

Глава втора

1.2. Точност при обработването на машинните части

При обработването на машинните части, вследствие на геометричната неточност на металорежещите машини, неточностите и износването на металорежещите инструменти и приспособления, температурните и еластичните деформации на системата машина - приспособление – инструмент, деформациите на машинните части под действието на вътрешни напрежения, грешките, които допуска работника при настройване на машините, при центроване и подаване на инструмента и на други причини формата на действителните повърхнини, техните размери и взаимно разположение се различават от формата на геометричните повърхнини. По такъв начин действителната машинна част, получена след обработването, се различава от геометричната, теоретично получена машинна част.

Разликата между параметрите на действителната и геометричната машинна част, определя грешките при обработването. Грешките, получени при обработването на машинните части, характеризират точността им.

Под точност при обработването се разбира степента на съответствие между параметрите на действителната и геометричната машинна част. Колкото тази степен на съответствие е по-голяма, т.е. колкото грешките при обработването са по-малки, толкова по-голяма е точността при обработването.

Тъй като грешките при обработването са неизбежни, конструкторите определят по две гранични стойности на параметрите на машинните части, между които трябва да се разположат действителните им стойности, т.е. конструкторите определят зададената (нормираната) точност. Да се осигури зададената точност на машинните части ще рече, те да се изработят така, че грешките при обработването да бъдат в зададените от конструктора граници.

След обработването на машинните части се получава тяхната действителна точност.

Под действителна точност на отделно взета машинна част се разбира съвкупността от грешки в параметрите. А действителната точност на партида от еднакви машинни части се определя като съвкупност от зоните, в които се разпределят отклоненията на параметрите на тези части.

Когато се определя точността при обработването на машинните части, най-често се има предвид точността на геометричните параметри, но изложените тук понятия за точност важат и за другите показатели на качеството, както и геометричните параметри, трябва да бъдат в определени от конструктора граници.

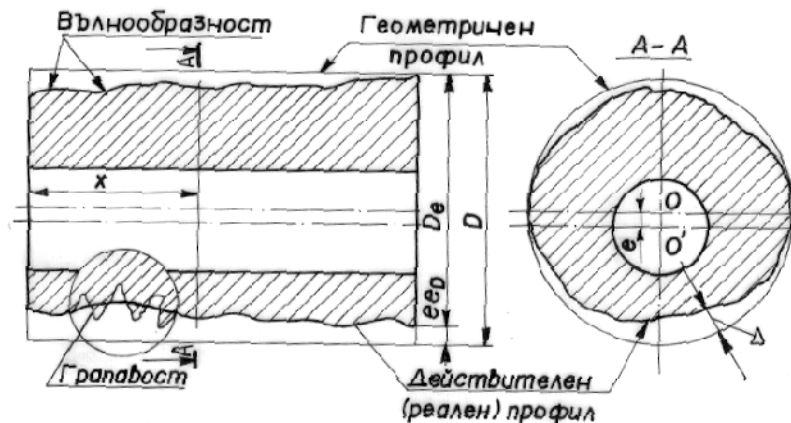
Отклоненията на геометричните параметри на машинните части биват:

- отклонения на линейните и ъгловите размери;
- отклонения на формата;
- отклонения на разположението на повърхнините и осите;
- вълнообразност на повърхнините;
- грапавост на повърхнините;

На фиг. 1.2.1 са показани всички отклонения за една външна цилиндрична повърхнина в осово сечение и в сечение, перпендикулярно на оста на разстояние x от едното чело.

За да се провери годността на машинната част по геометричните параметри, трябва да се определят действителната точност на размерите и точността на формата и взаимното разположение на повърхнините и осите, да се измерят вълнообразността и грапавостта на повърхнините на машинната част.

На фиг. 1.2.1 са показани следните геометрични размери: D - зададен диаметър; D_e - действителен диаметър; eD - действително отклонение на диаметъра; Δ - отклонение на формата; e - отклонение на разположението (ексцентрицитет) на оста на отвора; O - зададено положение на оста на отвора; O' - действително положение на оста на отвора.



Фиг. 1.2.1. Отклонения на геометрични параметри

1.2.1. Точност на размерите на машинните части

След обработването на машинните части се получава тяхната действителна точност. Под действителна точност на отделно взета машинна част се разбира съвкупността от грешки в параметрите на готовото изделие. А действителната точност на партида от еднакви машинни части се определя като съвкупност от зоните, в които се разпределят отклоненията на параметрите на тези машинни части.

Когато се определя точността при обработването на машинните части, най-често се има предвид точността на геометричните параметри, но изложените до тук понятия

за точност важат и за другите показатели на качеството като: твърдост, износоустойчивост и др. които трябва да бъдат в зададените от конструктора граници.

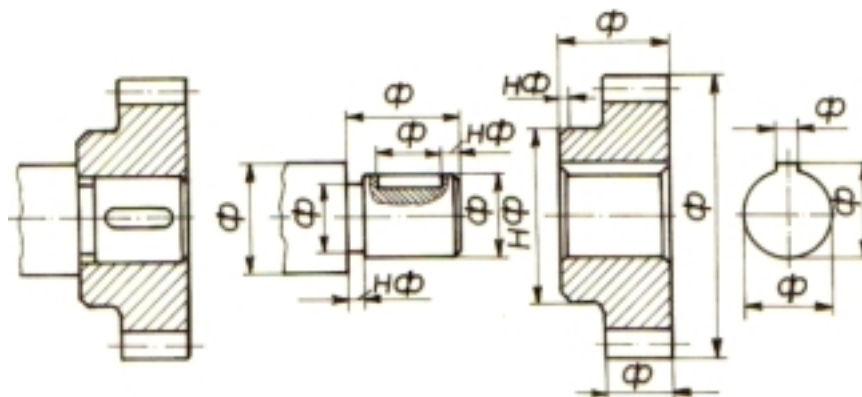
Когато се определят зададената точност на размерите на машинните части се изхожда от тяхното предназначение. В зависимост от това размерите на машинните части се делят на функционални и нефункционални (свободни), фиг. 1.2.2.

Функционалните размери имат важно значение за предназначението на машинната част, Такива са например размерите на присъединителните повърхнини, по които се съединяват машинните части, възлите и агрегатите, размерите на звената на кинематични вериги, размерите, получени чрез пресмятане на динамично или статично натоварване, спомагателните размери, необходими при изпълнението на някои производствени операции.

Нефункционалните размери не участвуват в размерни вериги. Те не оказват влияние върху точността и характери на съединенията и въобще нямат непосредствено значение за експлоатационните показатели на машините (фиг. 1.2.2).

Зададената точност при обработването на функционални и нефункционални размери не е еднаква. Тя е по-голяма при функционалните и по-малка при нефункционалните размери. Конкретно зададената точност на размерите се определя, като се изхожда от функционалното предназначение на всеки отделен размер и се използват нормативни документи, решават се размерни вериги или се използват опитни данни.

Нормативните документи са най-често стандарти, в които се регламентира точността на параметрите на различните съединения.



Фиг. 1.2.2. Функционални (ф) и нефункционални (НФ) размери

1.2.2. Оразмеряване и измерване на машинните части

При оразмеряване на машинните части конструкторът определя най-напред номиналните им размери, т.е. числените стойности на размерите, които се поставят върху чертежите, чрез пресмятане на детайлите на статична и динамична якост, чрез решаване на кинематични или статични размерни вериги или по чисто конструктивни съображения, с оглед на тяхното функционално предназначение. Определените по този начин номинални размери практически ще представляват огромно разнообразие от стойности, чието изпълнение ще бъде икономически неизгодно, защото ще се увеличи извънредно много броят на типоразмерите на необходимите материали, номенклатурата на металорежещите и измервателните инструменти, ще се намалят възможностите за организиране на едросерийно и масово производство. Поради това при определяне на числените стойности на номиналните размери конструкторите трябва да се съобразяват с редиците нормални размери.

В страните членки на СИВ, са утвърдени пет редици номинални размери, означени със стандартни числа R5, R10, R20, R40 и R50. Те представляват геометрични прогресии с основа 1 и показател q , съответно равен на :

- за реда R5, $q = \sqrt[5]{10} \approx 1.6$;
- за реда R10 $q = \sqrt[10]{10} \approx 1.25$;
- за реда R20 $q = \sqrt[20]{10} \approx 1.12$;
- за реда R40 $q = \sqrt[40]{10} \approx 1.06$;
- за реда R80 $q = \sqrt[80]{10} \approx 1.03$;

За всеки десетичен интервал редицата R5 има пет члена, R10 - 10 члена; R20 - 20 члена; R40 - 40 члена и R80 - 80 члена.

При уточняване на номиналните размери, техните стойности трябва да се закръглят до най-близките по-големи числа, като се дава предимство на редиците R5 пред R10, на R10 пред R20 и т.н. Употребата на размерите от редицата R40 по възможност да се избягват, а тези от редицата R80 - да се използват когато е крайно необходимо.

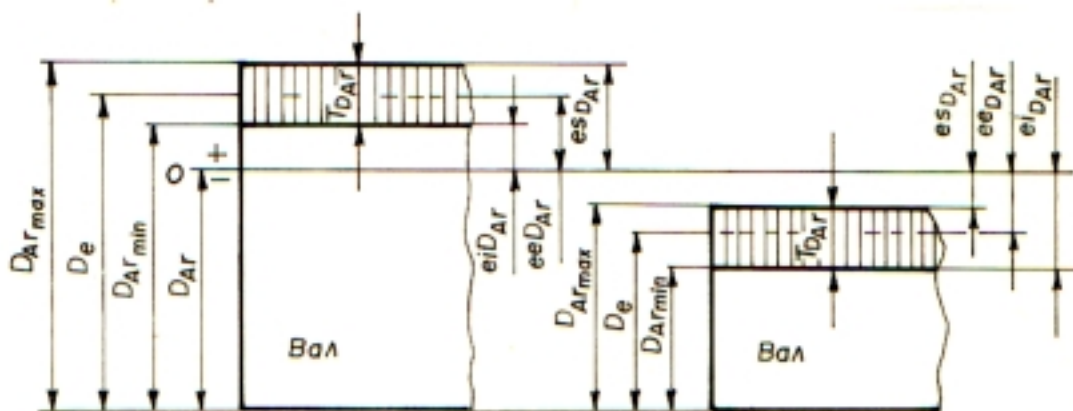
При разработването на машинните части, реалните им размери се различават от номиналните, т.е. действителните им размери не съвпадат с номиналните.

Според БДС под действителен размер се разбира стойността на размера получен чрез измерване.

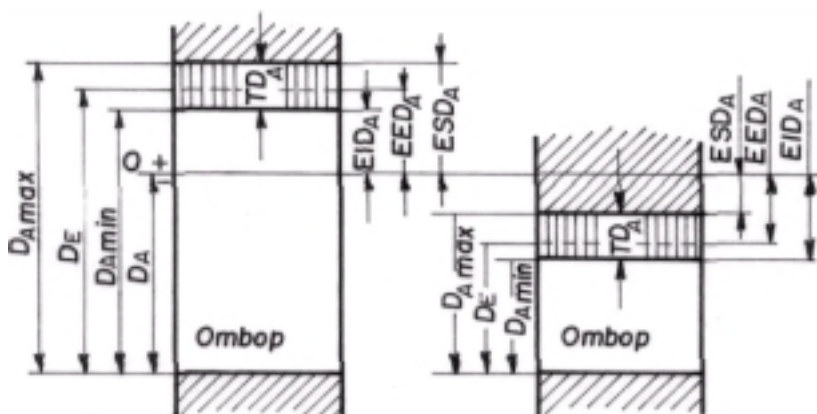
Тъй като всички измервателни средства допускат грешки при измерването, практически е невъзможно да се измери действителният размер на машинната част. Поради това за действителен размер се приема стойността, получена чрез измерване с някакво измервателно средство.

При условното означаване на действителния размер като индекс се поставят буквите е или Е, например D_e за валове (фиг. 1.2.3) и D_e за отвори (Фиг. 1.2.4).

В производствени условия в резултат на механична или друга обработка действителният размер не може да се получи равен на някоя предварително зададена стойност. Затова конструкторът определя за всеки размер на машинната част границите, между които трябва да се получи действителният размер, т.е. определя неговите гранични размери.



Фиг. 1.2.3. Условни означения на основните величини за цилиндричен вал



Фиг. 1.2.4. Условни означения на основните величини за цилиндричен отвор

Граничните размери на всеки параметър на машинната част са два: максимален граничен размер, който се означава чрез символа на номиналния размер и индекса "max" и минимален граничен размер, който се означава с индекса "min". Когато граничният размер се отнася за отвор, като индекс се поставя и буквата "A", например D_{Amax} (фиг.1.2.4). Когато граничният размер се отнася за вал, като индекс се поставят буквите A_{gmax} (Фиг. 1.2.3).

Ако граничните размери се извади номиналния размер, се получават граничните отклонения, които са горно и долно, а ако от действителният размер на машинната част се извади номиналният размер, се получава действителното отклонение на размера.

Граничните отклонения се означават условно (фиг.1.2.3 и фиг.1.2.4) като пред символа на номиналния размер се поставят буквите ES за горно отклонение на отвора, а es за вала. За условното означаване на действителното отклонение пред символа на номиналния размер се поставят буквите EE - за отвора и ee -за вала.

Граничните и действителните отклонения на отворите и валове се определят както следва:

- горно отклонение

$$\text{за отвора} \quad ES_{DA} = D_{A_{MAX}} - D_A \quad , (1.2.1)$$

$$\text{за вала} \quad es_{DAg} = D_{A_{gTMA}} - D_{Ag} \quad , (1.2.2)$$

- долно отклонение

$$\text{за отвора} \quad EE_{DA} = D_{AE} - D_A \quad , (1.2.5)$$

$$\text{за вала} \quad ee_{DAg} = D_{AgT} - D_{Ag} \quad , (1.2.6)$$

Алгебричната сума от горното и долното отклонение определя средното отклонение, EM за отвора и за вала, съответно равни на:

$$EM_{DA} = \frac{1}{2} (ES_{DA} + EI_{DA}) \quad , (1.2.7)$$

$$em_{DAg} = \frac{1}{2} (es_{DA} + ei_{DAg}) \quad , (1.2.8)$$

Трябва да се има предвид че ако граничният размер е по-голям от номиналния, граничното отклонение е положително, а ако е по-малък от него, отклонението е отрицателно.

Конструкторът предписва зададената точност на обработваната машинна част, като определя граничните размери или допустимите отклонения, т.е. той задава допуските на размерите.

Числената стойност на допуса на даден размер се определя като разлика между максималния и минималния граничен размер или като разлика между горното и долното гранично отклонение.

Допусът на размера в най-общия случай се означава условно, като пред символа на номиналния размер се постави буквата Т, например TD_a за отвора, TD_{ag} за вала.

Съгласно даденото определение допуските на диаметрите на отворите и на валовите (фиг. 1.2.3 и 1.2.4) се определят от равенствата:

$$TD_A = D_{AMAX} - D_{AMIN} = ES_{DA} - EI_{DA} \quad (1.2.9)$$

$$TD_{AG} = D_{AGTMA} - D_{AGTMI} = es_{DA} - ei_{DA} \quad (1.2.10)$$

Допусът е винаги положителна величина. Неговата големина характеризира зададената, т.е. необходимата точност на размера.

Колкото допускът е по-голям, толкова е по-малка зададената точност и обратно - колкото допускът е по-малък, толкова зададената точност е по-голяма.

В практиката се употребява и понятието допусково поле, под което се разбира пространството между две повърхнини, които по форма са като геометричната повърхнина и имат съответно максимален и минимален граничен размер. Числената стойност на допусковото поле е равна на допуса на размера. На схемата допусковото поле се изобразява чрез зоната (правоъгълника), ограничена от линиите, които определят горното и долното гранично отклонение (фиг. 1.2.3 и 1.2.4). Горната граница на допусковото поле съответствува на максималния, а долната граница - на минималния граничен размер.

Положението на допусковото поле се определя от едното гранично отклонение, прието за основно – EF, ef.

1.2.3. Сглобяване на машинните части

При сглобяването, машинните части се допират една до друга чрез своите присъединителни повърхнини, в резултат на което се получава съединение.

В зависимост от присъединителните повърхнини, съединенията биват пълни и непълни.

Пълни съединения се получават, когато едната машинна част обхваща другата. Най-често обхващащата повърхнина се нарича отвор, обхващаната – вал.

Ако отворът и валът са гладки цилиндрични, съединението се нарича гладко цилиндрично. Ако отворът и валът са конусни, съединението се нарича гладко

конусно. Когато обхващащата и обхващаната повърхнина са резбови, съединението е резбово и т.н.

Към пълните съединения се отнасят и съединенията, чиито присъединителни повърхнини са комбинирани - например правостенни шлицови съединения, шлицови съединения с еволвентен или триъгълен профил, призматични съединения и др.

Прието е размерът на пълните съединения, който ги характеризира в направление, перпендикулярно на тяхната ос, да се нарича нормален размер на съединението. Той е общ за обхващащата и обхващаната повърхнина.

При гладките цилиндрични съединения номиналният размер на съединението е неговият диаметър. При метричните резби номиналният размер на съединението е външният диаметър на резбата.

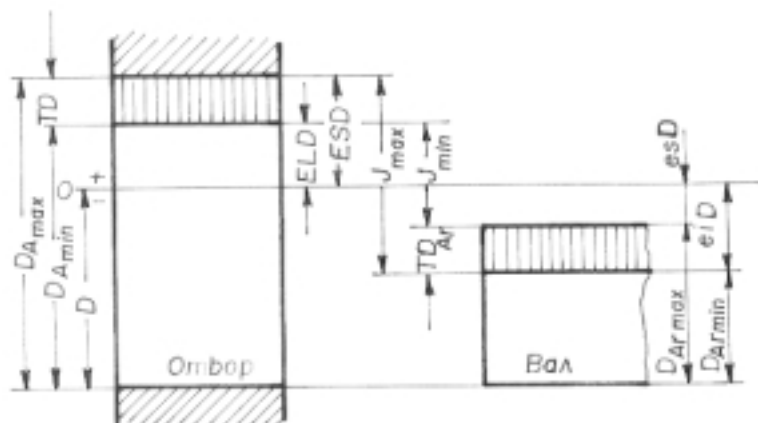
При непълните съединения машинните части не се обхващат, а се допират една към друга, например съединението гърбици - разпределителен вал при двигателите с вътрешно горене и др.

Едни от най-разпространените съединения в машиностроенето са гладките цилиндрични съединения. В примера за тези съединения ще бъдат разгледани някои термини, които могат да се отнесат и към другите видове пълни съединения. След сглобяването на един отвор и вал с еднакъв номинален размер се получава съединение, характерът на което се определя от понятието сглобка - A_i . Ако след сглобяването може да се очаква сигурна подвижност на едната машинна част спрямо друга-та, сглобката е подвижна; ако след сглобяването на двете машинни части може да се очаква сигурна неподвижност при прилагане на осова сила или въртящ момент (които не надминават една предварително зададена стойност) сглобката е пресова, а ако след сглобяването не може да се очаква със сигурност нито подвижност, нито неподвижност, сглобката е преходна.

За подвижните сглобки е характерно понятието хлабина. Хлабината, която се означава с J , е положителна разлика между диаметъра на отвора и диаметъра на вала преди сглобяването. Това означава, че да има хлабина, диаметърът на отвора трябва да бъде по-голям от диаметъра на вала (фиг. 1.2.5).

Ако диаметърът на отвора има максимален граничен размер, а диаметърът на вала – минимален, в съединението се получава максимална хлабина J_{\max} , която се определя от равенството:

$$J_{\max} = D_{A\max} - D_{A\Gamma\max} \quad \text{или} \quad J_{\max} = ES_{DA} + ei_{DA\Gamma} \quad (1.2.11, 1.2.12)$$



фиг.1.2.5. Подвижна сглобка

Но ако диаметърът на отвора е с минимален граничен размер, а валът - с максимален, в съединението се получава минимална хлабина J_{\min} , която се определя от равенството

$$J_{\min} = D_{A\min} - D_{A\max} \quad (1.2.13, 1.2.14)$$

$$J_{\min} = EI_{DA} + es_{DA\Gamma}$$

Полусумата от максималната и минималната хлабина определя средната хлабина J_m т.е.

$$J_m = 0.5(J_{\max} + J_{\min}) = J_{\min} + 0.5(T_{DA} + T_{DA\Gamma}) \quad (1.2.15)$$

Разликата между максималната и минималната хлабина определя допуска на хлабината T_J т.е.

$$T_J = J_{\max} - J_{\min} = T_{DA\Gamma} + T_{DA\Gamma} \quad (1.2.16)$$

Ако от действителния диаметър на отвора се извади действителния диаметър на вала $D_{A\Gamma}$, получава се действителната хлабина J_e т.е.

$$J_e = D_E - D_e \quad \text{или} \quad (1.2.17, 1.2.18)$$

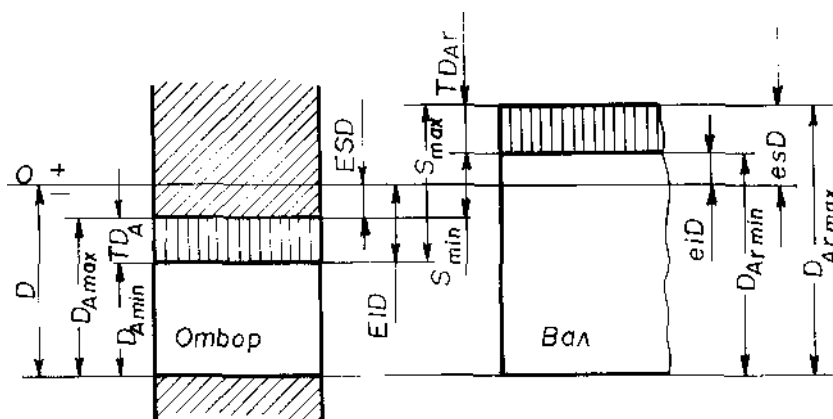
$$J_e = EE_{DA} - ee_{DA\Gamma}$$

Стегнатостта в съединението, която се означава с e отрицателна разлика между диаметъра на отвора и диаметъра на вала. Това означава, че за да има стегнатост, диаметърът на отвора преди сглобяването трябва да е по-малък от диаметъра на вала (фиг.1.2.6.)

Когато диаметърът на отвора има минимален граничен размер, а диаметърът на вала - максимален, в съединението се получава максимална стегнатост S_{\max} , която се определя от равенството:

$$S_{\max} = D_{A\min} - D_{A\Gamma\max} < 0 \quad (1.2.19, 1.2.20)$$

$$S_{\max} = EI_{DA} - es_{DA\Gamma} < 0$$



Фиг. 1.2.6. Пресова сглобка

Ако диаметърът на отвора е с максимален граничен размер, а диаметърът на вала - с минимален, в съединението се получава минимална стегнатост S_{\min} , която се определя от равенството

$$S_{\min} = D_{A\max} - d_{A\Gamma\min} < 0 \quad , (1.2.21, 1.2.22)$$

$$S_{\min} = ES_{DA} - ei_{DA\Gamma} < 0$$

Средната стегнатост (S_m) се определя, като полусума от максималната и минималната стегнатости, т.е.

$$S_m = \frac{1}{2}(S_{\max} + S_{\min}) < 0 \quad , (1.2.23)$$

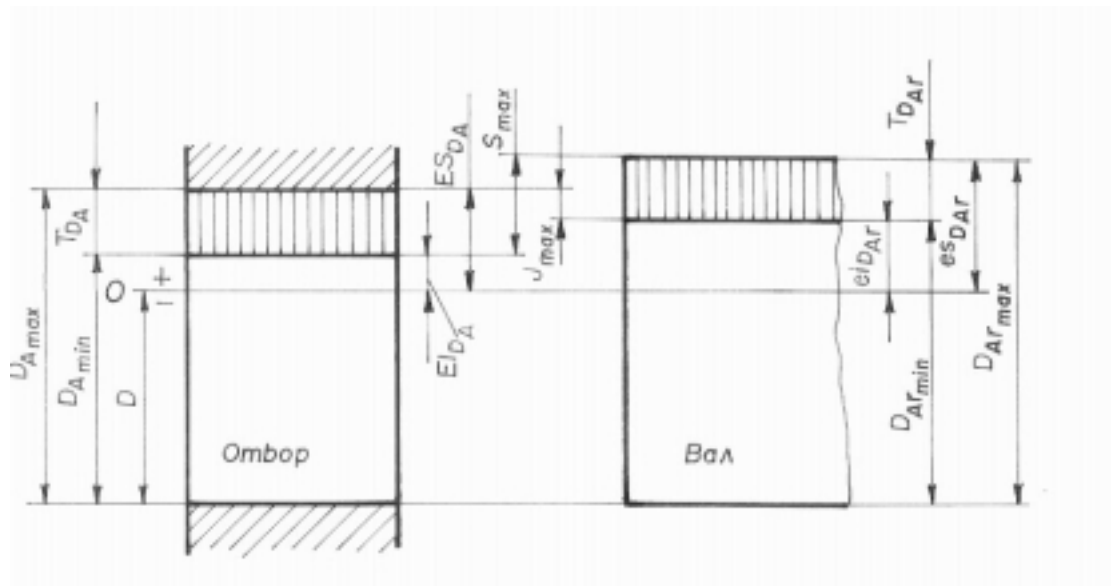
Разликата между максималната и минималната стегнатости определя допуска на стегнатостта, т.е.

$$T_S = (S_{\max} - S_{\min}) = T_{DA} + T_{DA\Gamma} \quad , (1.2.24)$$

Отрицателната разлика между действителния диаметър на отвора и действителния диаметър на вала се нарича действителна стегнатост Se където:

$$S_e = D_E - D_e < 0$$

$$S_e = EE_{De} - ee_{DAr} < 0 \quad , (1.2.25, 1.2.26)$$



При преходните сглобки в съединението не може да се гарантира както хлабина, така и стегнатост (фиг. 1.2.7). Максималната хлабина се определя по формули (1.2.11 и 1.2.12), а максималната стегнатост по формули (1.2.19 и 1.2.20).

Полусумата от максималната хлабина и максималната стегнатост може да бъде положителна (хлабина) или отрицателна (стегнатост).

$$J_m(\rho) = \frac{1}{2}(J_{\max} + \rho_{\max}) \quad , (1.2.27)$$

Тъй като при преходните сглобки появяването на хлабина или стегнатост е случайно събитие, тези сглобки по принцип са подвижни, а неподвижността се осигурява от допълнителни средства: шпонки, клинове, щифтове, затягане с резба и т.н.

Понякога се употребява понятието допуск на сглобката T_{Aj} , който при подвижните сглобки е равен на допуската на хлабината, при пресовите - на допуската на стегнатостта, а при преходните - на сумата от допуските на диаметъра на отвора и вала.

За да се получи желаната сглобка, диаметърът на вала се приспособява към диаметъра на отвора или път се прави обратно - диаметъра на отвора се приспособява към диаметъра на вала. Този процес на приспособяване е прието да се нарича нагаждане.

Различното предназначение на гладките цилиндрични съединения налага да има значително разнообразие от подвижни, преходни и пресови сглобки. За да се даде възможност на конструкторите да избират подходящи сглобки, в нашите национални стандарти е утвърдена системата от допуски и сглобки за гладки

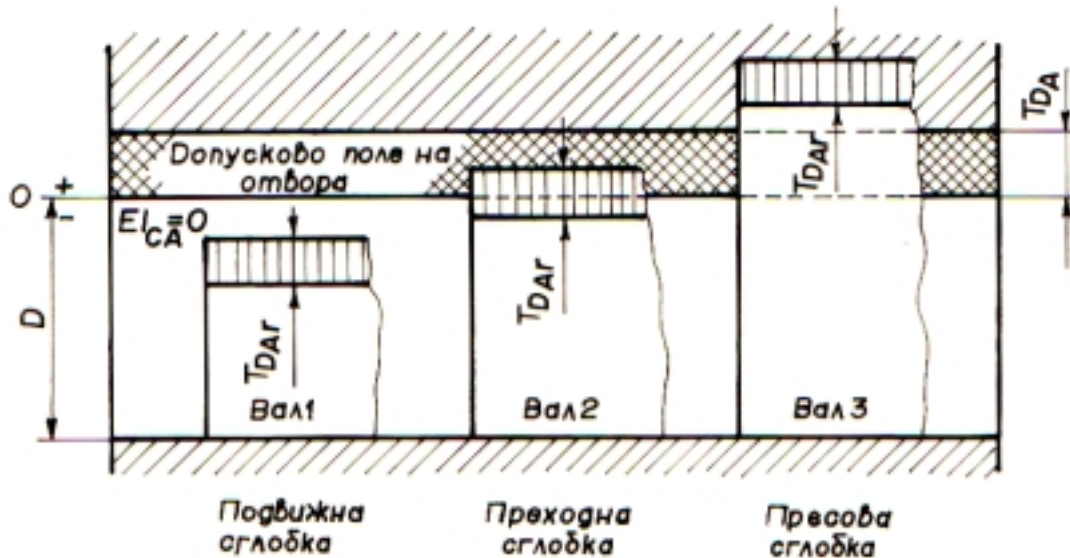
изделия, в която са развити две системи на нагаждане: система "Основен отвор" - SAN и система "Основен вал" – SaгN.

Под система на нагаждане се разбира систематизиране съвкупността от сглобки между отвори и валове от дадена система допуски и сглобки.

Системата "Основен отвор" е систематизирана съвкупност от сглобки, при които хлабините и стегнатостите се получават чрез сглобяване на различни валове с един и същ отвор, наречен основен отвор (фиг. 1.2.8).

Основният отвор се означава с латинската главна буква Н и има основно отклонение $EF = EI = 0$.

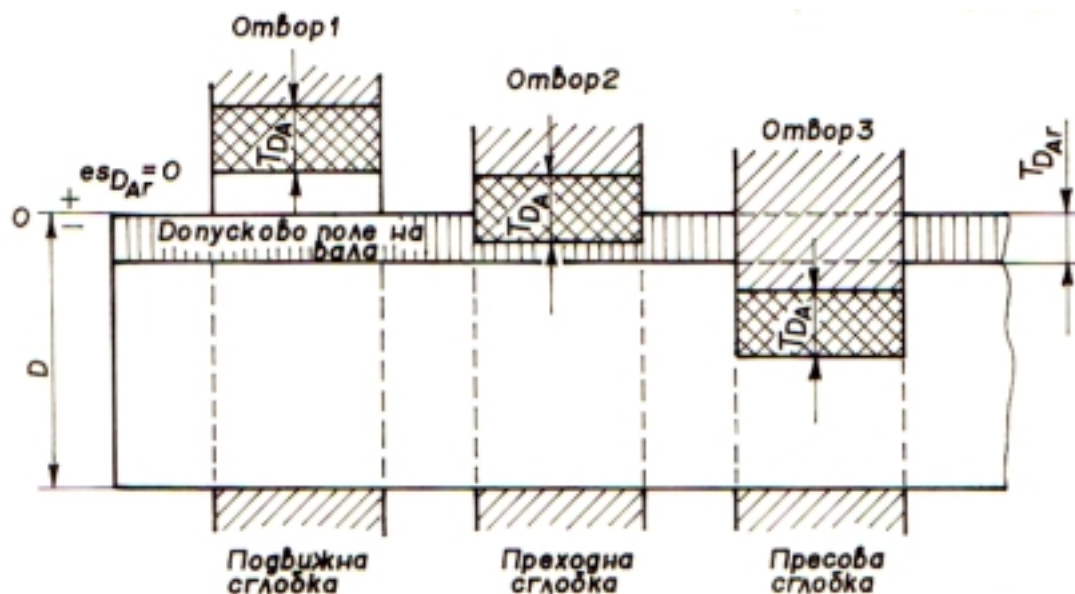
Системата "Основен вал" е систематизирана съвкупност от сглобки, при която хлабините и стегнатостите се получат чрез сглобяване на различни отвори с един и същ вал или евентуално с валове от различни класове на точност, но с едно и също основно отклонение (фиг. 1.2.9).



фиг. 1.2.8. Система основен отвор (SAN).

Основният вал се означава с малка латинска буква "h" има основно отклонение $f = ep = 0$.

Системите на нагаждане отстраняват произвола в избора на допуските и сглобките и създават предпоставки за внедряване на взаимозаменяемостта.

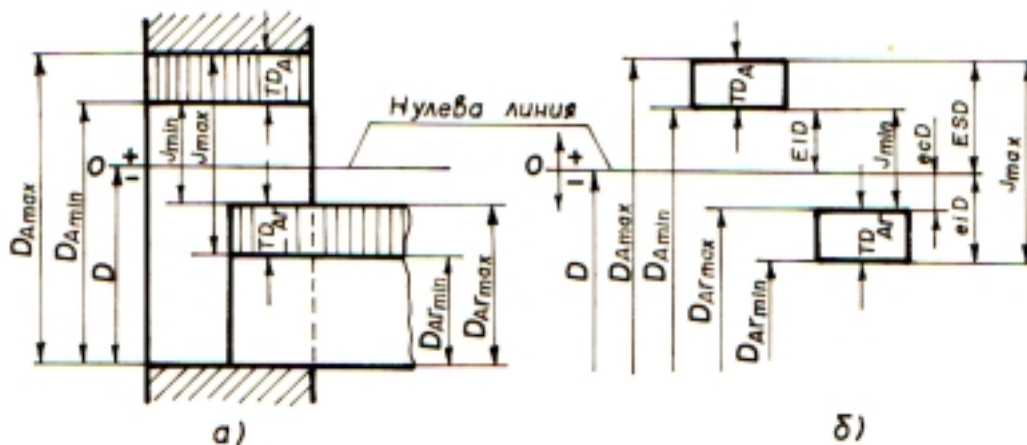


фиг. 1.2.8. Система основен вал (SAγN).

1.2.4. Условно изобразяване на допуски и сглобки

За да се покаже по-нагледно характерът на съединенията досега в използваните чертежи (фиг. 1.2.8 - 1.2.9) отворите и валове се изобразяваха изцяло. Този начин на изобразяване е свързан със загуба на време и не е удобен. Поради това е прието допуските и сглобките да се изобразяват условно чрез допусковите полета на диаметрите на отворите и валове. В този случай е необходимо да се начертае само нулевата линия, която определя номиналния размер и в определен мащаб да се нанесат граничните отклонения, като се има в предвид, че отклоненията над нулевата линия са положителни, а под нулевата линия - отрицателни.

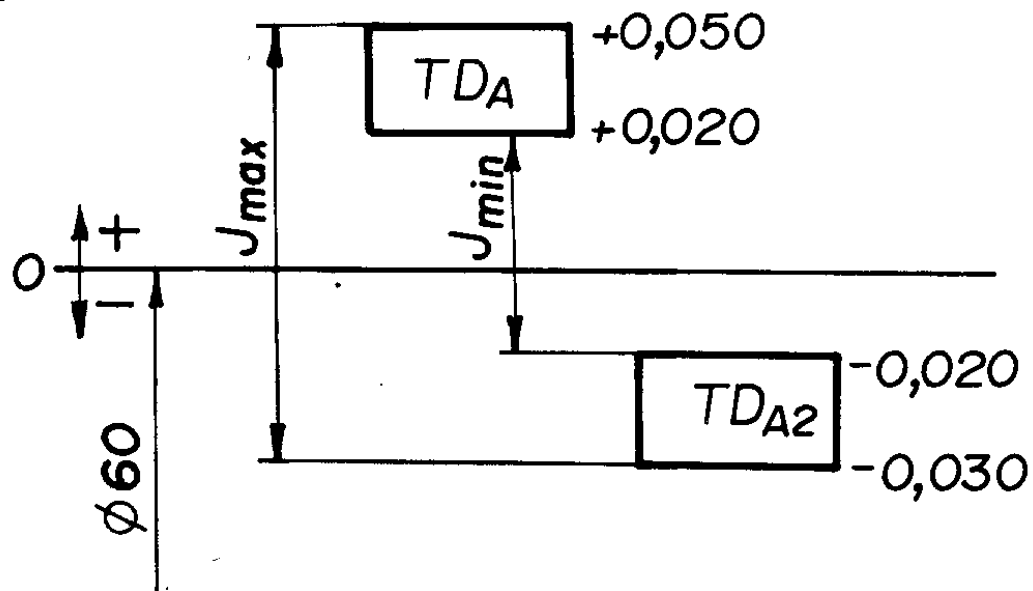
На фиг. 1.2.10б условно е изобразена подвижна сглобка, показана на Фиг. 1.2.10а.



фиг. 1.2.10. Графично изобразяване на сглобка:
а - пълно, б – условно

В техниката е прието при условното изобразяване на допуските и сглобките граничните отклонения да се пишат съответно при горния и долния край на допусковото поле в милиметри, същото се отнася и за номиналния размер (фиг. 1.2.11).

От дадените на фиг. 1.2.11 стойности на допусковите полета, могат да се пресметнат граничните размери и допуски на отвора и вала, както и всички величини свързани с хлабината. За целта е достатъчно да се използват приведените досега зависимости.



Фиг.1.2.11. Условно изобразяване на допуски и сглобки

1.2.5. Грапавост на повърхнините

Под грапавост на повърхнините се разбира съвкупността от неравности, образуващи релефа на повърхността. Неравностите представляват издатини и падини с определена височина и форма и сравнително малка стъпка.

Причините, които пораждаат грапавините са твърде разнообразни и са свързани с вида на обработката на повърхнината, геометрията и състоянието на обработващия инструмент, режим на работа, вида и микроструктурата на обработвания материал и т.н.

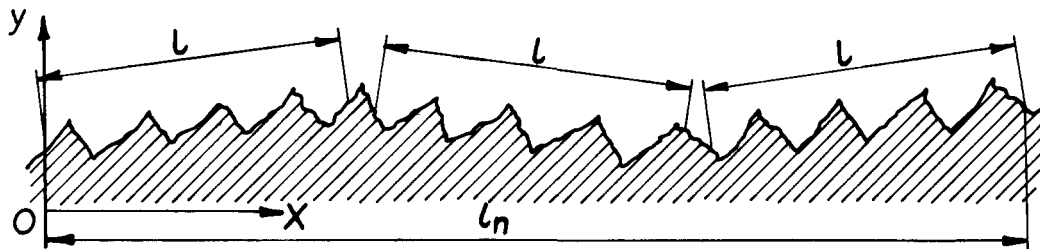
Съществуват две основни системи за оценка на грапавостта: система на средната линия (система М) и система на обвиващата линия (система Е). Нашите национални стандарти са изградени на базата на система М. В Германия и други западноевропейски страни едновременно се прилага и системата Е.

В системата М са въведени редица общи и някои специфични термини, определения и параметри за оценка на грапавостта.

В тази система грапавостта се оценява в участък, несъдържащ отклонения на формата и вълнообразността. При оценка на грапавостта в системата М, трябва да се има предвид, че машинните части са съставени от реални повърхнини, които ги отделят от околната среда.

Количествена оценка на грапавостта се прави върху определен участък от повърхнината. Този участък наречен базова дължина (l) се определя в зависимост от степента на грапавост на повърхнините. Участъка се подбира така, че да се изключи вълнообразността на повърхнините (фиг. 1.2.12).

По-важни параметри, характеризиращи грапавостта на повърхнините в система М, са следните:



Фиг. 1.2.12. Базова дължина (l) и дължина на нормирания участък (l_n)

Средна линия на профила, тя разделя измервания профил така, че сборът от лицата на площите, намиращи се над нея и сборът на лицата под нея да бъдат равни помежду си (фиг. 1.2.13) т.е.

$$\sum_{i=1}^k F_i = \sum_{i=1}^p Q_i \quad (1.2.28)$$

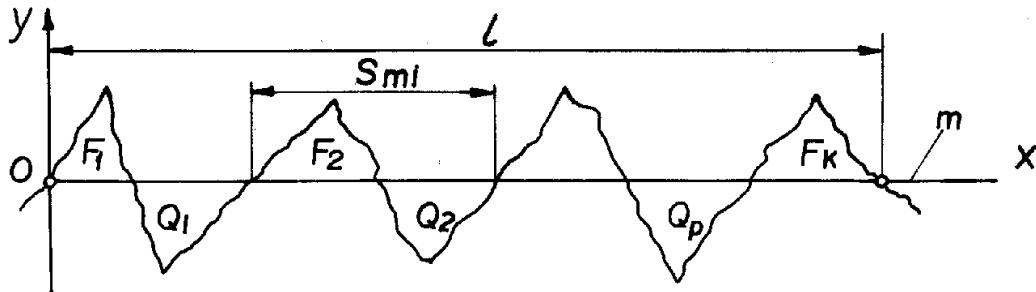
Стъпка на грапавината ρ_m дължината на отсечка от средната линия, определяща разстоянието между два съседни еднозначни участъка от профила (фиг. 1.2.13)

$$\rho_m = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m S_{mi}$$

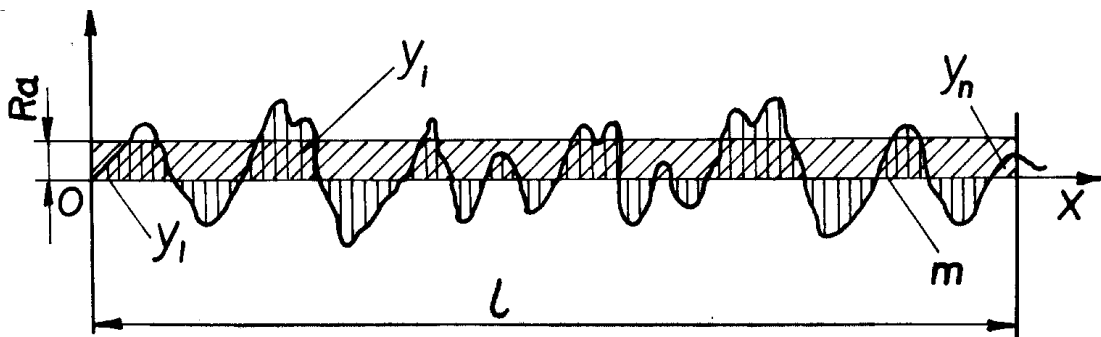
За количествена оценка на грапавостта са утвърдени три параметъра: средноаритметично отклонение на профила Ra от средната линия, височина на грапавините по десет точки Rz и максимална височина на грапавините $Rmax$.

Средноаритметичното отклонение на профила се определя като средноаритметично на абсолютните стойности на отклоненията на профила в границите на базовата дължина (фиг. 1.2.14), т.е.

$$Ra = \frac{1}{l} \int_0^l |y(x)| dx \quad , (1.2.29)$$



Фиг. 1.2.13. Определяне на средната линия

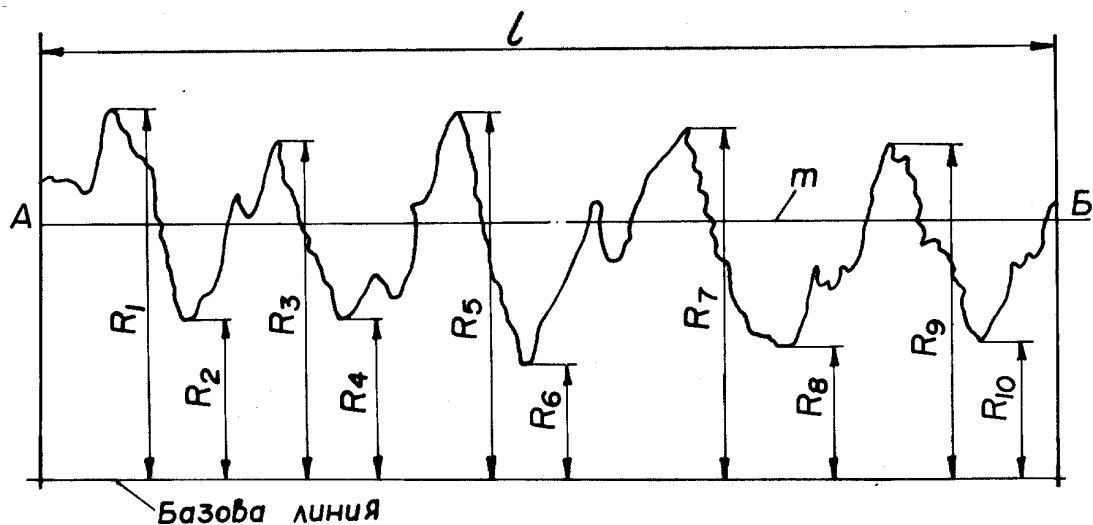


Фиг. 1.2.14. Определяне на параметъра Ra

С известно приближение, средноаритметичното отклонение може да се определи чрез измерване на ограничен брой точки (n) в границата на базовата дължина, т.е.

$$Ra = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y(x_i)| \quad , (1.2.30)$$

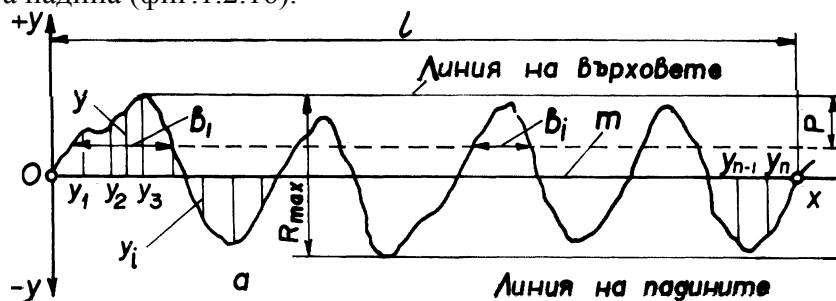
Височината на грапавините на десет точки Rz , тя се определя като разлика между пет най-високи точки на издатините и пет най-ниски точки на падините, определени в границите на базовата дължина (фиг. 1.2.15), т.е.



Фиг. 1.2.15. Определяне височината на грапавините по десет точки

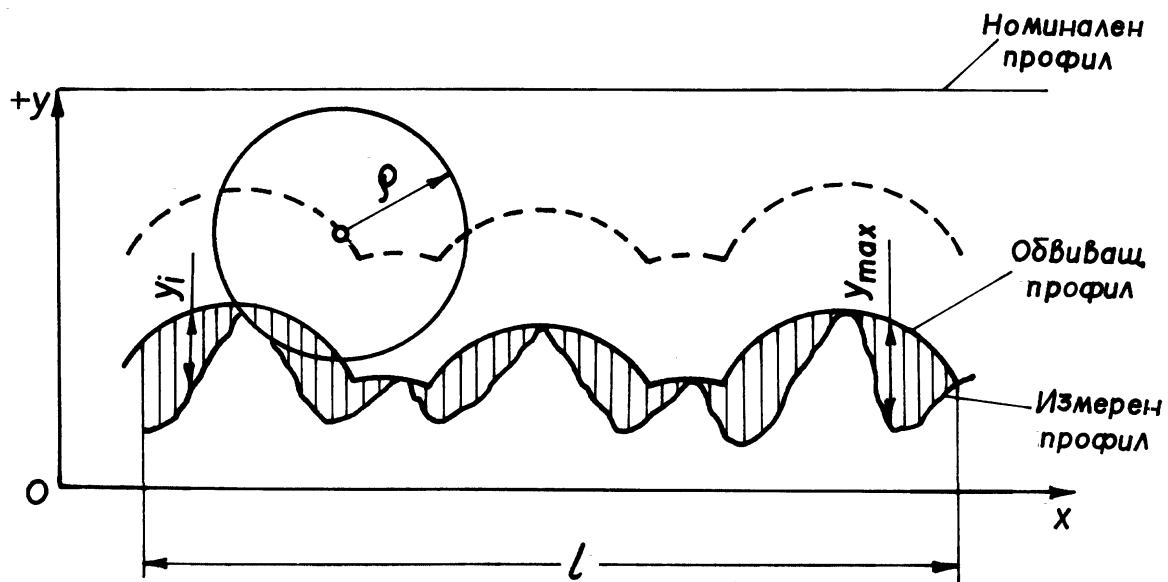
$$P = \frac{(R_1 + R_3 + R_5 + R_7 + R_9) - (R_2 + R_4 + R_6 + R_8 + R_{10})}{10} \quad , (1.2.31)$$

Където $R_1, R_2 \dots R_{10}$ разстоянията от най-високите точки на издатините и най-ниските точки на падините до базовата линия. Максималната височина на грапавините (R_{max}) се определя като разстояние между най-високата грапавина и най-ниската падина (фиг.1.2.16).



Фиг. 1.2.16. Измерен профил

При система М, като база за отчитане на грапавините се използва обвиваща линия, която обгръща измерения профил от външната му страна. Обвиващата линия се описва от центъра на сферичен осезател с радиус $\rho = 0.015 \text{ mm}$ (фиг. 1.2.17). С този радиус се обхожда базовата дължина и след това описаната по този начин линия се премества към измерения профил на разстояние ρ , т.е. до допиране на профила.



Фиг. 1.2.17. Обвиващ профил в системата Е

В система М са предвидени два параметъра за количествена оценка на грапавостта: дължина на заглаждането (R_p) и максимална дълбочина (R_{\max}).

Параметърът R_p се определя от равенствата:

$$R_p = \frac{1}{l} \int_0^l |y| dl \quad , (1.2.32)$$

$$R_p = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i| \quad , (1.2.33)$$

Параметърът R_{\max} се определя като най-голямото разстояние между върховете и падините на грапавините в границите на базовата дължина.

$$R_{\max} = y_{\max} \quad , (1.2.34)$$