



IRMES
'04

Naučno-stručni skup

**ISTRAŽIVANJE I RAZVOJ
MAŠINSKIH ELEMENATA
I SISTEMA**



Kragujevac, 16. i 17. septembar 2004. god. Hotel "Šumarice"

MODELIRANJE I STRUKTURALNA OPTIMIZACIJA KONSTRUKCIONIH OBLIKA CILINDRIČNIH ZUPČANIKA

Božidar Rosić, Aleksandar Marinković, Aleksandar Venci

U radu su predstavljene neki aspekti primene karakterističnih modula softverskog paketa CATIA na primeni: modeliranja, sklapanja, analize naponsko-deformacionog stanja cilindričnih zupčanika velikih gabarita. Primenom metode konačnih elemenata, razmatran je i uticaj presovanog spoja vratila i glavčine na naponsko-deformaciono stanje zupčanika. U okviru modula za optimizaciju definisani su funkcija cilja i funkcionalna ograničenja i određen optimalni konstrukcioni oblik cilindričnih zupčanika.

1. Uvod

Zupčasti prenosnici primenjuju se u širokom dijapazonu ugaonih brzina i opterećenja, tako da se mogu primeniti u mnogim područjima tehnike, u odnosu na ostale tipove prenosnika. Zato posebnu pažnju treba posvetiti konstruisanju zupčastih prenosnika i u pojedine faze procesa konstruisanja uvesti visokosofisticirane pakete programa i savremene eksperimentalne metode, da bi obezbedili pouzdane konstrukcije zupčastih prenosnika u svim uslovima eksploatacije. Pri tome, na razvijenom virtuelnom geometrijskom modelu prenosnika mogu se proveriti postavljeni zahtevi u pogledu željenih performansi, pre nego što se fizički izradi prototip zupčastog prenosnika.

Prema klasičnim postupcima određivanja naponskog stanja zubac se aproksimira mehaničkim modelom u obliku konzole, koji je uklješten u telu zupčanika. Usvojeni mehanički model predstavlja grubu aproksimaciju zupčanika tankog venca, pošto nije uzet uticaj radijalne visine venca na napone u podnožju zupca. Problem određivanja naponsko-deformacionog stanja zupčanika sa vencem relativno male radijalne visine je kompleksan i zahteva primenu metode konačnih elemenata /1/, /2/.

Visokosofisticirani paket programa CATIA omogućava i simulaciju naponsko-deformacionog stanja presovanog spoja vratila i glavčine zupčanika u zavisnosti od izabranog naleganja. Na taj način, s aspekta radne sposobnosti mogu se definisati funkcionalna ograničenja za zupčanik, odrediti domeni primene svih relevantnih

veličina i postaviti odgovarajući optimizacioni model, u cilju određivanja optimalnog konstrukcionog oblika zupčanika.

Minimalna masa zupčastih parova u konstrukciji zupčastog prenosioca je izuzetno bitna performansa prenosioca s aspekta dinamičkog ponašanja, tehnološkiosti i ekonomičnosti izrade zupčastih parova. Pri tome, između relevantnih geometrijskih veličina zupčanika i lokalnih ekstremnih vrednosti napona može se uspostaviti odgovarajuća korelacija.

U ovom radu, zbog ograničenosti obima rada, razmatra se model najčešće korišćenog kovanog konstrukcionog oblika cilindričnog zupčanika velikih gabarita, odnosno dimenzija.

U skladu sa napred izloženim proizlazi da je problemu modeliranja i optimizacije zupčanika neophodno pristupiti sistemski kako bi se uspešno mogli rešiti i drugi konstrukcioni oblici zupčanika.

2. Modeliranje i simulacija sklapanja komponenti

Modeliranje je izvršna operacija procesa formiranja 3D solid modela cilindričnog zupčanika na osnovu 2D skice. To znači da bi se kreirao određen konstrukcioni oblik zupčanika neophodno je prvo definisati poprečni presek – ravanski prikaz u "sketch" okruženju. Formiranje 3D modela cilindričnog zupčanika bazira se na kreiranju formi - "features" u PART modulu CATIA programa.

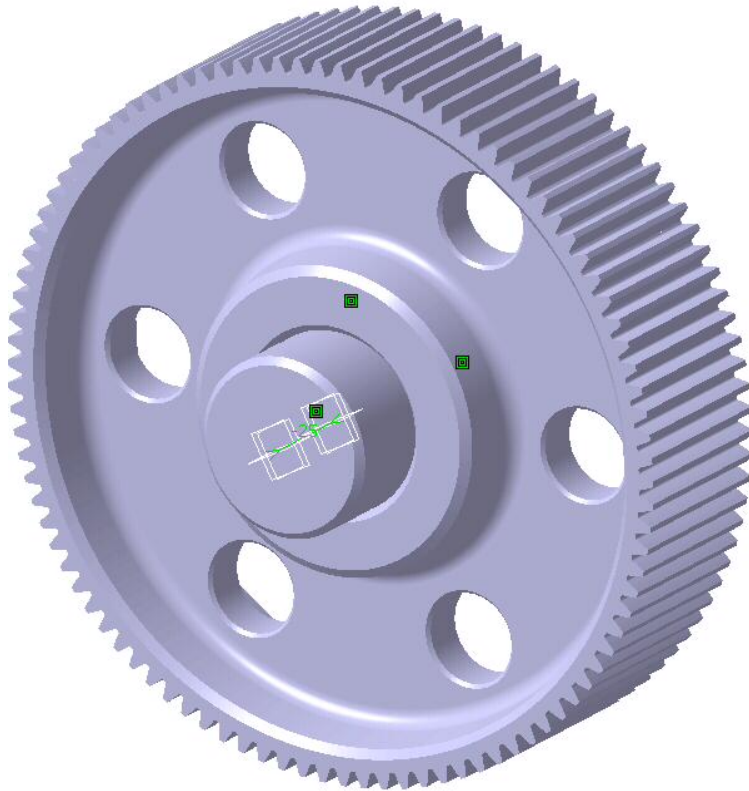
U opštem slučaju, zupčanik sastoji se od ozubljenog venca na kome su izvedeni zupci, tela i glavnice. Oblik tela zupčanika zavisi, pre svega od njegovih gabarita - dimenzija, mogućnosti i ekonomičnosti izrade i potrebne krutosti zupčanika.

Tela većih zupčanika imaju pločast oblik sa različitim konstrukcionim formama i takav oblik je ekonomičan, jer se lako ostvaruje livenjem, kovanjem ili zavarivanjem. U pločama se obično prave otvori, radi manje mase zupčanika ili lakše montaže u konstrukciji prenosioca.

Geometrijski oblika profila zubaca cilindričnih zupčanika definisan je na bazi razvijenog analitičko- kinematskog modela /3/ i sačinjenog je kompjuterskog programa GEOMS. Program je koncipiran tako da na osnovu ulaznih parametara za zadati zupčasti par konstruktoru u interaktivnom postupku omogućiti određivanje koordinata profila zubaca zupčanika i odgovarajućeg crteža, na osnovu primene odgovarajućeg programa za grafičku podršku.

"Assembly" je jedan od modula paketa programa CATIA, koji omogućava simulaciju sklapanja formiranih delova (partova) u sklop, uz mogućnost interaktivne dorade i u okviru sklopa. Pri sklapanju se može proveriti i vrsta naleganja između komponenti. Postupak sklapanja komponenti odvija se postavljanjem odgovarajućih ograničenja (Constraints), kojim komponente zauzimaju željeni položaj u sklopu.

Na slici 1. prikazan je sklop cilindričnog zupčanika i vratila, koji je definisan odgovarajućim ograničenjima u "Assembly" modulu.



Slika 1. 3D solid model, kovanog konstrukcionog oblika zupčanika.

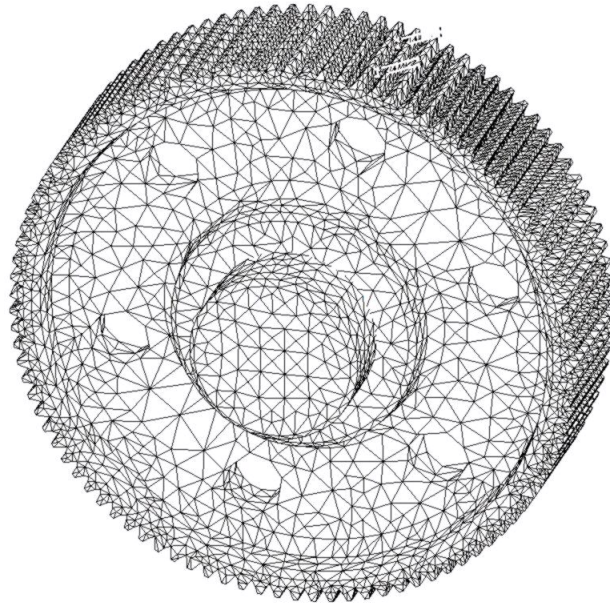
3. Analiza naponsko-deformacionog stanja

Primena MKE odvija se načelno u tri glavne faze i to:

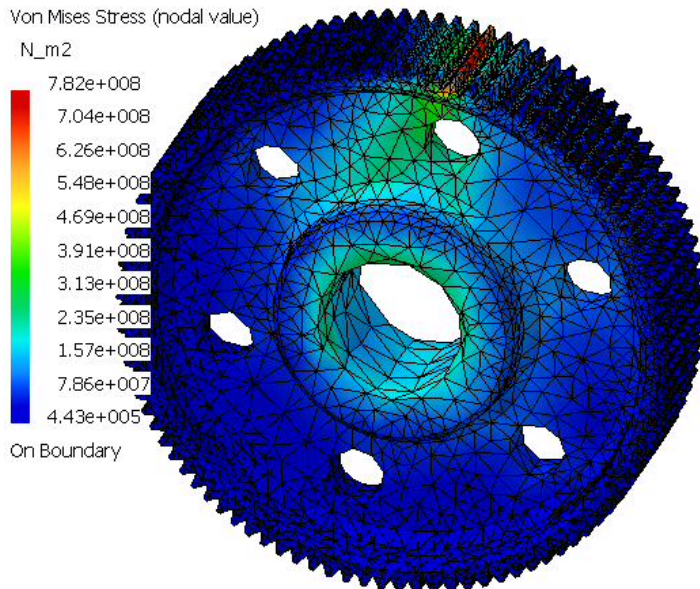
- predprocesna faza u kojoj se vrši formiranje mreže konačnih elemenata kao i definisanje graničnih uslova i opterećenja.
- faza procesiranja, odnosno faza neposrednog izračunavanja vrednosti napona numeričkim putem u svakom od čvorova.
- postprocesing, faza koja se sastoji u analizi dobijenih rezultata stanja napona i deformacija.

U prvoj fazi se formira mreža konačnih elemenata solid modela – cilindričnog zupčanika, koja je prilagođena očekivanoj raspodeli napona. U zoni koncentracije napona formirana je gušća mreža konačnih elemenata, dok se na mestima gde se ne očekuju singulariteti uzeti konačni elementi većih dimenzija. Model kovanog zupčanika podeljen je na 77633 tetraedara, sa ukupno 18965 čvorova, kao što je prikazano na slici 2.

Izračunavanje vrednosti napona i deformacija MKE u programskom paketu CATIA, zasniva se na specifičnom deformacionom radu po jedinici zapremine, odnosno hipotezi Hubera (Huber) i Mizesa (Mises) o slomu materijala. Na slici 3 prikazano je naponsko stanje, tj. vrednosti napona izračunatih po pomenutoj hipotezi Mizesa.



Slika 2. Mreža konačnih elemenata kovanog zupčanika



Slika 3. Naponsko stanje kovanog zupčanika

Na slici 3 se jasno uočavaju zone povećane vrednosti napona usled delovanja opterećenja na bok zupca, kao i uticaja presovanog spoja glavčine zupčanika sa vratilom.

4. Optimizacija parametara

Strukturalna optimizacija cilindričnog zupčanika izvedena je unutar programskog paketa programa CATIA primenom modula "Product Engineering Optimizer" nad parametiziranim modelom zupčanika.

Na osnovu modula "Design of Experiments" uspostavljena je korelacija između svih relevantnih geometrijskih veličina zupčanika i lokalnih ekstremnih vrednosti napona.

U skladu sa napred izloženim može se formulirati optimizacioni zadatak, presovanog spoja vratila i zupčanika, u obliku sledeće relacije:

$$\min_{\bar{x} \in D} m(\bar{x}) \quad (4.1)$$

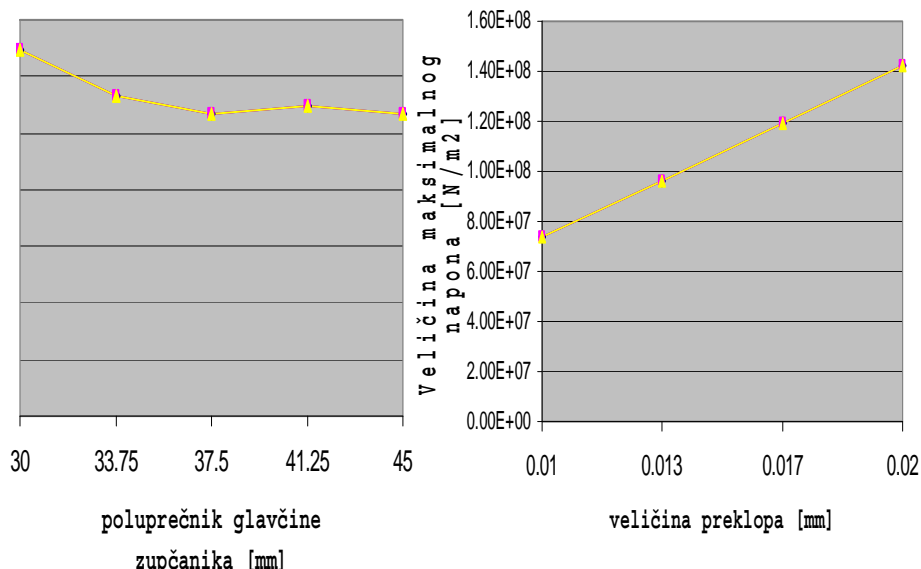
pri čemu je:

$m(\bar{x})$ - masa zupčanika,

$\bar{x} = \bar{x}(x_1, \dots, x_n)$ - vektor promenljivih veličina,

$$D = \left\{ \bar{x} \in R^n \mid \frac{[\sigma_F]}{\sigma_F} - S_F > 0 \wedge \frac{[\sigma_T]}{\sigma_i} - S > 0 \right\} - \text{dopustivi prostor}$$

Slike 5 i 6 su grafička interpretacija dobijenih rezultata programa, odnosno funkcionalna zavisnost maksimalnog lokalnog napona presovanog spoja od prečnika glavčine i od veličine preklopa.



Slika. 5. Zavisnost maksimalnog napona od prečnika glavčine

Slika. 6. Zavisnost maksimalnog napona od veličine preklopa

5. Zaključak

Savremena, tržišno orijentisana proizvodnja, zahteva donošenje odluka u pogledu izbora "najboljeg" konstrukcionog rešenja još u fazi projekta. Uspešno rešavanje ovog zahteva postiže se primenom visokosofisticiranog paketa programa CATIA u procesu konstruisanja, radi definisanja optimalnog konstrukcionog oblika zupčanika. Na osnovu modula za optimizaciju "Design of Experiments" uspostavljena je korelacija između svih relevantnih geometrijskih veličina zupčanika i lokalnih ekstremnih vrednosti napona, tako da donosilac odluke – konstruktor može uspostaviti sve uzročno – posledične veze između ulaznih i izlaznih veličina programa CATIA.

Literatura

1. Rosić B., Primena računara za definisanje profila zubaca cilindričnih evolventnih zupčanika, Jugoslovenski naučno - stručni skup, Mašinski fakultet, Beograd 1987. god.
2. Rosić B., Istraživanje i optimizacija parametara unutrašnjeg ozubljenja planetarnih prenosnika, Mašinski fakultet, Beograd, 1992. god.
3. Manć M., Mišić D., Stojković M., Modeliranje oblika mašinskih delova orijentisano analizi tehnološkičnosti, Naučno - stručni skup, IRMES 2002, Mašinski fakultet, Srpsko Sarajevo, 2002. god.
4. Colbourne J.,R., The geometry of involute gears, Springer-Verlag, New York, 1987. god.
5. Veriga S., Mašinski elementi III, prenosnici, frikcioni prenosnici, zupčasti prenosnici, Mašinski fakultet, Beograd 1984. god.

MODELING AND STRUCTURAL OPTIMIZATION OF CYLINDRICAL GEARS CONSTRUCTIONAL PROFILES

Some of the application aspects, for CATIA software characteristic modules, on modeling, assembling and stress-strain analysis of the large cylindrical gears are described in this paper. Using fine element method, influence of the shaft and hub pressure joint on the stress-strain condition is discussed. Into the optimization module: target function, functionally limits and optimal constructional profile of the cylindrical gears are defined.

Prof. dr Božidar Rosić, mr Aleksandar Marinković, Aleksandar Vencel dipl. inž.,
Mašinski fakultet u Beogradu, 27. marta 80, 11000 Beograd.