

# Karakterizacija FeCoV legure dobijene tehnologijom brizganja kompozita praha sa rastopljenim vezivom

Borivoje Nedeljković, Nebojša Mitrović, Vladimir Pavlović, Marko Popović, Milentije Luković, Slobodan Djukić, Herbert Danninger

**Apstrakt**— U radu su ispitivani torusni uzorci legure Fe<sub>49</sub>Co<sub>49</sub>V<sub>2</sub> proizvedene PIM tehnologijom, tako što je polazni granulat pripremljen mešanjem FeCoV praha sa niskoviskoznim vezivom. Nakon brizganja sirovi uzorci su najpre tretirani rastvaračem a zatim i termički s istim ciljem odstranjivanja veziva. Konačno, PIM tehnologija je završena visokotemperaturnim sinterovanjem tokom 3,5 sata na temperaturama od 1370 °C do 1460 °C u atmosferi vodonika, kojim se obezbeđuju potrebne magnetne i mehaničke karakteristike. Strukturna, mehanička i magnetna svojstva su ispitivana u zavisnosti od temperature sinterovanja. Magnetni histerzis je analiziran za različite vrednosti pobudnog magnetnog polja. Najbolja kombinacija funkcionalnih svojstava je postignuta kod uzoraka sinterovanih na 1370 °C.

**Cljučne reči**— FeCoV legura, PIM tehnologija, magnetna svojstva, tvrdoća.

## I. UVOD

SAVREMENA istraživanja magnetnih materijala odnose se kako na razvoj novih klasa metalnih legura tako i na nove tehnološke postupke kojima se unapređuju svojstva već poznatih magnetnih sistema. U okviru ovog rada ispitivana su magnetna svojstva legure Fe<sub>49</sub>Co<sub>49</sub>V<sub>2</sub> dobijene postupkom brizganja kompozita praha sa rastopljenim vezivom (PIM tehnologija).

Tehnologija brizganja kompozita praha sa rastopljenim vezivom (Powder Injection Metal – PIM tehnologija) omogućava serijsku proizvodnju keramičkih (CIM) i metalnih (MIM) komponenti kompleksnih geometrijskih oblika, pa je stoga postala pouzdana i izuzetno atraktivna tehnologija početkom ovog veka [1-3]. Magnetne legure na bazi gvoždja i kobalta su poznate po izuzetnoj kombinaciji visokih vrednosti magnetne indukcije zasićenja i Kirijeve temperature. PIM tehnologija je omogućila proizvodnju složenih formi feromagnetnih jezgara na bazi Fe-Co-V

Borivoje Nedeljković – Univerzitet u Kragujevcu, Fakultet tehničkih nauka Čačak, Svetog Save 65, Srbija (e-mail: borivoje.nedeljkovic@ftn.kg.ac.rs.)

Nebojša Mitrović – Univerzitet u Kragujevcu, Fakultet tehničkih nauka Čačak, Svetog Save 65, Srbija (e-mail: nebojsa.mitrovic@ftn.kg.ac.rs.)

Vladimir Pavlović – Univerzitet u Beogradu, Institut tehničkih nauka SANU, Knez Mihailova 35, Srbija (e-mail: vladimir.pavlovic@itn.sanu.ac.rs.)

Marko Popović – Univerzitet u Kragujevcu, Fakultet tehničkih nauka Čačak, Svetog Save 65, Srbija (e-mail: marko.popovic@ftn.kg.ac.rs.)

Milentije Luković – Univerzitet u Kragujevcu, Fakultet tehničkih nauka Čačak, Svetog Save 65, Srbija (e-mail: milentije.lukovic@ftn.kg.ac.rs.)

Slobodan Djukić – Univerzitet u Kragujevcu, Fakultet tehničkih nauka Čačak, Svetog Save 65, Srbija (e-mail: slobodan.djukic@ftn.kg.ac.rs.)

Herbert Danninger – Institute of Chemical Technologies and Analytics, Vienna University of Technology, Vienna, Austria (e-mail: herbert.danninger@tuwien.ac.at)

legura za primenu u visokotemperaturnim radnim sredinama. Ove legure prema svojim magnetnim karakteristikama (koercitivna sila  $H_C$  između 500 A/m i 2000 A/m, magnetna indukcija zasićenja  $B_s$  oko 2 T, relativna magnetna permeabilnost 3000 - 10000) pripadaju klasi granično magnetno-mekih materijala.

U poslednje dve decenije, smeša prahova sa polimernim vezivom je omogućila dobijanje magnetnih jezgara i u kompleksnim geometrijskim oblicima. Za pojedine primene je moguće izbeći postupak naknadnog visokotemperaturnog sinterovanja ali su time generalno mehanička svojstva ugrožena. Međutim, PIM tehnologija brizganja kompozita – praha sa rastopljenim vezivom koja se završava obaveznom visokotemperaturnim sinterovanjem, omogućila je zadovoljenje konstrukcijskih (tj. geometrijskih) zahteva kao i zadovoljenje potrebnih mehaničkih i magnetnih karakteristika Fe-Co-V legura. Silva i dr. [4] su u svojim istraživanjima došli do rezultata da je primenom PIM tehnologije moguće dobiti leguru magneto-meku leguru FeCo bez dodavanja vanadijuma kao elementa koji omogućava vrlo dobra mehanička svojstva i to pri znatno nižoj temperaturi sinterovanja od 980 °C u odnosu na standardne temperature sinterovanja između 1300 °C - 1400 °C. Međutim legure FeCo bez vanadijuma kao elementa koji omogućava vrlo dobra mehanička svojstva se upravo zbog ovoga ne mogu koristiti za mnoge primene gde su visoke vrednosti tvrdoće  $H_V$  neophodne.

Legura Fe<sub>49</sub>Co<sub>49</sub>V<sub>2</sub> se proučava zbog kombinacije dobrih magnetnih karakteristika i poboljšanih mehaničkih i termičkih svojstava u odnosu na druge legure u sistemu Fe-Co-V.

Pored klasične tehnologije dobijanja presovanjem i sinterovanjem, danas se uporedo sa PIM tehnologijom ispituju i tehnologije izrade legure Fe<sub>49</sub>Co<sub>49</sub>V<sub>2</sub> postupkom mehanohemijskog procesiranja, kojima je postignuto formiranje nanostrukturnih prahova sa specifičnim magnetnim svojstvima [5-7], kao i različite kombinacije formiranja kompozita [8-13], radi obezbeđivanja potrebnih svojstava u brojnim primenama.

Pred savremene magnetne materijale najčešće se postavljaju se zahtevi za visokim vrednostima magnetne indukcije zasićenja, permeabilnosti, Kirijeve temperature, tvrdoće, specifične električne i korozione otpornosti, a istovremeno je potrebno obezbediti što niže vrednosti koercitivnosti i magnetnih gubitaka. Jedan od retkih materijala koji zadovoljava napred navedena svojstva je legura Fe<sub>49</sub>Co<sub>49</sub>V<sub>2</sub> pa su u radu ispitivani uzorci ove legure dobijeni PIM tehnologijom, tj. istraživana je korelacija postupka sinterovanja sa njihovim strukturnim i funkcionalnim svojstvima.





