

AEF-T.4.3

PROBLEME NELINIARE CU CONTACTE MECANICE

CUPRINS

AEF-T.4.3.1 INTRODUCERE

AEF-T.4.3.2 MODELAREA CONTACTELOR

AEF-T.4.3.3 REZOLVAREA MODELULUI

AEF-T.4.3.1 INTRODUCERE

Deoarece în marea majoritate a contactelor mecanice din practică (rulmenți, angrenaje) forțele transmise sunt relativ mari și suprafețele de contact sunt foarte mici (teoretic se reduc la puncte sau linii), presiunile pe suprafața de contact sunt foarte mari, în zonele adiacente apar tensiuni foarte mari. Pe de altă parte, chiar și în cazurile în care suprafețele sunt relativ mari (ambreiaje, frâne) apar tensiuni locale foarte mari din cauza neuniformității suprafeței de contact, cu abateri de formă și rugozități semnificative,

Scopul AEF a problemelor cu contacte mecanice presupune determinarea tensiunilor, deplasărilor, deformațiilor și presiunilor din zonele de legătură directă cu sau fără interferență ce implică două elemente distincte.

Frecarea este un fenomen complex progresiv (evolutiv) în care starea curentă depinde de starea anterioară și depinde de calitatea suprafețelor (rugozitate), temperatură, presiune, viteză relativă.

Problemele de analiză cu contacte mecanice sunt frecvent întâlnite în practică în diverse domenii: procesare tehnologică (deformații plastice, așchiere), auto (crash), etanșări (seals), biomecanică (articulații, implanturi) etc.

Modelarea și rezolvarea modelelor sunt procese complexe din cauza următoarelor aspecte:

- nu se cunosc formele și dimensiunile zonelor de contact preliminar și acestea se modifică continuu;
- constrângerile introduse de contacte pot fi instabile (active sau inactive);
- frecările induc neliniarități (mișcări mici induc schimbarea sensului forțelor de frecare).

AEF-T.4.3.2 MODELAREA CONTACTELOR

Contactele dintre două corpuri solide deformabile, sunt fenomene complexe care, pe de-o parte, implică o suprafață comună în ale cărei puncte au aceleași valori ale tensiunilor (constrângeri dinamice de tip acțiune-reacțiune) și nu au viteze relative în direcție normală (constrângeri cinematice) și, pe de altă parte, sunt neliniare, deoarece depind atât de proprietățile elastice ale corpurilor care vin în contact, de geometria lor, de condițiile de rezemare etc. dar și de evoluția încărcărilor (adică stările intermediare ale suprafeței de contact depind de evoluția sarcinilor aplicate). Astfel în timpul aplicării sarcinilor se modifică (uneori fundamental), formele și dimensiunile suprafețelor de contact, precum și distribuțiile tensiunilor pe aceste suprafețe.

Având în vedere complexitatea problemelor de contact mecanic, modelarea pentru cazul general fiind laborioasă și anevoioasă (chiar în cazul modelării cu elemente finite), s-au elaborat modele de analiză considerând cazuri particulare, asociate frecvent cu situații din practică. Astfel s-au consacrat modele și analize pe tipuri de contacte, personalizate după următoarele criterii:

- existența frecării uscate pe suprafața de contact: contacte fără frecare (apare doar o presiune normală, se poate aplica și pentru contactele cu bună lubrifiere) și cu frecare (pe lângă presiunea normală apare și forțe de frecare);
- dimensiunea suprafeței de contact: conforme (suprafață de contact mare, comparabilă cu una din dimensiunea unui corp, ce se păstrează și în timpul încărcării) și neconforme (suprafața inițială de contact foarte mică, asimilabilă teoretic cu un punct sau cu o linie (de ex. la rulmenți cu bile, respectiv cu role) se mărește după încărcare luând forma circulară, respectiv, dreptunghiulară);

- comportarea materialului: elastice (tensiunile din zona suprafeței de contact nu depășesc limita de elasticitate) și elasto-plastice (apar deformări plastice în cel puțin în unul dintre materialele corpurilor în contact);
- rigiditățile corpurilor: rigid-rigid (ambele corpuri sunt considerate perfect rigide), flexibil-rigid (unul din corpuri are rigiditate redusă și celălalt are rigiditate infinită) și flexibil-flexibil (ambele corpuri au rigidități reduse);
- existența mișcării relative între corpuri: static (nu există mișcare relativă între corpuri) și dinamic (cu alunecare la frâne, ambreiaje, ghidaje etc.; cu rostogolire – la rulmenți).

Legăturile prin frecare dintre două modele cu elemente finite se pot defini ca elemente finite de contact de tip nod-nod (fig. a), sau nod-linie (fig. b) sau nod suprafață (fig. b).

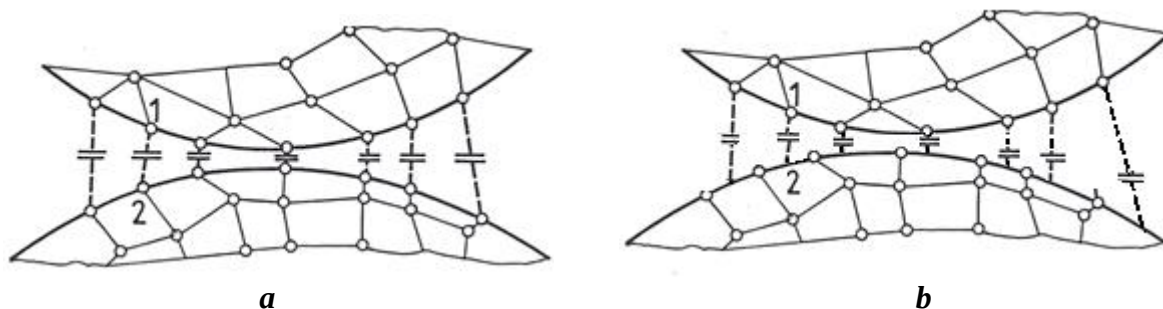


Fig. 1 Element finit de contact: **a** – nod-nod; **b** – nod-linie sau nod-suprafață

În fig. se prezintă structura unui element finit de contact cu frecare (neliniar) compus din două perechi de arcuri neliniare dispuse ortogonal (o pereche este normală și cealaltă tangențială) cu rigiditățile k_n (tari, material), s_n (foarte moi, aer), respectiv k_t (material), s_t (aer) și o cuplă de alunecare cu frecare (μ). Elementul are descris are două stări: deschis (fără contact), când sunt active doar arcurile foarte moi care au rolul de a controla poziția relativă a nodurilor când acestea nu aparțin zonei deformate și închis (cu contact), când sunt active toate arcurile (cele foarte moi au influență nesemnificativă) și ambele noduri aparțin zonei deformate. Starea închis, poate fi cu alunecare sau fără alunecare (cu adeziune) după cum forța f_t din arcul tangențial este sub, respectiv peste forța de frecare limită μf_n , cu f_n forța din arcul normal.

În cazul elementului finit ce modelează contactul cu frecare între două puncte ale corpurilor (fig. 1) apare o forță de reacțiune cu componenta normală (f_n) în direcție perpendiculară la suprafața de contact (fig. 2), și componenta tangențială (de frecare) (f_t) în planul suprafeței care la limită produce alunecare relativă. *Forța de frecare* este dependentă de cea normală, $f_t = \mu f_n$, poate fi statică când există aderență (stick) sau cinetică la apariția mișcării relative (slip). Coeficientul de frecare static la contactul de aderență fără mișcare relativă este mai mare decât coeficientul de frecare cinetic (când există mișcare relativă) care la rândul scade cu creșterea vitezei relative.

Dependențele forță-deplasare în direcție normală n și tangențială t pentru domeniul celor două stări posibile sunt neliniare (fig. a,b). Starea elementului se poate determina în funcție de lungimea,

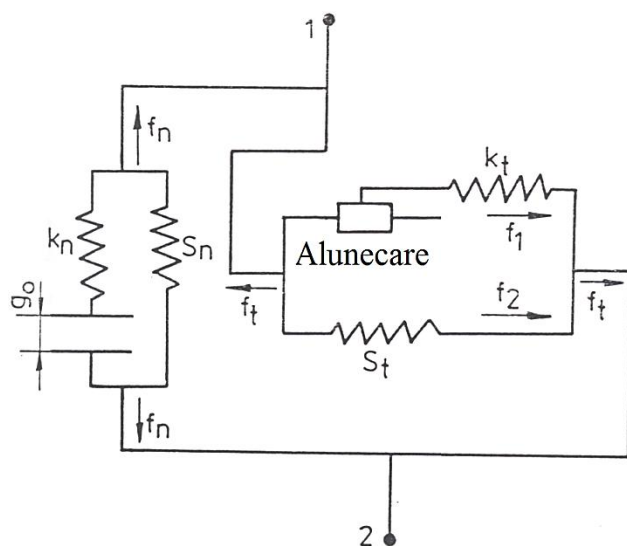
$$g = u_2 - u_1 + g_0,$$

unde $u_{1,2}$ sunt deplasările nodurilor în direcție normală, g_0 – distanța inițială dintre noduri. În cazul când $g > 0$ elementul are starea deschis, materialele încă nu sunt în contact, și când $g \leq 0$ elementul are starea închis (materialele sunt deformate și poate exista penetrație).

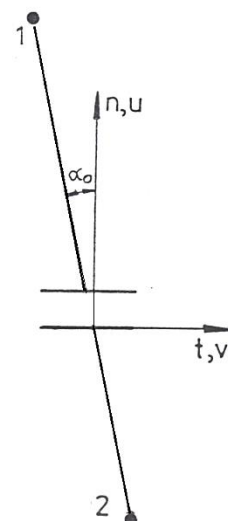
Comportarea structurii compusă din cele două modele cu elemente finite ale corpurilor și modele cu elemente finite de contact după asamblare este descrisă de sistemul neliniar,

$$\{K(D)\} [D] = \{F\},$$

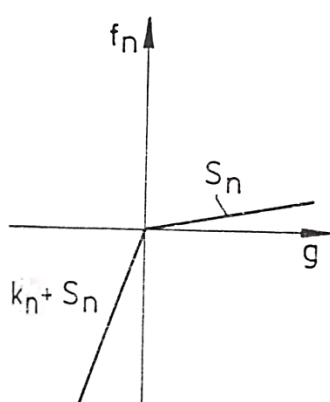
în care $[D]$ este matricea deplasărilor nodale (răspunsul structurii), $\{K(D)\}$ – matricea de rigiditate dependentă de deplasare și $\{F\}$ – matricea forțelor nodale.



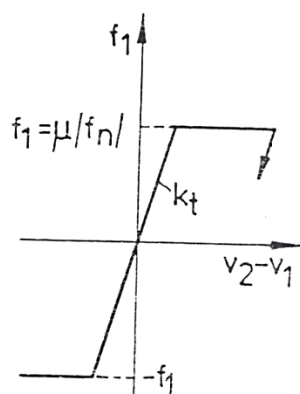
a.



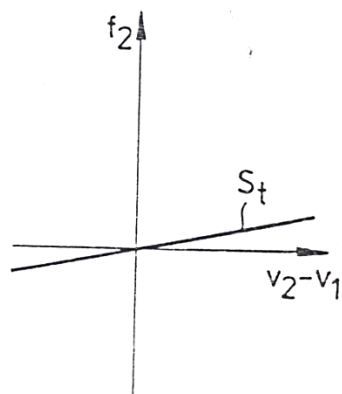
b.



c.



d.



e.

Fig. Model element finit contact: a – structura și parametri; b – simbolizare; c – caracteristica axială; d – caracteristica tangențială cu frecare; e - caracteristica tangențială fără frecare

AEF-T.4.3.3 REZOLVAREA MODELULUI