**FACULTATEA DE CONSTRUCŢII DE MAŞINI
ŞI MANAGEMENT INDUSTRIAL**

Florentin Cioată **Adriana Munteanu**

Păduraru Emilian

TOLERANŢE ŞI CONTROL DIMENSIONAL

Lucrarea de laborator nr. 6

Lucrare de laborator informativă- TOLERANŢE

(pentru studiu individual)

Iaşi, 2020

LUCRAREA NR.6.

LUCRARE INFORMATIVĂ- TOLERANTE.

LANŢURI DE DIMENSIUNI

Aplicaţii care se vor efectua la lucrarea de laborator nr. 6:

- reprezentarea convenţională a lanţurilor de dimensiuni;
- rezolvarea problemei directe a lanţurilor de dimesiuni prin metoda algebrică;
- rezolvarea problemei directe a lanţurilor de dimesiuni prin metoda de maxim şi minim.

1. Scopuile lucrării de laborator

Cunoaşterea tipurilor de lanţuri de dimensiuni, cunoaşterea problemelor privind rezolvarea lanţurilor de dimensiuni; cunoaşterea metodelor algebrică şi de maxim şi minim de rezolvare a problemei directe a lanţurilor de dimensiuni.

2. Consideraţii generale

Un ***lanţ de dimensiuni*** reprezintă ansamblul de dimensiuni liniare şi/sau unghiulare care formează un contur închis şi determină dimensiunea, forma, orientarea şi poziţia relativă a suprafeţelor unei piese sau a mai multor piese într-un ansamblu sau subansamblu.

Într-un lanţ de dimensiuni sunt două categorii de dimensiuni:

- ***dimensiuni primare sau componente*** sunt dimensiunile care se obţin prin prelucrarea pieselor, la valorile înscrise pe desenul de execuţie;
- ***dimensiune de închidere sau rezultantă*** este dimensiunea care rezultă indirect, după realizarea dimensiunilor primare; ea se obţine ultima, automat, atât la prelucrarea pieselor cât şi la asamblarea lor.

Notă: un lanţ de dimensiuni poate avea minimum două dimensiuni primare şi o singură dimensiune de închidere.

Cele mai simple lanţuri de dimensiuni sunt cele corespunzătoare ajustajelor asamblărilor cilindrice, la care diametrele pieselor conjugate reprezintă dimensiunile primare, iar jocul sau strângerea din îmbinare este dimensiunea de închidere a lanţului de dimensiuni.

Notă: dimensiunea de închidere nu se cotează pe desenul de reper; dacă este necesară cotarea acesteia, se va înscrie drept dimensiune auxiliară (între paranteze).

2.1. Reprezentarea convenţională a lanţurilor de dimensiui.

Pentru rezolvarea cât mai rapidă a problemelor lanţurilor de dimensiuni, se utilizează o reprezentare convenţională (schematizată) a acestora, prin folosirea liniilor de cotă şi a liniilor ajutătoare.

Exemplu: lanţul de dimensiuni al arborelui din fig. 1.a este reprezentat convenţional în fig. 1.b.

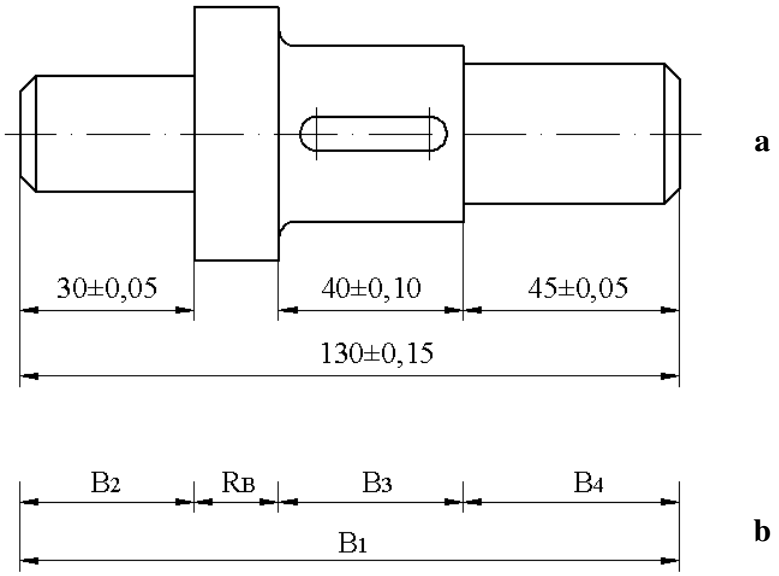

Fig. 1
Lanţ de dimensiuni al unui reper
a.- reprezentare pe desenul piesei; b.- reprezentare convenţională

Pe reprezentarea convenţională, dimensiunile din lanţurile de dimensiuni se notează astfel:

- dimensiunile primare (sau componente) se notează cu majuscule, având ca indice numărul de ordine al dimensiunii în lanţul de dimensiuni: $\mathbf{A_1}$, $\mathbf{A_2}$,$\mathbf{A_3}$…,$\mathbf{A_n}$, sau $\mathbf{B_1}$, $\mathbf{B_2}$, $\mathbf{B_3}$…,$\mathbf{B_n}$, etc;
- dimensiunea de închidere (sau rezultantă) se notează cu litera R, având ca indice litera cu care s-au notat dimensiunile primare: $\mathbf{R_A}$ sau $\mathbf{R_B}$, etc.

Notă: pe reprezentarea convenţională este obligatorie cotarea dimensiunii de închidere (fig. 1.b).

2.2. Clasificarea lanţurilor de dimensiuni

Lanţurile de dimensiuni se clasifică după mai multe criterii, cele mai importante fiind:

C.1. apartenenţa la o piesă ori un ansamblu/ subansamblu:

- ***lanţuri de dimensiuni ale pieselor individuale***, care determină, total sau parţial, mărimea, forma, orientarea şi poziţia relativă ale elementelor geometrice ale unei piese (fig. 2);
- ***lanţuri de dimensiuni de ansamblare***, care determină, total sau parţial, poziţia pieselor într- un ansamblu sau subansamblu (fig. 3);

C.2. tipul dimensiunilor din lanţul de dimensiuni:

- ***lanţuri de dimensiuni liniare*****,** la care toate dimensiunile sunt liniare (fig. 4);
- ***lanţuri de dimensiuni unghiulare*****,** la care toate dimensiunile sunt unghiulare (fig. 5);
- ***lanţuri de dimensiuni mixte*****,** formate din dimensiuni liniare şi unghiulare.

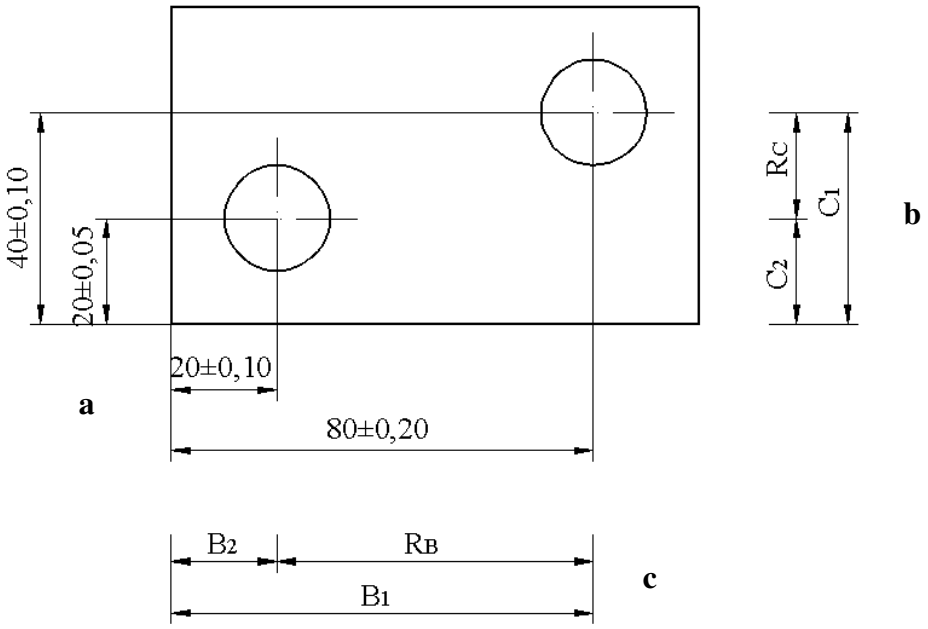

Fig. 2
Lanţ de dimensiuni al unei piese
a.- reprezentare pe desenul piesei; b, c.- reprezentări convenţionale

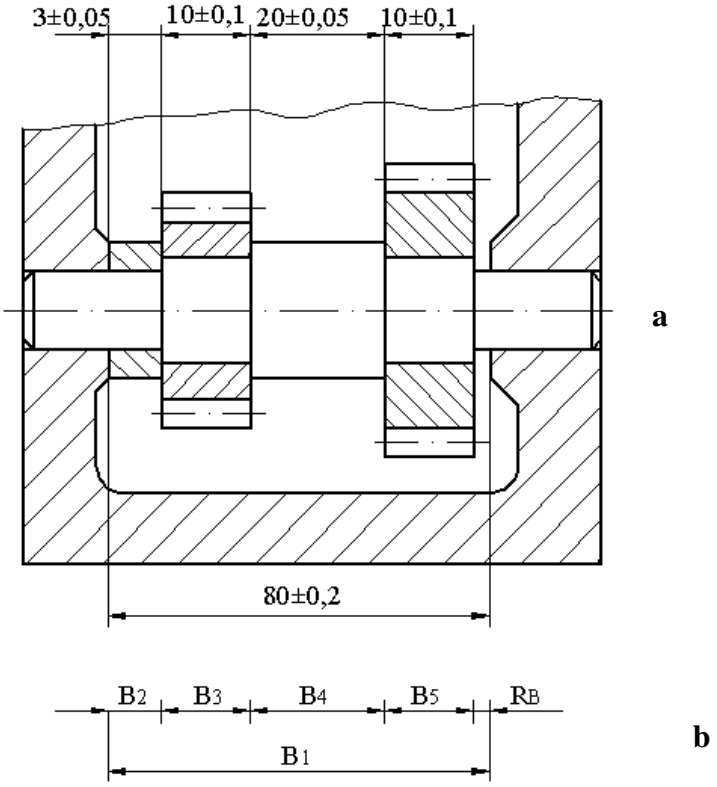

Fig. 3
Lanţ de dimensiuni de ansamblare
a.- reprezentare pe desenul de ansamblu; b.- reprezentare convenţională

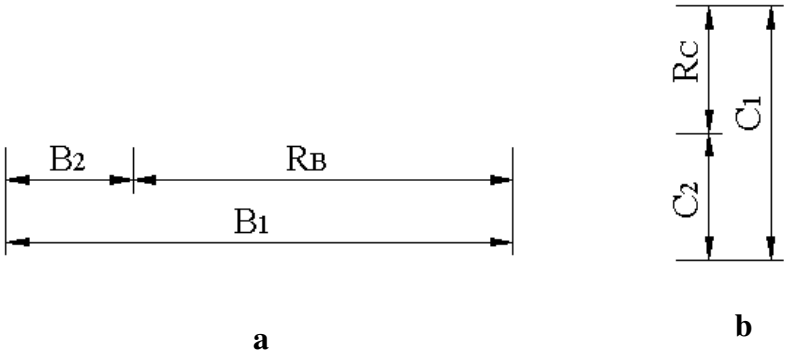

Fig. 4
Lanţ de dimensiuni liniare paralele
a.- pe direcţie orizontală; b.- pe direcţie verticală

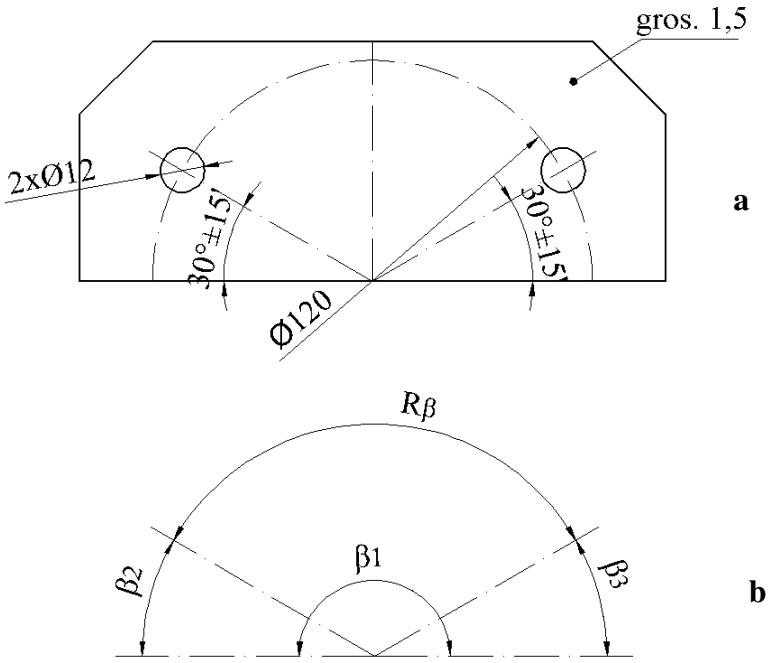

Fig. 5
Lanţ de dimensiuni unghiulare
a.- reprezentare pe desenul piesei; b.- reprezentare convenţională

C.3. poziţia în spaţiu a dimensiunilor din lanţul de dimensiuni:

- ***lanţuri de dimensiuni în plan*,** la care toate dimensiunile sunt în acelaşi plan sau, în plane paralele; se deosebesc:
  - *lanţuri de dimensiuni liniare paralele* (fig. 4);
  - *lanţuri de dimensiuni liniare neparalele*;
- ***lanţuri de dimensiuni în spaţiu***, la care dimensiunile se află în plane diferite şi neparalele; se pot reduce la trei lanţuri de dimensiuni în plan, prin proiecţiile dimensiunilor pe cele trei plane de referinţă.

C.4. complexitatea lanţului de dimensiuni:

- ***lanţuri de dimensiuni simple***, care sunt independente de alte lanţuri de dimensiuni (fig. 6);
- ***lanţuri de dimensiuni complexe***, care sun legate între ele prin dimensiuni comune; dimensiunile comune care leagă două sau mai multe lanţuri de dimensiuni, pot fi (fig. 7):
  - *dimensiuni componente;*
  - *dimensiune de închidere;*

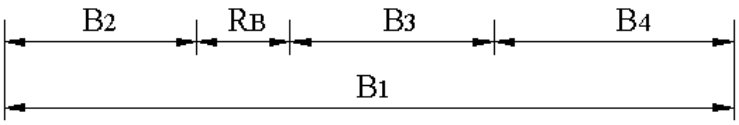

Fig. 6
Lanţ de dimensiuni simplu

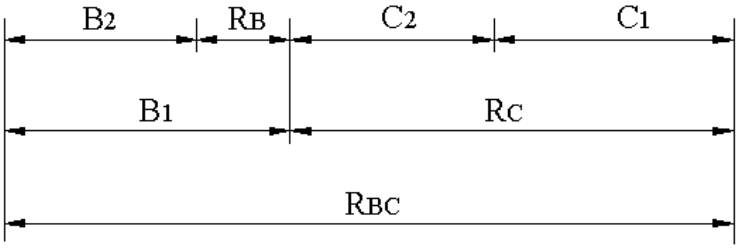

Fig. 7
Lanţ de dimensiuni complex

C.5. modul de cotare a dimensiunilor:

- ***lanţuri de dimensiuni în serie,*** la care dimensiunile au baze de cotare diferite (este aplicată cotarea funcţională) (fig. 4);
- ***lanţuri de dimensiuni în paralel,*** la care dimensiunile au bază de cotare unică (este aplicată cotarea tehnologică) (fig. 8);
- ***lanţuri de dimensiuni cu cotare mixtă,*** la care se utilizează două baze de cotare (este aplicată cotarea mixtă) (fig. 9);

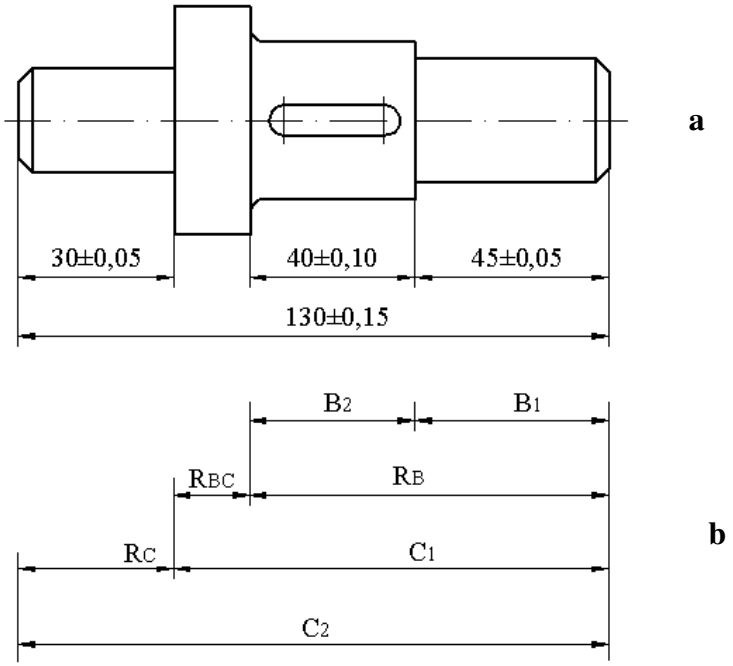

Fig. 8
Lanţ de dimensiuni în paralel
a.- reprezentare pe desenul piesei; b.- reprezentare convenţională

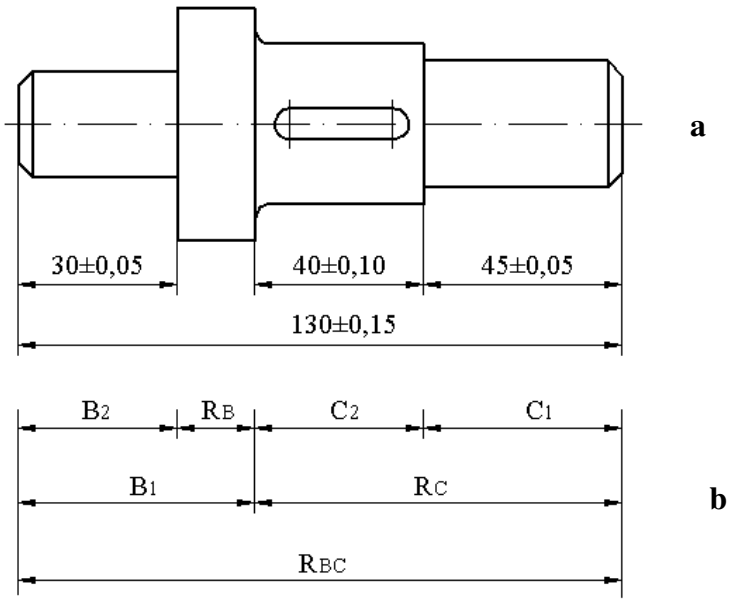

Fig. 9
Lanţ de dimensiuni cu cotare mixtă
a.- reprezentare pe desenul piesei; b.- reprezentare convenţională

3. Rezolvarea lanţurilor de dimensiuni

În funcţe de tipul dimensiunilor care trebuie calculate (dimensiune de închidere sau dimensiuni primare), la rezolvarea lanţurilor de dimensiuni se deosebesc două probleme distincte:

- ***problema directă de rezolvare a lanţurilor de dimensiuni*** care constă în determinarea valorii nominale şi a abaterilor limită pentru dimensiunea de închidere, atunci când se cunosc valorile nominale şi abaterile limită ale dimensiunilor componente;
- ***problema inversă de rezolvare a lanţurilor de dimensiuni*** care constă în determinarea toleranţelor şi abaterilor limită pentru dimensiunile componente, atunci când se cunosc valorile nominale ale dimensiunilor componente, valoarea nominală şi abaterile limită pentru dimensiunea de închidere.

3.1. Rezolvarea problemei directe a lanţurilor de dimensiuni

Problema directă a lanţurilor de dimensiuni (determinarea valorii nominale şi a abaterilor limită ale dimensiunii de închidere, atunci când se cunosc valorile nominale şi abaterile limită ale dimensiunilor componente), se poate rezolva prin mai multe metode şi anume:

- metoda algebrică;
- metoda de maxim şi minim;
- metoda probabilistică;
- metoda sortării pe grupe de dimensiuni;
- metoda reglării (a compensării);
- metoda ajustării.

3.1.1. Metoda algebrică de rezolvare a problemei directe a lanţurilor de dimensiuni.

Metoda algebrică de rezolvare a problemei directe a lanţurilor de dimensiuni, constă în obţinerea dimensiunii de închidere prin determinarea (calcularea) simultană a valorii nominale şi a abaterilor limită ale acesteia.

Pentru aplicarea metodei algebrice, se parcurg următoarele etape:

E1. se reprezintă convenţional lanţul de dimensiuni considerat şi se stabileşte un punct de plecare "**O**" şi un sens de parcurs;

E2. se scrie ecuaţia lanţului de dimensiuni; în acest scop, se stabileşte o origine (în orice punct al lanţului de dimensiuni) şi un sens de parcurs. În ecuaţia lanţului de dimensiuni, dimensiunile parcurse în sensul stabilit vor avea semnul „plus", iar dimensiunile parcurse în sens invers celui stabilit vor avea semnul „minus";

E.3. din ecuaţia lanţului de dimensiuni se scrie relaţia dimensiunii de închidere.

E.4. în relaţia dimensiunii de închidere (scrisă literal) dimensiunile componente scrise sub formă literală se înlocuiesc prin valorile nominale şi abaterile limită şi se efectuează calculele între termenii de acelaşi fel.

Notă: la efectuarea calculelor se va lua în consideraţie faptul că într-o sumă, respectiv diferenţă de mărimi tolerate (mărimi afectate de abateri limită) se adună, respectiv se scad termenii de acelaşi fel: valorile nominale între ele, abaterile superioare între ele şi abaterile inferioare între ele;

Notă: semnul minus în faţa unei mărimi tolerate va determina:

- schimbarea semnului valorii nominale;
- schimbarea semnului şi poziţiei abaterilor limită (abaterea superioară devine abatere inferioară cu semn schimbat, iar abaterea inferioară devine abatere superioară cu semn schimbat).

Proprietatea toleraţei dimensiunii de închidere

Toleranţa dimensiunii de închidere are următoarea proprietate:
toleranţa dimensiunii de închidere este egală cu suma toleranţelor dimensiunilor componente ale lanţului de dimensiuni.

$$IT_{RB} = \sum_{i=1}^{n} IT_{Bi} \quad . \qquad (1)$$

Notă: indiferent de tipul problemei (directă sau inversă) şi de metoda de rezolvare aplicată, în calculele de rezolvare a lanţurilor de dimensiuni, prin convenţie, abaterile limită ale dimensiunilor (componente şi de închidere) se vor nota cu litere mari, atât pentru arbori cât şi pentru alezaje.

Notă: verificarea proprietăţii toleranţei dimensiunii de închidere nu este sinonimă cu verificarea corectitudinii rezolvării problemei, adică, verificarea proprietăţii toleranţei dimensiunii de închidere este o condiţie necesară dar, nu și suficientă a rezolvării corecte a problemei, în sensul că:

- dacă se verifică proprietatea, este posibil ca problema lanţului de dimensiuni să fie rezolvată corect;
- dacă nu se verifică proprietatea, cu siguranţă problema lanţului de dimensiuni este rezolvată greşit.

3.1.2. Metoda de maxim şi minim de rezolvare a problemei directe a lanţurilor de dimensiuni

Metoda de maxim şi minim de rezolvare a problemei directe a lanţurilor de dimensiuni, constă în obţinerea dimensiunii de închidere prin determinarea (calcularea) separată a valorii nominale şi a abaterilor limită ale acesteia.

Se aplică prin parcurgerea următoarelor etape:

E.1 se reprezintă convenţional lanţul de dimensiuni dat;

E.2. se stabilesc dimensiunile măritoare şi dimensiunile reducătoare din lanţul de dimensiuni.

Dimensiunea măritoare este dimensiunea componentă care, prin mărirea ei determină mărirea dimensiunii de închidere, atunci când celelalte dimensiuni componente rămân constante.

Dimensiunea reducătoare este dimensiunea componentă care, prin mărirea ei determină micşorarea dimensiunii de închidere, atunci când celelalte dimensiuni componente rămân constante.

E.3. se determină valoarea nominală a dimensiunii de închidere care reprezintă diferenţa dintre suma valorilor nominale ala dimensiunilor măritoare şi suma valorilor nominale ale dimensiunilor reducătoare.

Considerându-se cazul general al unui lanţ de dimensiuni cu **n** dimensiuni componente, din care **m** dimensiuni sunt măritoare şi **n – m** dimensiuni sunt reducătoare, valoarea nominală a dimensiunii de închidere se obţine relaţia:

$$N_{R_B} = \sum_{i=1}^{m} N_{B_i} - \sum_{j=m+1}^{n} N_{B_j} . \qquad (2)$$

E.4. Se calculează abaterile limită ale dimensiunii de închidere:

- ***abaterea superioară*** este diferenţa dintre suma abaterilor superioare ale dimensiunilor măritoare şi suma abaterilor inferioare ale dimensiunilor reducătoare:

$$ES_{R_B} = \sum_{\iota=1}^{m} ES_{B_i} - \sum_{j=m+1}^{n} EI_{B_j} . \qquad 3)$$

- ***abaterea inferioară*** este diferenţa dintre suma abaterilor inferioare ale dimensiunilor măritoare şi suma abaterilor superioare ale dimensiunilor reducătoare:

$$EI_{R_B} = \sum_{\iota=1}^{m} EI_{B_i} - \sum_{j=m+1}^{n} ES_{B_j} . \qquad (4)$$

3.1.3. Metoda probabilistică de rezolvare a problemei directe a lanţurilor de dimensiuni

Metoda probabilistică de rezolvare a problemei directe a lanţurilor de dimensiuni, constă în obţinerea dimensiunii de închidere prin determinarea valorii nominale (cu ajutorul uneia din metodele prezentate), iar pentru calcularea abaterilor limită. se ţine seama de faptul că dimensiunile componente efective sunt mărimi cu caracter întâmplător, având distribuţii proprii.

Metoda probabilistică se aplică prin parcurgerea următoarelor etape:

E.1 se reprezintă convenţional lanţul de dimensiuni dat;

E.2. se calculează valoarea nominală a dimensiunii de închidere, folosind una din metodele:

- metoda algebrică: din ecuaţia lanţului de dimensiuni;
- metoda de maxim şi minim: cu ajutorul relaţiei (1);

E.3. se determină toleranţa, calculată probabilistic, a dimensiunii de închidere, luând în considerare următoarele ipoteze:

- dimensiunile componente efective sunt mărimi cu caracter întâmplător şi respectă legea de distribuţie normală, Gauss-Laplace;

- amplitudinea intervalului de împrăştiere este egală cu toleranţa dimensiunii de închidere.

Pentru cazul general, al unui lanţ de dimensiuni cu n dimensiuni componente, Bi, i = 1,....,n, toleranţa probabilă a dimensiunii de închidere, se obţine relaţia:

$$IT_{RB_{pr}} = K_D \times \sqrt{\sum_{j=1}^{n} IT_{Bi}^2} \quad , \qquad (5)$$

unde K_D este un coeficient de dispersie, care se calculează cu relaţia:

$$K_D = (1,8 \div 0,8) \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^{n} IT_{Bi}^2}}{\sum_{i=1}^{n} IT_{Bi}} \quad . \qquad (6)$$

Din relaţia (6) se evidenţiază faptul că toleranţa dimensiunii de închidere determinată prin metoda probabilistică, are valoare mai mică decât valoarea obţinută prin aplicarea metodei algebrice sau a metodei de maxim şi minim;

E.4. se calculează abaterile limită ale dimensiunii de închidere.

Abaterile limită se pot calcula în două moduri:

M1: pornind de la abaterile limită teoretice, determinate fie prin metoda algebrică fie prin metoda de maxim şi minim (fig. 10.a.);

Pentru calcularea abaterii superioare se aplică relaţia:

$$ES_{RB_{pr}} = ES_{RB} - \frac{IT_{RB} - IT_{RB_{pr}}}{2} \quad ; \qquad (7)$$

Pentru calcularea abaterii superioare se aplică relaţia:

$$EI_{RB_{pr}} = EI_{RB} - \frac{IT_{RB} - IT_{RB_{pr}}}{2} \quad ; \qquad (8)$$

M2: prin stabilirea unei valori centrale XC_{RB}, aflată la mijlocul câmpului de toleranţă al dimensiunii de închidere, iar abaterile limită se calculează în funcţie de această valoare centrală (fig. 10.b.).

Pentru calcularea abaterii superioare se aplică relaţia:

$$ES_{RB_{pr}} = XC_{RB} + \frac{IT_{RB_{pr}}}{2} \quad ; \qquad (9)$$

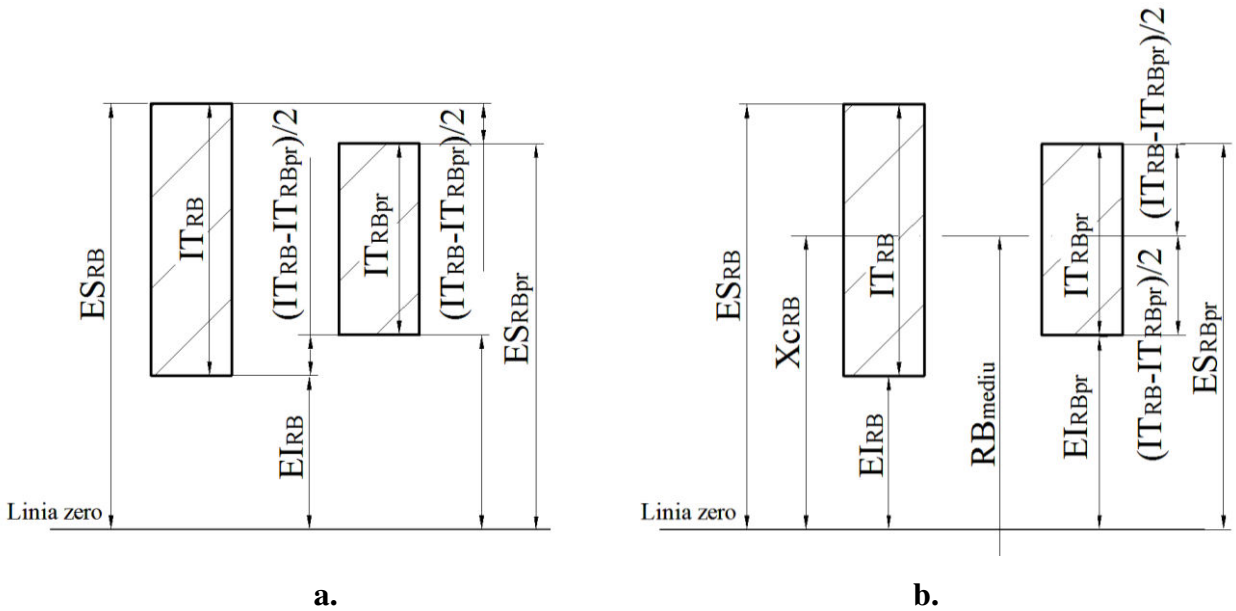

Fig. 10
Schema de calculare a abaterilor limită ale dimensiunii de închidere
(metoda probabilistică)
a.- cu abaterile limită teoretice; b.- cu valoarea centrală XC_{RB}

Pentru calcularea abaterii superioare se aplică relaţia:

$$EI_{RB_{pr}} = XC_{RB} - \frac{IT_{RB_{pr}}}{2} . \qquad (10)$$

3.2. Rezolvarea problemei inverse a lanţurilor de dimensiuni

Pentru rezolvarea problemei inverse a lanţurilor de dimensiuni (în scopul determinării toleranţelor şi abaterilor limită ale dimensiunilor componente, atunci când se cunosc valorile nominale ale dimensiunilor componente, valoarea nominală şi abaterile limită ale dimensiunii de închidere), se utilizează următoarele metode:

- metoda toleranţei medii;
- metoda probabilistică.

3.2.1. Metoda toleranţei medii de rezolvare a problemei inverse a lanţurilor de dimensiuni

Scopul metodei îl constituie determinarea toleranţelor şi abaterilor limită ale dimensiunilor primare ale lanţului considerat, astfel încât, prin asamblarea neselectivă a pieselor componente, dimensiunea de închidere să aibă valorile limită prescrise prin proiectare.

Metoda se recomandă pentru rezolvarea lanţurilor de dimensiuni obţinute în producţia de serie mare şi de masă.

Pentru rezolvarea problemei inverse prin această metodă, se parcurg următoarele etape:

E.1. se consideră ipoteza conform căreea toleranţele dimensiunilor componente sunt egale între ele ($IT_{B_1}=IT_{B_2}=...=IT_{B_n}$) şi egale cu o valoare medie, IT_{med}, calculată cu relaţia:

$$ITmed=\frac{IT_{RB}}{n}. \qquad (11)$$

în care *n* reprezintă numărul de dimensiuni primare ale lanţului, iar IT_{RB} este valoarea, cunoscută, a toleranţei dimensiunii de închidere, care se calculează cu relaţia (4).

E.2. se stabileşte toleranţa fiecărei dimensiuni componente (mai mică, egală sau mai mare decât toleranţa medie) în funcţie de importanţa dimensiunii componente în cadrul lanţului de dimensiuni şi de dificultăţile tehnologice de realizare.

Notă: la stabilirea toleranţelor dimensiunilor componente se va respecta satisfacerea relaţiei (4).

E.3. se identifică dimensiunile componente măritoare şi dimensiunile componente reducătoare din lanţul de dimensiuni.

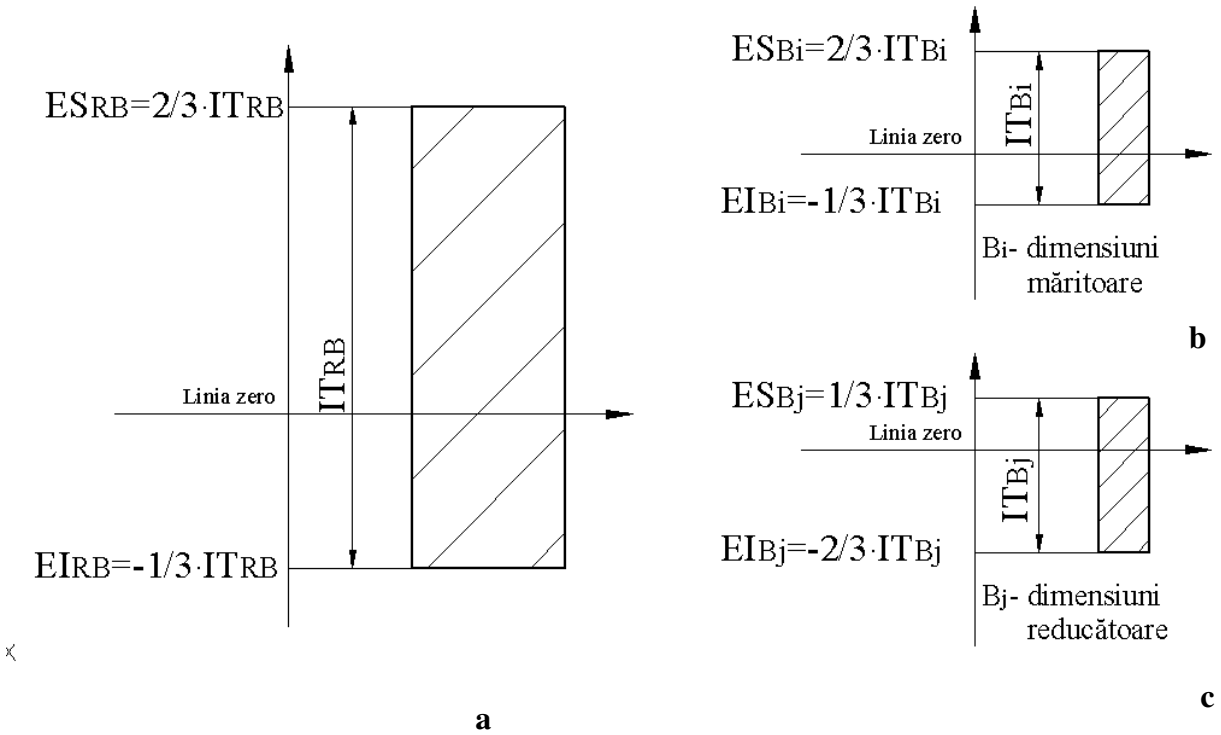

Fig. 11
Schema de calculare a abaterilor limită ale dimensiunilor component
(problema inversă- metoda toleranţei medii)
a.- poziţia câmpului de toleranţe al dimensiunii de închidere;
b.- poziţia câmpurior de toleranţe ale dimensiunilor măritoare;
b.- poziţia câmpurior de toleranţe ale dimensiunilor reducătoare.

E.4. se calculează valorile abaterilor limită ale dimensiunilor componente, cu ajutorul toleranţelor stabilite la etapa E2, în funcţie de poziţia câmpului de toleranţă al fiecărei dimensiuni componente faţă de linia zero, astfel (fig. 11):

- câmpul de toleranţă al dimensiunilor măritoare vor avea aceeaşi poziţie, în raport cu linia zero, ca şi poziţia câmpului de toleranţă al dimensiunii de închidere (exemplu: fig. 11.b);
- câmpul de toleranţă al dimensiunilor reducătoare vor avea poziţia inversă (în raport cu linia zero) faţă de poziţia câmpului de toleranţă al dimensiunii de închidere (exemplu: fig. 11.c);

Notă: în fig. 11 este dat un exemplu de schemă de calcul, pentru o poziţie a câmpului de toleranţe a dimensiunii de închidere (în raport cu linia zero), care corespunde abaterii superioare egală cu 2/3 din toleranţa dimensiunii de închidere şi abaterii inferioare egală cu 1/3 din toleranţă, luată cu semnul minus (fig. 11.a).

Notă: toleranţele dimensiunilor primare, determinate prin metoda toleranţei medii, pot avea şi alte poziţii dacă, pornind de la soluţia prezentată anterior, abaterile limită se micşorează sau se măresc, cu aceeaşi valoare şi în acelaşi sens, atât la dimensiunile măritoare, cât şi la cele reducătoare.

4. Modul de efectuare a lucrării de laborator şi interpretarea rezultatelor măsurării.

Lucrarea de laborator constă în rezolvarea problemei directe a unui lanţ de dimensiuni la o piesă specificată, prin aplicarea metodei algebrice şi a metodei de maxim şi minim.

Pentru efectuarea lucrării de laborator, se parcurg etapele:

E1. se execută desenul de reper al piesei (schiţă de mână);

E2. se identifică tipul lanţul de dimensiuni care trebuie rezolvat (conform criteriilor de clasificare de la &2);

E3. se rezolvă lanţul de dimensiuni prin metoda algebrică;

E4. se rezolvă lanţul de dimensiuni prin metoda de maxim şi minim;

E5. se verifică proprietatea toleranţei dimensiunii de închidere calculate.

Notă: indiferent de metoda aplicată pentru rezolvarea unui lanţ de dimensiuni, este obligatorie reprezentarea convenţională a acestuia.

CONŢINUTUL REFERATULUI PENTRU LUCRAREA DE LABORATOR NR. 6

Referatul întocmit de student va cuprinde:

1. **conspectul lucrării de laborator** cu următoarele puncte:

- reprezentarea convenţională a lanţurilor de dimensiuni, cu fig. 1;
- rezolvarea problemei directe a lanţurilor de dimensiuni prin metoda algebrică (etapele care trebuie parcurse);
- rezolvarea problemei directe a lanţurilor de dimensiuni prin metoda de maxim şi minim (etapele care trebuie parcurse);
- verificarea proprietăţii toleranţei dimensiunii de închidere;
- modul de efectuare a lucrării de laborator;

2. **aplicaţiile numerice** efectuate în laborator:

- calculele efectuate în timpul desfăşurării lucrării de laborator: desenul piesei, reprezentări convenţionale, calculele detaliate.

Notă: la efectuarea calculelor se vor scrie relaţiile literale utilizate.

Notă: **conspectul va fi scris de mână, iar desenele vor fi făcute sub formă de schiţă de mână.**