натоварване инструментите получават определени линейни “ $y$ ” и ъглови “ $\Delta\varphi$ ” деформации, които се отразяват на точността на обработената повърхнина и променят някои геометрични елементи на конструкцията. Теоретичните еластични деформации на тяло с права форма и постоянно напречно сечение се изчисляват по формулите:

$$\text{при опън/натиск - } y = \frac{Fl}{ES};$$

$$\text{при усукване - } \Delta\varphi = \frac{Ml}{GJp};$$

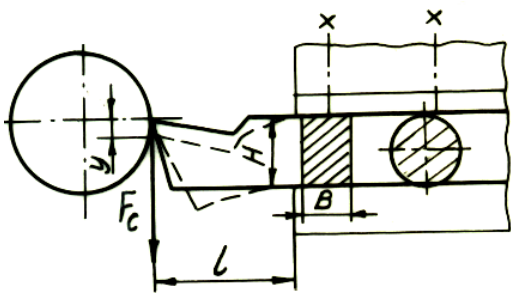
$$\text{при конзолно огъване } y = \frac{Fl^3}{3EJ};$$

$$\text{при огъване между две шарнирни опори } y = \frac{Fl^3}{48EJ};$$

където  $F$  и  $M$  са натоварващите сила и момент,  $E$  и  $G$  са модулите на линейна и ъглова деформация на тялото,  $J_p$  и  $J$  са полярния и осов инерционни моменти на напречното сечение,  $l$  е дължината на тялото,  $S$  е напречното му сечение.

Особен случай се явяват дългите инструменти с малки напречни сечения, които са подложени на натисково натоварване и се нуждаят от изчисления на изкълчване.

В редица практически случаи напрегнатото състояние се свежда до по-прости модели, като се отчита само главната сила на рязане. Така например държачът на проходен нож се оразмерява на чисто огъване (фиг. 3.2).



**Фиг. 3.2.** Схема за якостно и деформационно оразмеряване на държача

$$W_{np} = \frac{BH^2}{6},$$

$$W_{кв} = \frac{B^3}{6},$$

$$W_{кр} = 0,1d^3.$$

Допустимото напрежение  $[\sigma_{ог}] = N_b \sigma_b (N_s \sigma_s)$  зависи от коефициента на сигурност  $N_{b,s}$  и разрушаващото напрежение  $\sigma_{b,s}$  при крехко (пластично) разрушаване.

При ножове с голяма конзолност е лимитиращо не якостното, а деформационното оразмеряване, осигуряващо определени стойности на линейната или ъглова деформация на инструмента. За ножове за грубо обработване допустимата линейна деформация е 0,1 mm, а за чисто обработване - 0,02...0,05 mm. След като по горния критерий е избрано напречно сечение с определени минимални размери и инерционен момент J, трябва да се сравни този инерционен момент с минималното необходимия [J], осигуряващ граничното провисване:

$$[J] \geq \frac{F_c l^3}{3[y]E},$$

където [y] е допустимото провисване, а E - модулът на еластичност на държача.

Обикновено стъргателните ножове имат 1,5 пъти по-големи размери на напречното сечение от проходните поради ударното натоварване.

Така определените размери са теоретично точни, на практически са силно приближени, защото не отчитат радиалната и осова сили, увеличаването на всички сили с износването, неравномерността на механичните характеристики на материала, ударността на натоварването, влиянието на геометричните параметри на режещата част и др. Тези фактори се отчитат чрез силно завишаване стойността на коефициента на сигурност в сравнение със стойностите му при оразмеряване на машинните елементи, работещи при по-точно описани натоварвания.

Най-често силовото натоварване е комбинирано - усукване и натиск, усукване и огъване и др. В този случай сложното напрегнато състояние се редуцира до едномерно, при което еквивалентното действащо напрежение трябва да е по-малко от допустимото нормално напрежение за инструменталния материал, като еквивалентното напрежение за различните напрегнати състояния се определя по класическите правила от Съпротивление на материалите и се спазва ограничението

$$\sigma_{екв} \leq [\sigma_{он}].$$

Държачите за ножове са стандартизирани в три форми на напречното сечение: правоъгълна, квадратна и кръгла. Натоварването от главната сила на рязане създава огъващ момент

$$M_{ог} = F_c l.$$

Той трябва да е по-малък от допустимия [Mog], определен по зависимостта

$$[M_{ог}] = W_{ог} [\sigma_{ог}],$$

където съпротивителния момент за трите напречни сечения е функция на размерите им и се определя по формулите:

Като гранични якостни характеристики при крехките инструментални материали се използват най-често разрушаващите напрежения  $\sigma_b$  и  $\tau_b$ , а при пластичното разрушаване се използват границите на провлачване  $\sigma_s$  и  $\tau_s$ .

Малките стойности на коефициента на сигурност [N] водят до преразход на инструменти поради често чупене, а големите – до преразход поради преоразмеряване. Коефициентът се определя по диференциалния метод по формулата

$$[N] = S.K.T.M,$$

където - S е коефициент, характеризиращ запаса на якост, обикновено 2;

- K отчита точността на изчисляване на напреженията, обикновено 1,9;

- T отчита влиянието на технологичните фактори върху якостта 1,12;

- M отчита методите на изпитване 1,15...1,55.

В литературата се предлагат и таблични стойности на коефициента за различни по вид и материал инструменти, които се използват по-често.

## **2. Якостни особености на съставните инструменти**

Режещите инструменти със споена или заварена режеща част са съставни тела от материали с различни физикомеханични свойства. Пр. топлопроводността на металокерамиката е над 2 пъти по-малка от тази на конструкционните стомани, използвани за държачи, коефициентът на линейно разширение е над 3 пъти по-малък, модулът на еластичност е 2,5 пъти по-малък, електросъпротивлението 4 пъти по-голямо и др., което създава вътрешни напрежения в съставения от двата материала инструмент.

При спояване инструментът се нагрива до 1100...1200°, като при 700...900° в закалената стомана на държача става превръщане на аустенита в перлит и ферит, свързано с увеличаване на обема и вътрешни напрежения. При охлаждане двата материала се свиват съвместно и се появяват други напрежения, дължащи се на различните коефициенти на линейно разширение. Рязкото нагриване при рязане и заточване и охлаждането предизвикват напрежения в повърхностния слой, които в съчетание със силите на рязане предизвикват микропукнатини и откъртвания по режещите ръбове, режещата част или повърхнините на съединяването и с тялото.

При по-голяма обща площ на пластината с държача вътрешните напрежения са по-големи, което налага набраздяване на опорната площ на държача или поставяне на мрежа от цветен метал.

При деформация на инструмента, съставен от два материала с различни модули на еластичност също се появяват вътрешни напрежения. При ножовете със споени металокерамични пластини най-благоприятно съотношение на височините на опората и пластината е 3...4, което трябва да се спазва при инструментите за груби обработки.

## **3. Напрежения в задконтактната зона на режещата част**

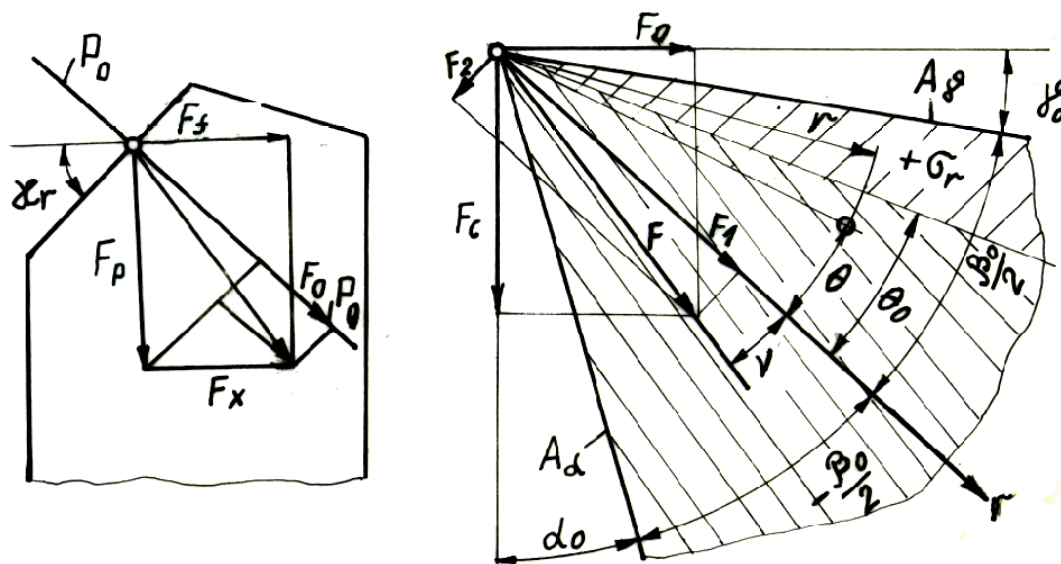
При анализа на напрегнатото и деформирано състояние на режещата част в нея се обособяват две зони, съществено различаващи се по разпределение на натоварването от действието на външните сили и по характера на напрегнатото и деформирано състояние. Контактната зона на инструмента със стружката и заготовката с размери не по-големи от 2...3 мм от режещия ръб по посока на движението на стружката се характеризира с монотонно изменящи се нормални напрежения и известен максимум на тангенциалните напрежения, изучавани в дисциплината Рязане на металите.

Задконтактната зона на режещата част е с чувствително по-големи размери. Тя е

натоварена предимно силово и по-малко топлинно. Поради отдалечеността на зоната от режещия ръб се приема, че силата на рязане, действаща в общо положение е равномерно разпределена по активната му част, а напрегнатото състояние, породено от нея е равнинно и еднакво във всички сечения, нормални на режещия ръб .

Известни са геометричните елементи на режещия клин  $\chi_r$ ,  $\alpha_o$ ,  $\beta_o$  и  $\gamma_o$ , компонентите на силата на рязане  $F_s$ ,  $F_p$  и  $F_f$ , дължината на активната част на режещия ръб "в" (фиг. 3.3). Проекцията  $F_o$  на общо разположената сила на рязане  $F$  в равнината  $P_p$  в направление нормално на режещия ръб е

$$F_o = F_p \cos \chi_r + F_f \sin \chi_r.$$



**Фиг. 3.3.** Схема за изчисляване напреженията в задконтактната зона на режещата част

Напрегнатото състояние се разглежда в полярна координатна система в равнината  $P_o$  с начало режещия ръб, ос  $r$  по симетралата на режещия клин и полярен ъгъл  $\theta$  с положителна посока към предната повърхнина. В равнината  $P_o$  се проектират силите  $F_o$  и  $F_c$  и равнодействащата им  $F$ , които могат да се разложат на сили  $F_1$  по оста и  $F_2$  перпендикулярно на нея. Проекцията на общата сила на рязане в тази координатна система е

$$F = \sqrt{F_o^2 + F_c^2}.$$

Ако инструментът е натоварен само със силата  $F_1$  в него се създават само натискови напрежения, ако е натоварен само с  $F_2$  се създават зона с опънови напрежения към предната повърхнина и с натискови напрежения към задната, като неутралната линия съвпада с оста на координатната система. При едновременното действие на  $F_1$  и  $F_2$  в режещия клин се създават зони на натискови и опънови напрежения. Според Бетанели радиалните напрежения се определят по формулата

$$\sigma_r = \frac{2F}{br} \left( \frac{\cos \xi \cos \theta}{\beta_o + \sin \beta_o} + \frac{\sin \xi \sin \theta}{\beta_o - \sin \beta_o} \right).$$

Ъгълът между силата  $F$  и оста на координатната система  $r$  е

$$\xi = \alpha_o + 0,5\beta_o - \arctan \frac{F_o}{F_c}.$$

При полагане на  $\sigma_r = 0$  се получава уравнението на неутралната линия, над която напреженията са опънови, а под нея – натискови, чиито ъглов параметър  $\theta_o$  се определя от:

$$\theta_o = \arctg\left(\frac{\beta_o - \sin \beta_o}{\beta_o + \sin \beta_o} \operatorname{ctg} \xi\right).$$

Анализът на зависимостите показва, че с отдалечаване от режещия ръб напреженията намаляват. Те намаляват при по-големи стойности на ъгъла на режещия клин, който е най-голям при отрицателни предни ъгли. Въпреки, че това е свързано с увеличаване силите на рязане, напрегнатото състояние в този случай е по-благоприятно поради по-интензивното влияние на ъгъл  $\beta_o$  върху якостта от влиянието на предния ъгъл  $\gamma_o$  върху силите на рязане.

Препоръчително е за крехките инструментални материали горната зона с опънови напрежения да е по-малка или да липсва. Ако се положи изискването ъгъла на неутралната линия да съвпада с този на предната повърхнина ще се получи условието, при което цялата режеща част ще е натоварена с натискови напрежения. В този случай

$$\tan \theta \leq \frac{\beta_o - \sin \beta_o}{\beta_o + \sin \beta_o} \operatorname{ctg}(0,5\beta_o).$$

От последната зависимост се вижда, че за да се получат само благоприятните натискови напрежения трябва ъгълът между предната и главната задна повърхнини да е голям, а  $\xi$  да е малък. Последният ъгъл зависи от съотношението на компонентите на силата на рязане. Колкото ъгълът е по-голям и силата  $F$  е по-близо до задната повърхнина, толкова е по-голяма вероятността по предната повърхнина да възникнат опънови напрежения. Тези случаи са характерни за лимитиращи стойности на  $F_c$ , което се получава при рязане с дебели стружки, т.е. при груби обработки.

Теоретичните методи за изследване на напрегнатото състояние на режещата част като гореизложения и най-съвременния - компютърните методи за инженерен анализ трябва да се проверяват в определени точки чрез експериментални методи като поляризационно оптичния, метода на мембранната аналогия и др., за да се избегнат грешки от съществено разминаване на модела с конкретната действителност.

Най-съвременните компютърни методи за инженерен анализ на напрегнатото и деформирано състояние на конструкциите, както и разпределението на температурите в тях се изучава в отделна дисциплина и използва програмно осигуряване със специализиран софтуер за САЕ анализ.

Изложеният по-горе класически метод на Бетанели дава възможност да се определят напреженията в произволна точка от режещия ръб или разпределението им по предна повърхнина ( $\theta = 0,5\beta_o$ ), където са най-големите стойности на опъновите напрежения, по задна повърхнина  $\theta = -0,5\beta_o$ , където са най-големите стойности на натисковите напрежения или да се опишат напреженията, характерни за цилиндрично сечение с радиус  $r$  и променлива стойност на полярния ъгъл при преминаване от предната към задната повърхнина.

Формулите, съдържащи алгебрични действия с тригонометрични функции изискват ъглите да са определени в радиани.

## КОНТРОЛНИ ВЪПРОСИ

1. При използваните опростени схеми на натоварване на режещите инструменти коефициентът на сигурност относно машинните елементи е:

а/ по-голям                      б/ по-малък                      в/ еднакъв

2. След оразмеряване на държача на ножа на огъване проверката на

деформацията при голяма конзолност на инструмента е:

а/ излишна                      б/ задължителна                      в/ се извършва по преценка на конструктора

3. Напреженията между неутралната линия и  $A_\gamma$  са:

а/ тангенциални                      б/ натискови                      в/ опънови

4. Напреженията между неутралната линия и  $A_\alpha$  са:

а/ тангенциални                      б/ натискови                      в/ опънови

5. При монолитен нож от бързорежеща стомана изчисленото напрежение в задконтактната зона на режещата част трябва да е съобразено с характеристиките

а/  $\sigma_s$     б/  $\sigma_b$     в/  $\tau_s$

6. При нож с конзолност 20 мм очакваното лимитиращо оразмерване е

а/ на огъване                      б/ на провисване                      в/ на усукване

7. При нож с конзолност 240 мм очакваното лимитиращо оразмерване е

а/ на огъване                      б/ на провисване                      в/ на усукване

8. Изложената методика за оразмеряване е подходяща за инструменти:

а/ работещи в постоянни условия на експлоатация

б/ използвани както за добри, така и за тежки условия на експлоатация

в/ универсална за всички случаи

9. При коефициент на сигурност  $N = 20$  и допустимо напрежение  $[\sigma_{ог}] = 20\sigma_b$  направеното оразмерване на тялото е:

а/ много добро поради висока гарантирана сигурност

б/ около вероятния оптимум

в/ лошо поради преразход на материал

10. При големи стойности едновременно на предния и задния ъгли напреженията в задконтактната зона на режещата част се очаква да са:

а/ ниски поради по-малките сили на рязане и триене

б/ високи поради малкия ъгъл на режещия клин

в/ независими от тези ъгли, а само от режима на рязане

11. При работа с големи стойности на  $a_p$  в сравнение с фините обработки задконтактната зона на режещата част

а/ има по-голяма зона на опънови напрежения

б/ има по-голяма зона на натискови напрежения

в/ е по-благоприятно натоварена

12. Пластините от оксидна керамика е най-добре да работят с:

а/ положителни предни и малки задни ъгли

б/ отрицателни предни и големи задни ъгли

в/ отрицателни предни и малки задни ъгли