

POBOLJŠANJE KVALITETA ČELIČNE ŽICE ZA ARMATURNE MREŽE PRIMJENOM MATLAB SOFTVERA

IMPROVEMENT OF WIRE QUALITY FOR STEEL MESHES BY APPLYING MATLAB SOFTWARE

D. Sc. Faik Uzunović, redovni profesor
D. Sc. Šaban Žuna
D. Sc. Aida Mahmutović, redovni profesor
M. Sc. Alen Delić

Fakultet za metalurgiju i materijale
Univerzitet u Zenici, 72 000 Zenica
Bosna i Hercegovina

REZIME

Ovaj rad sadrži prezentaciju rezultata istraživanja na optimiranju kvaliteta čeličnih mreža pomoću analitičkih istraživanja uz korištenje MatLab softvera i eksperimentalne provjere matematičkih modela. Predstavljani su rezultati MatLab proračuna zasnovani na vrijednostima mehaničkih osobina, u zavisnosti od iznosa hladne plastične deformacije te od hemijskog sastava čelika, a prema podacima iz prakse. Dobijeni matematički modeli su od velike važnosti i imaju široko područje primjene i za druge vrste čelika vezano za praksu proizvodnje vučene žice.

Ključne riječi: Optimiranje kvaliteta, MatLab aproksimacije, čelične mreže

ABSTRACT

This paper contains presentation of the results for steel meshes quality optimisation regarding analytical research by applying MatLab software and experimental verification of mathematical models. MatLab calculation results related to the practically obtained data and mechanical properties, depending to the amount of strain in cold plastic deformation of steel and variation of chemical composition, were presented. Significant mathematical models obtained, have a large feasibility area, also for other steel types used in the field of drawn wire production practice.

Keywords: Quality optimisation, MatLab approximations, Steel meshes

1. UVOD

Pred proizvođače armaturnih mreža postavljaju se sve veći zahtjevi u pogledu kvaliteta za što je potrebno u industrijskoj praksi pronaći optimalni hemijski sastav i stepen hladne plastične deformacije, a istovremeno postići dobre čvrstoćne i duktilne karakteristike žice namijenjene za armaturne mreže. Za proizvodnju žice obično se koriste čelici sa sadržajem ugljika do 1%, a za najveći udio proizvedene žice koriste su niskougljenični čelici sa udjelom ugljika do 0,1 % [1].

U prvoj fazi proizvodnje bitno je u što većoj mjeri otkloniti greške i odstupanja koja utiču na kvalitet u narednim fazama proizvodnje armaturnih mreža, a to su prvenstveno odstupanja u dimenzijama i obliku valjanog profila, te pukotine prenešene iz konti livenih gredica. Ukoliko ne dođe do zavarivanja pukotina u toku vruće plastične deformacije, pukotine se prenose na toplovaljanu i vučenu žicu [2].

Nakon druge faze, prerade vučenjem, nova orebrena žica je promijenjenog kvaliteta, odnosno tada je to čelik za armiranje betona u kvalitetu B500A po EN 10080 ili drugim standardima. Na mikrostrukturne parametre, a time i na konačna svojstva, tj. na kvalitet čelične žice se može izvršiti ključni uticaj promjenom hemijskog sastava konti livenih gredica, te parametara hladne plastične deformacije prilikom druge faze prerade [3].

Za istraživanje su korišteni podaci o hemijskom sastavu 370 talina prerađenih u toplovaljanu žicu promjera 7 mm i vučenu žicu promjera 6 mm, te o mehaničkim i drugim svojstvima navedene žice kao predstavnika žica manjih promjera. Kao predstavnik žica većeg promjera, uzeta je vučena žica promjera 10 mm dobijena iz 208 talina konstrukcionih i čelika za vučenu žicu. Nakon prikupljanja podataka o hemijskom sastavu talina čelika, mehaničkim svojstvima toplovaljane žice namijenjene za preradu vučenjem, kao i vučene žice namijenjene za izradu armaturnih mreža, od ključne važnosti je matematička obrada dobijenih rezultata pri čemu su se kao nezavisne varijable koristili sadržaji ugljika, mangana i silicija, te stepen hladne plastične deformacije, a za zavisne varijable su uzete veličine dobijene mehanički ispitivanjem žice, odnosno: zatezna čvrstoća, napon tečenja, izduženje, odnos zatezne čvrstoće i napona tečenja. Matematička obrada, pored određivanja statističkih pokazatelja za vrijednosti promjenjivih, podrazumijevala je određivanje aproksimacije funkcije poznate na nekom diskretnom skupu tačaka. Interpolacija podrazumijeva da interpolacijska funkcija prolazi kroz sve zadane tačke, dok aproksimacija dopušta pogreške u određenoj mjeri, a zatim se ploha zaglađuje [4].

Programski paket MATLAB olakšao je regresionu analizu, grafičko trodimenzionalno prikazivanje i utvrđivanje stepena povezanosti između podataka između navedenih nezavisnih i zavisnih varijabli.

2. SVOJSTVA TOPLOVALJANE I VUČENE ŽICE

Cilj istraživanja svojstava toplovaljane i vučene žice, prikazan u ovom radu je, korištenjem MatLab softvera, utvrditi matematički model uticaja variranja hemijskog sastava kontinuirano livenih gredica, zajedno sa stepenom plastične deformacije, na kvalitet, tj. mehanička svojstva vučene žice za armaturne mreže.

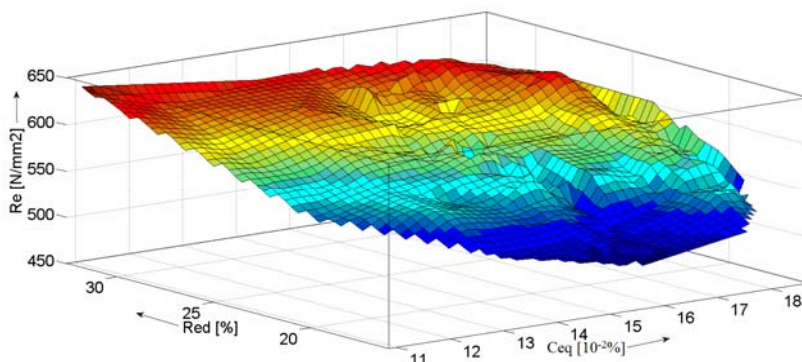
Zbog različitog stepena variranja hemijskog sastava i variranja promjera u okviru tolerancija, analiza, izrada dijagrama i interpretacija rezultata su vršeni posebno za vučenu žicu različitog manjeg promjera (6 mm), a posebno za vučenu žicu većeg promjera (10 mm).

Za dobijanje hladnovučene i orebrene žice promjera 6 mm korištena je toplovaljana žica promjera 7 mm kao polufabrikat. Toplovaljana žica promjera 7 mm urađena je u kvalitetima SAE 1008 po ASTM A 510-96, te C4D po EN 10016-2 i S 235 JR po EN 10025-2 u okviru kojih su propisan: hemijski sastav, mehanička svojstva i minimalno izduženje.

Obradeni su podaci o hemijskom sastavu 370 uzoraka toplovaljane žice promjera 7 mm. pri čemu je zabilježeno slijedeće variranje sadržaja najuticajnijih elemenata: ugljika od 0,04 do 0,09%, mangana od 0,30 do 0,49% i silicija od 0,04 do 0,15%.

Hladnovučena žica promjera 6 mm, korištena za izradu armaturnih mreža Q188 i Q283, dobijena je iz toplovaljane žice 7 mm uz registrovanu redukciju poprečnog presjeka između 12,94 i 48,91%.

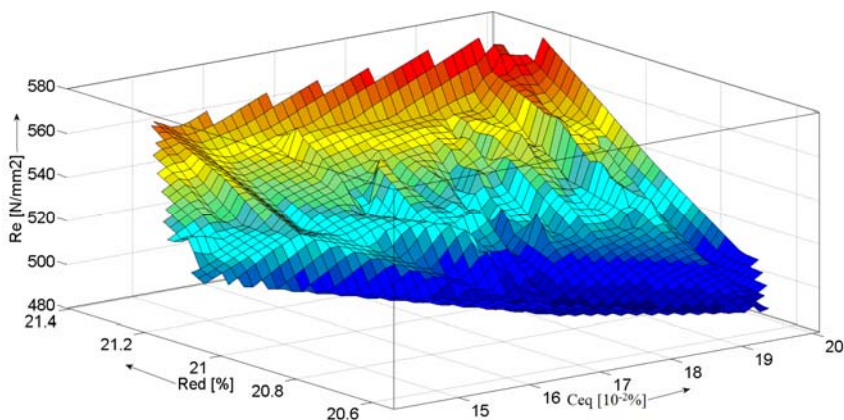
Primjenom MatLab softvera dobijeni su mrežasti površinski grafikoni observiranih praktičnih rezultata za 370 uzoraka vučene žice promjera 6 mm) za granicu tečenja (Re), a u odnosu na ekvivalentni sadržaj ugljika (C_{eq}) i redukciju poprečnog presjeka (Red). Grafički prikaz granice tečenja Re u funkciji C_{eq} i redukcije iz industrijske prakse predstavljen je na slici 1.



Slika 1. Grafički prikaz podataka iz industrijske prakse za (Re) vučene žice $\Phi 6$ mm u ovisnosti od C_{eq} i stepena redukcije [3].

Za proizvodnju vučene i orebrene žice promjera 10 mm korištena je toplovaljana žica promjera 11 mm i 11,3 mm, kvaliteta SAE 1008 i SAE 1010 po ASTM A 510-96, te S 235 JR po EN 10025-2, kao polufabrikat u postupku hladnog vučenja.

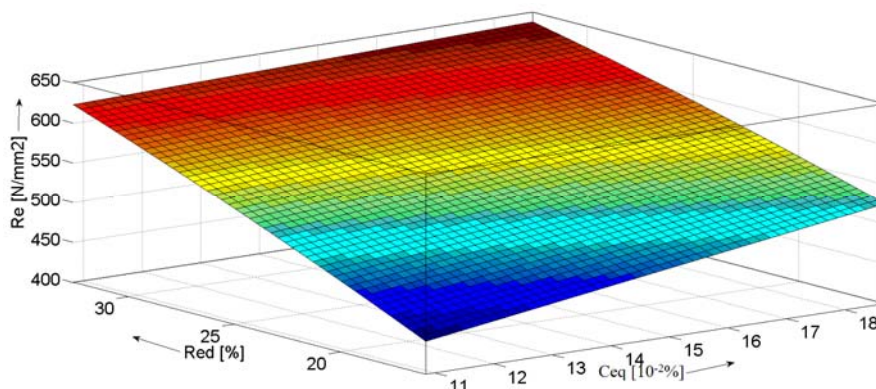
U slučaju analiziranih 208 uzoraka zabilježeno je slijedeće variranje sadržaja najuticajnijih elemenata: ugljika od 0,04 do 0,10%, mangana od 0,38 do 0,45% i silicija od 0,09 do 0,15%. Hladnovučena i orebrana žica promjera 10 mm korištena je za izradu armaturnih mreža Q525 i Q785. Dobijena je iz toplovaljane žice 11 mm i 11,3 mm uz redukciju poprečnog presjeka između 16,56 i 25,4 %. MatLab softver dao je prikaz prikaz (slika 2) praktičnih rezultata za vučenu žicu promjera 10 mm u formi izlomljenog površinskog grafikona pri čemu je kao zavisna promjenljiva prikazana granica tečenja (Re), a C_{eq} i Red su nezavisne promjenjive.



Slika 2. Grafički prikaz podataka iz industrijske prakse za (Re) vučene žice $\Phi 10$ mm u ovisnosti od C_{eq} i stepena redukcije [3].

3. MATLAB ANALIZA REZULTATA

Poređenje rezultata i statistička obrada dali su odgovor o stepenu variranja hemijskog sastava kontinuirano livenih gredica iz konstrukcionih čelika i čelika za vučenje žice i njegovom uticaju na svojstva, tj. kvalitet toplovaljane i vučene žice. Taj odgovor je ključni u kreiranju „čelika po mjeri“ za vučenu žicu za armaturne mreže, uz iznalaženje optimuma između povećane cijene njegove proizvodnje i benefita suženog variranja oko ciljanog hemijskog sastava čelika. Obradom vrijednosti C_{eq} , Red i Re za vučenu žicu promjera 6 mm, uz odabir optimalne varijante regresione analize, dobije se slijedeći dijagram koji prikazuje njihovu međusobnu ovisnost, slika 3.



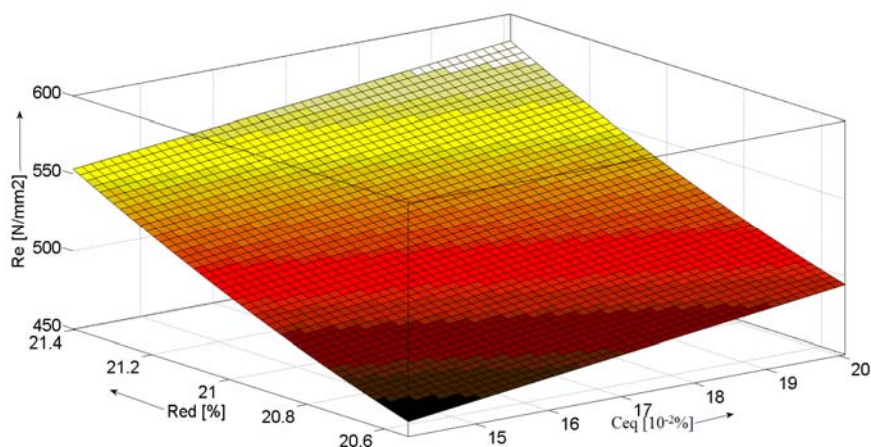
Slika 3. Granica tečenja (Re) vučene žice $\Phi 6$ mm u ovisnosti od C_{eq} i redukcije dobijena MatLab aproksimacijom [3].

Dobijeni matematički model za granicu tečenja (Re) vučene i orebrene žice promjera 6 mm se može izraziti jednačinom:

$$Re = 23,69 + 57,56 \cdot C_{eq} + 20,08 \cdot Red - 0,5234 \cdot C_{eq} \cdot Red - 0,07228 \cdot Red^2$$

Za vučenu žicu promjera 6 mm optimalna vrijednost za C_{eq} je oko 0,12 % za prosječnu Red od 23,5%. Prosječna redukcija se približava gornjoj granici (22-24%) što ukazuje da bi trebalo koristiti toplovaljanu žicu promjera 7 mm u „minus“ toleranciji (do -0,3 mm). Kontinuirano livene gredice proizvedene u čeličani ne bi trebale imati C_{eq} značajno veći od 0,12 %.

Vrijednosti koeficijenta determinacije R^2 i F-test potvrdili su vrlo dobru povezanost nezavisnih i zavisne promjenljive, te je za utvrđivanje matematičkog modela njihove povezanosti za vučenu žicu promjera 6 mm, kao i za vučenu žicu promjera 10 mm moguće korištenje MatLab inženjerskog softvera. Primjenom programskog paketa MatLab, za obradu vrijednosti granice tečenja vučene žice promjera 10 mm dobijena je slijedeća funkcionalna ovisnost: $Re = 27,07 \cdot C_{eq} - 1345 \cdot Red - 1,035 \cdot C_{eq} \cdot Red + 34,99 \cdot Red^2 + 13240$, čiji je trodimenzionalni grafički prikaz predstavljen na slici 4.



Slika 4. Granica tečenja (R_e) vučene žice $\Phi 10$ mm u ovisnosti od C_{eq} i redukcije dobijena MatLab aproksimacijom [3].

U slučaju vučene i orebrene žicu promjera 10 mm optimalna vrijednost za C_{eq} je oko 0,1844 % za prosječnu Red od 21,1%, što odgovara praktičnim uslovima proizvodnje u čeličani, valjaonicama i vučenju u tvornicama građevinske armature. Hemijski sastav čelika bi trebalo držati što bliže navedenoj vrijednosti C_{eq} , te u praksu uvesti selektiranje uzoraka, tj. korištenje talina sa višim C_{eq} za proizvodnju žice većih dimenzija.

4. EKSPERIMENTALNA PROVJERA REZULTATA

4.1. Eksperimentalna provjera matematičkog modela za vučenu žicu promjera 6 mm

Prema dobijenim matematičkim modelima za toplovaljanu žicu 7 mm i vučenu žicu promjera 6 mm $C_{eq}=0,1235\%$. Za eksperimentalnu provjeru prerađene su dvije kontrolne taline pri prosječnoj redukciji poprečnog presjeka za vučenu žicu promjera 6 mm od 23,5%. Dobijene su odgovarajuće čvrstoćne karakteristike, s rezultatima predstavljenim u tabeli 1.

Tabela 1. Rezultati ispitivanja kontrolnih talina za vučenu žicu promjera 6 mm [3].

Kontrolne taline	C [%]	Si [%]	Mn [%]	C_{eq} [%]	Redukcija [%]	R_{eHVZ} [N/mm ²]	R_{mHVZ} [N/mm ²]
1	0,05	0,09	0,30	0,12	25,17	553	583
2	0,05	0,07	0,33	0,12	23,54	529	575

Provjerom u praksi je utvrđeno da matematički model variranja hemijskog sastava zadovoljava jer su dobijene vrijednosti R_e i R_m koje odgovaraju očekivanim, čime je potvrđen matematički model dobijen korištenjem MatLab softvera.

4.2. Eksperimentalna provjera matematičkog modela za vučenu žicu promjera 10 mm

Za utvrđenu prosječnu vrijednost redukcije poprečnog presjeka pri hladnom vučenju od 21,1%, te ciljane vrijednosti $R_e=540$ N/mm² i $R_m=570$ N/mm² izračunata prosječna vrijednost C_{eq} prema predočenim matematičkim modelima iznosi: $C_{eq}=0,1844\%$.

To je eksperimentalno provjereno prerađom tri uzorka optimalnog hemijskog sastava u vučenu žicu promjera 10 mm uz redukciju poprečnog presjeka koja odgovara prosječnoj vrijednosti za cijeli skup od 208 uzoraka vučene žice promjera 10 mm, tabela 2.

Tabela 2. Rezultati ispitivanja kontrolnih talina za vučenu žicu promjera 10 mm [3].

Kontrolne taline	C [%]	Si [%]	Mn [%]	Ceq [%]	Redukcija [%]	Re _{HVŽ} [N/mm ²]	Rm _{HVŽ} [N/mm ²]
1	0,09	0,09	0,43	0,18	21,20	543	583
2	0,08	0,12	0,43	0,18	21,12	529	570
3	0,08	0,15	0,41	0,186	21,26	552	589

Relevantni parametri kontrolnih talina su u korelaciji sa optimalnim vrijednostima dobijenim preko MatLab matematičkih modela.

6. ZAKLJUČCI

- ✓ Matematički model dobijen korištenjem MatLab-a omogućava analizu uticaja hemijskog sastava i stepena redukcije za bilo koji promjer žice.
- ✓ Za vučenu žicu promjera 6 mm, optimalna vrijednost Ceq je vrlo niska, što ukazuje na potrebu izrade čelika sa minimalnim sadržajem legirajućih elemenata (C=0,03-0,04%, Mn=0,3-0,35%, Si=0,04-0,1%) koliko to proces proizvodnje u čeličani dozvoljava, a da se ne ugrozi materijalni izvadak. Isto tako je za potrebe izrade vučene žice manjih dimenzija neophodno insistirati na valjanju u „minus“ toleranciji toplovaljane žice.
- ✓ Za vučene žice većih promjera, kao što je 10 mm, utvrđeno je da treba koristiti čelike sa nešto višim ekvivalentnim sadržajem ugljika (za žicu promjera 10 mm Ceq=0,1913%) pošto je to pogodnost u industrijskoj praksi, a uz variranje hemijskog sastava u što užim granicama, te primjenjivati niže stepene redukcije poprečnog presjeka, od 20 do 21%.
- ✓ Razvijeni matematički modeli imaju za cilj unapređenje kvaliteta polaznog materijala i postizanje veće pouzdanosti u dobijanju čvrstoćnih i duktilnih svojstava gotovih proizvoda od toplovaljane i vučene žice, odnosno armaturnih mreža, što predstavlja i doprinos unapređenju kvaliteta i sigurnosti i u građevinskom sektoru.

7. LITERATURA

- [1] Çetinarslan C. S., Güzey A.: Tensile properties of cold-drawn low-carbon steel wires under different process parameters, Materials and technology 47 (2013) 2, 245 – 252;
- [2] Cao T. S., Vachey C., Montmitonnet T., Bouchard P. O.: Comparison of reduction ability between multi-stage cold drawing and rolling of stainless steel wire – Experimental and numerical investigations of damage, Journal of Materials Processing Technology 217 (2015);
- [3] Žuna Š.: Doprinos istraživanju uticaja variranja hemijskog sastava konti livenih gredica iz konstrukcionih čelika i čelika za vučenje žice na kvalitet toplovaljane i vučene žice, doktorski rad, Univerzitet u Zenici, Fakultet za metalurgiju i materijale, Zenica (2016);
- [4] Grahovac D.: Dvodimenzionalni interpolacijski spline, Osječki matematički list 10 (2010), 59 – 69.