

**RAZVOJ ZAPTIVNIH PROFILA PRIMENOM RAČUNARSKE DINAMIKE FLUIDA
DEVELOPMENT OF SEALING PROFILES USING COMPUTATIONAL FLUID
DYNAMICS**Ivana Ratkovac, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad***Oblast – MAŠINSTVO**

Kratak sadržaj – U ovom radu prikazan je razvoj zaptivnih profila korišćenjem računarske dinamike fluida. Opisan je razvoj ekstruzione matrice i njena proba na ekstruzionoj liniji. Dobijen je poprečni presek profila, ti uzorci su testirani u laboratoriji. Na osnovu laboratorijskih rezultata utvrđeno je na kom nivou razvijenosti je taj profil. Takođe, utvrđeno je u kom smeru dalje treba da ide razvoj profila.

Abstract – The development of sealing profiles using computational fluid dynamics is presented in this paper. The development of the extrusion matrix and its trial on the extrusion line are described. A profile cross section was obtained. These samples were tested in the laboratory. Based on laboratory results, it was determined the profile development level. Also, it was determined in which direction the profile development should go.

Ključne reči: Zaptivni profili, računarska dinamika fluida, ekstruzija.

1. UVOD

Od kako je pronađen postupak vulkanizacije, guma je zauzela izuzetno mesto među materijalima koji karakterišu savremenu civilizaciju. Iako obično nije osnovni konstrukcioni materijal, zbog svojih elastičnih, izolacionih i zaptivnih svojstava, upotreba gume se toliko proširila, da bi njen iznenadni nestanak izazvao zastoj i poremećaje u savremenoj civilizaciji. Za proizvodnju zaptivnih profila u automobilske industriji i građevinarstvu najčešće se koriste elastomeri na bazi sintetičkog etilen propilen dienskog kaučuka (EPDM). Za razvoj zaptivnih profila u automobilske industriji koristi se računarska dinamika fluida i metod pokušaja i proba.

2. ZADATAK RADA

Zadatak rada je da se korišćenjem računarske dinamike fluida razvije ekstruziona matrica i da se sa tom matricom uradi probna ekstruzija, što predstavlja metod pokušaja i proba. Ekstrudirani profil mora da zadovolji funkcionalne i vizuelne karakteristike date tehničkim crtežom. Na osnovu dobijenih laboratorijskih rezultata potrebno je predložiti dalji tok razvoja profila.

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada, čiji mentor je bio prof. Siniša Bikić.

3. OPŠTE O KAUČUKU, GUMI I ZAPTIVNIM PROFILIMA

Pod kaučukom se podrazumeva neumrežen i makromolekulski material prirodnog ili sintetičkog porekla, od koga se proizvodi guma. Guma je makromolekulski materijal, dobijen od kaučuka, koji ima svojstva:

- da se na sobnoj temperaturi brzo vraća u prvobitni oblik;
- da ne može da se lako preoblikuje u stalan oblik.

U zavisnosti od strukture polaznih sirovina proističu specifična svojstva ovih materijala koja su našla primenu u različitim granama industrije. U sastav smeše za dobijanje elastomernog materijala, pored kaučuka i umrežavajućeg sistema, umešavaju se i razni dodaci (aditivi) u cilju poboljšanja fizičko-mehaničkih svojstava, smanjenja cene koštanja i postizanja specifičnih svojstava konačnih materijala. Svojstva elastomernih materijala mogu se podeliti u dve najvažnije grupe: fizička i mehanička.

Za kaučuke je od posebnog značaja viskoelastično stanje, to jest fizičko stanje kaučuka, koje pri sobnoj temperaturi, karakteriše visoka viskoznost i u isto vreme, velika pokretljivost pojedinih segmenata makromolekularnog lanca. U tom stanju kaučuci poseduju još jedno od važnih fizičkih svojstava - veliku elastičnost, tj. sposobnost da se povratno deformišu pod dejstvom relativno malih opterećenja. Mehanička svojstva gume mogu se određivati u statičkim uslovima, tj. pri stalnim opterećenjima i deformacijama, pri malim brzinama delovanja opterećenja, a takođe i u dinamičkim uslovima, na primer, pri višekratnim deformacijama istezanja, sabijanja, savijanja.

Pri tome kod gume se često ispituje izdržljivost na zamor i obrazovanje toplote pri sabijanju. Elastomerni materijali poseduju dobra zaptivna svojstva jer se odlikuju malom tvrdoćom, a nepropustljivi su i inertni za mnoge fluide. Postizanje pouzdanog zaptivanja zazor, a da se pri tome ne naruši funkcionalnost tog spoja, složen je zadatak. Jedna od metoda je kontaktna metoda koja podrazumeva ubacivanje pomoćnog, mekšeg materijala između dodirnih površina koji ima sposobnost da popuni zazor.

Što je materijal elastičniji, to on bolje popunjava zazor i bolje zaptiva. Istovremeno, takav materijal ne sme izlaziti iz zazora pod dejstvom površinskog pritiska i ne sme se oštetiti usled mehaničkih uticaja. Pored toga, zaptivka mora da prati sve promene zazora, slučajne ili funkcionalne. Zbog toga, materijal, pored elastičnosti mora imati i visoku mehaničku čvrstoću i dobru reverzibilnu elastičnost.

Vulkanizovana guma je upravo jedan od takvih materijala, koji ima sposobnost da značajno izmeni svoj oblik pod dejstvom pritiska. Zbog tog svojstva gume ona je jedan od osnovnih zaptivnih materijala za sve vrste spojeva.

4. UVOD U RAČUNARSKU DINAMIKU FLUIDA

U računarskoj dinamici fluida koriste se parcijalne diferencijalne jednačine zakona održanja mase, promene količine kretanja i energije. Računarska dinamika fluida može kvalitativno predvideti protok fluida. Po pravilu računarska dinamika fluida ne zamenjuje merenja u potpunosti, ali se broj eksperimenata i ukupni troškovi primenom računarske dinamike fluida mogu značajno smanjiti [1].

Rezultati simulacije nikad nisu 100% pouzdani jer:

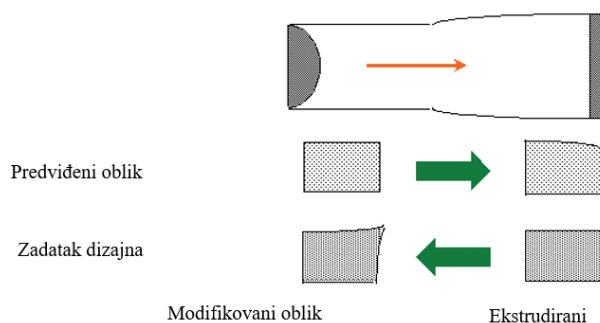
- ulazni podaci mogu biti neprecizni;
- matematički model može biti neadekvatan i
- tačnost rezultata je ograničena raspoloživom računarskom snagom.

Ekstruzija je proces koji se koristi za proizvodnju profila fiksnog poprečnog preseka. Materijal pod pritiskom prolazi kroz matricu željenog poprečnog preseka. Dve glavne prednosti ovog procesa u odnosu na ostale proizvodne procese je mogućnost proizvodnje vrlo složenih poprečnih preseka i obrada krhkih materijala, jer na materijal utiču samo sile pritiska i smicanja.

Ekstruzija je jedan od najčešće korišćenih procesa za obradu polimera. Primeri ekstruzije polimera obuhvataju: folije, cevi, ploče, profile, žice, kablove i koekstruziju premaza. U svakoj vrsti ekstruzije, polimer pod pritiskom prolazi kroz matricu za dobijanje željenog oblika. Da bi se zadovoljio trenutni i predstojeći rast potražnje kompleksnih ekstrudiranih oblika potreban je precizan i brz dizajn od samog početka. Dobijanje konačnog oblika ekstrudiranog proizvoda je proces koji traje i prouzrokuje mnogo grešaka. Nekad je potrebno deset i više proba da bi se dobio proizvod po specifikaciji. Za iskusnog projektanta koji radi na jednom obliku, ovaj proces može biti kraći, a za složenije oblike može trajati nekoliko meseci koristeći metod probe i graške. Postoji mnogo razloga za ovo kašnjenje, od kojih većina uključuje nedostatak razumevanja fizike i protoka polimera unutar i izvan matrice. Projektanti znaju zahtevani oblik profila ali ne znaju odgovarajući oblik matrice.

Vrši se predviđanje oblika ekstrudiranog profila u odnosu na dizajn matrice. Prilagođavanjem oblika matrice, projektant dobija odgovarajući oblik profila i upoređuje ga sa zahtevanim; ako se ne poklapa proces se ponavlja dok se ne dobije zahtevani oblik. U suštini, ovo je metod probe i grešake koji se oslanja na iskustvo projektanta. Predviđanje oblika ekstrudiranog profila takođe se može postići korišćenjem numeričke simulacije.

Korišćenjem računarske simulacije, projektant izračunava deformacije slobodnih površina koje izlaze iz matrice. Do deformacije slobodnih površina može doći zbog preusmeravanja brzine usled iznenadnog odsustva trenja izvan matrice ili zbog smanjenog pritiska profila zbog materijala sa značajnom viskoelastičnom komponentom. Kao rezultat ovih predviđenih deformacija, neophodno je projektovati matricu koja odgovara ovim promenama oblika kako bi se dobio zahtevani oblik profila.



Slika 4.1. Izgled matrice i površine slobodnog protoka [2]

Razumevanje šta može da izazove promene oblika profila je ključno za poboljšanje procesa projektovanja - dizajniranja. Na primer, unutar matrice, primećem je paraboličan oblik brzine sa nulom i malom brzinom blizu zida, zbog trenja duž zida koje usporava protok. U centru sekcije toka, brzina smeše je mnogo veća (gornji deo slike 4.1). U slobodnom protoku neposredno posle matrice, profil brzine je ravnomeran, svaka čestica ima istu brzinu, jer nema zida koji ih usporava. S obzirom na ove uslove, smeša koja teče u blizini zida unutar matrice moraće da se ubrza do prosečne vrednosti brzine u slobodnom mlazu. S obzirom na konstantan lokalni protok, jedini način za ubrzanje smeše je smanjenje protoka. S druge strane, smeša koja teče u centru kanala matrice ima veću brzinu, taj deo mora da se uspori. Imajući u vidu konstantan lokalni protok, jasno je zašto dolazi do nekontrolisanog rasta profila na izlazu iz matrice. Redistribucija brzine javlja se i kada su uključeni trodimenzionalni efekti, ali osnovni principi ostaju isti.

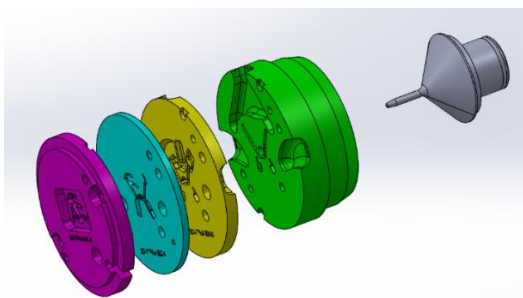
5. PROCES RAZVOJA PROFILA

Na osnovu specifikacija definisanih tehničkim crtežom počinje proces razvoja profila koji treba da zadovolji sve zahteve, a to su:

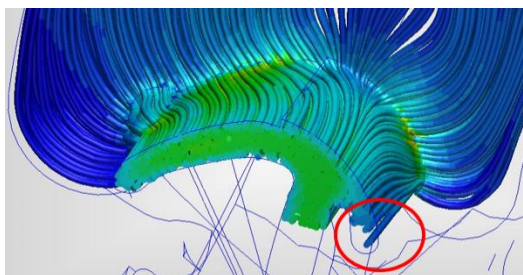
- materijali;
- brzina;
- oblik;
- dimenzije;
- funkcionalne karakteristike i
- vizuelne karakteristike.

Koraci pri razvoju matrice:

1. analiza profila prema crtežu;
2. prilagođavanje profila tipskoj tehnologiji;
3. dodavanje stabilizacionih elemenata na profil;
4. utvrđivanje konačne izlazne konture;
5. utvrđivanje rasporeda ekstrudera;
6. određivanje površina poprečnih preseka;
7. određivanje zapreminskog protoka i
8. konstruisanje ekstruzione matrice (slika 5.1).
9. simulacija protoka kroz ekstruzionu matricu, slika 5.2;
10. izmena geometrije ekstruzione matrice se vrši na osnovu rezultata simulacije ili rezultata kontrole uzoraka profila sa probne proizvodnje i
11. proba proizvodnje.



Slika 5.1 Delovi matrice



Slika 5.2 Kritična tačka profila brzine

Koraci 9, 10 i 11 predstavljaju petlju iteracionog procesa razvoja ekstruzione matrice. Drugim rečima, ponavljanjem ova tri koraka po njihovom navedenom redosledu dolazi se do karakteristika proizvoda koje su propisane crtežom.

Urađena je proba fizički na ekstruzionj liniji. Cilj probe bio je da se vidi nivo razvijenosti profila i da se urade laboratorijske analize svih propisanih zahteva. Dobijen je poprečni presek profila prikazan na slikama 5.3 i 5.4.



Slika 5.3 Poprečni presek profila

Slika 5.4 Kritični deo profila

6. LABORATORIJSKO TESTIRANJE

Pri procesu razvoja profila, najbitnije je znati koje zahteve je profil ispunio a koje nije, da bi se znalo u kom smeru treba da ide razvoj, i koje su kritične tačke. Jedini način da se ti rezultati dobiju, jeste da se uradi detaljna laboratorijska analiza.

Svi funkcionalni testovi (kontaktni pritisak usana, montiranje i demontiranje) su dobri. Testovi materijala poput tvrdoće i abrazije floka nisu dobri. Nakon dobijenih rezultata laboratorijskog testiranja, dobija se jasna slika na kom je stepenu razvijenosti profil i u kom smeru treba da ide dalji razvoj.

Kritični deo profila za koji je simulacija pokazala da neće imati dovoljan protok materijala, dobijen je u minimalnoj dimenziji povećavanjem broja obrtaja (RPM) do maksi-

muma, ali mu položaj nije dobar. Ali ipak je ispunjen zahtev testa za kontaktni pritisak usana.

7. ZAKLJUČAK

Predmet ovog rada jeste razvoj zaptivnog profila u automobilskoj industriji korišćenjem računarske dinamike fluida i metode probe i greške.

Pošto se metoda probe i greške bazira na iskustvu projektanta, cilj je bio da se pomoću numeričke simulacije detektuju sve potencijalne nepravilnosti na ekstruzionj matrici, koje bi prouzrokovala loše karakteristike zaptivnog profila. Rezultati računarske simulacije mogu pokazati i potencijalne nepravilnosti, koje kad se unapred detektuju mogu rešiti promenom parametara procesa.

Nakon odrađene računarske simulacije i uviđanja potencijalnih nepravilnosti, sa tom matricom urađena je proba na ekstruzionj liniji. Kao što je simulacija i pokazala, pojavile su se nepravilnosti na profilu, koje su podešavanjem procesnih parametara korigovane da bi ispunile tolerancije propisane crtežom.

Kolektovana je dovoljna količina profila da bi se uradili laboratorijski testovi, jer je to jedini način kojim se može utvrditi da li profil ispunjava sve karakteristike propisane crtežom.

Laboratorijski rezultati su pokazali da su svi funkcionalni testovi dobri, a da testovi materijala (tvrdoća i abrazija floka) nisu dobri. Cilj je postignut, korišćenjem računarske simulacije dobijen je profil zadovoljavajućeg poprečnog preseka.

Rezultati su pokazali da je prioritet podešavanje parametara procesa, i tek nakon toga korekcija dizajna matrice u cilju da poprečni presek profila zadovoljava nominalnu vrednost sa crteža.

Potrebno je da se uradi još jedna proba na ekstruzionj liniji sa istom matricom, da bi se podesili parametri u odnosu na laboratorijske testove materijala koji nisu dobri. Nakon toga potrebno je ponovo uraditi laboratorijsko testiranje profila koji je ekstrudiran sa izmenjenim procesnim parametrima. U odnosu na dobijene rezultate nastavlja se razvoj profila korišćenjem računarske simulacije i metode probe i greške.

8. LITERATURA

- [1] Horvat Zvonimir: Tehnologija gume, Udruženje preduzeća za industriju gume FHRJ, Beograd, 1960.
- [2] Hossam Metwally: A Methodology for superior Die design – Combining the best of art and science. www.ansys.com/http://www.ozeninc.com/wp-content/uploads/2015/07/Ozen-Engineering- A-Methodology-for-Superior-Die-Design-Combining-the-Best-of-Art-and-Science-White-Paper.pdf pristupljeno 22.10.2019

Kratka biografija:



Ivana Ratkovac rođena je u Derventi, BiH 1991. god. Diplomski-master rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Mašinstva – Gasna i naftna tehnika odbranila je 2015.god.