

STRATEGIJA IZBORA METALNIH MATERIJALA

OVERVIEW OF THE MATERIALS – METALS SELECTION PROOCCESS

TATJANA VOLKOV HUSOVIĆ

*Tehnološko-metalurški fakultet, Katedra za metalurško inženjersvo, Beograd,
SCG, tatjana@elab.tmf.bg.ac.yu ili husovic@b92.net*

IZVOD

U okviru ovog rada biće izložen iosnovni koraci strategije izbora metalnih materijala. Biće data relacija izbor materijala i projektovanja. Biće razmatrana strategija izbora materijala za novi proizvod ili tehnologiju, kao i za supstituciju postojećih materijala. U radu će biti razmatrano ponašanje materijala u radnim uslovima, kao i uloga osobina materijala u strategiji izbora materijala. Deo rada biće posvećen standardima i specifikacijama kao veoma važnog dela u strategiji izbora materijala.

Ključne reči: materijali, izbor materijala, metali

ABSTRACT

Oveview of the metal material selection process will be subject of this paper. Interrelationship among design, materials and processing will be presented. Materials selection for a new design as well as materials substitution for an exsisting design will be discussed. Performance characteristics of the basic gropus of materials and their characteristics will be given., as well as the role played by material properties in the selection of materials. Standards and specifications will be also very important part of theproces of selection of materials and will be given in the paper.

Key words: matrials, materials selection, metals

UVOD

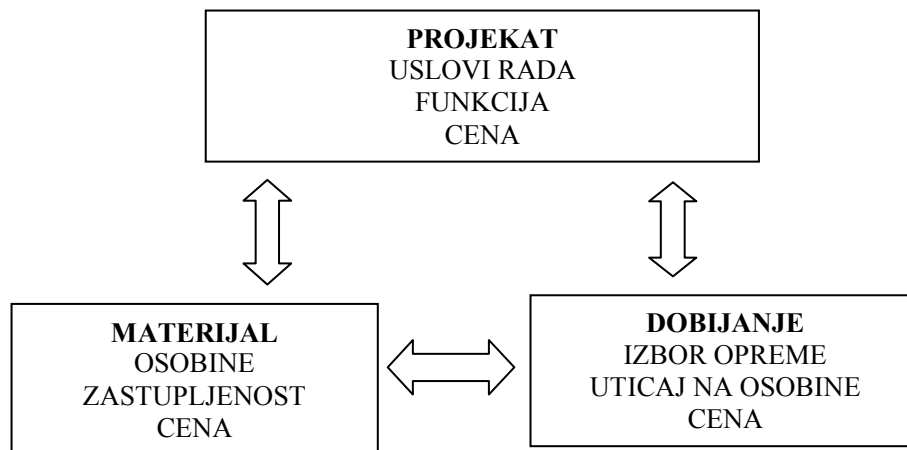
Pravilan izbor materijala predstavlja ključni korak u procesu projektovanja jer od toga zavisi ne samo vek trajanja odredjenog dela uredjaja, već i sam tehnoloski process, kao i konačan proizvod. Razvoj nauke o materijalima, kao polazne teorijske osnove, kao i razvoj novih materijala koji su u komercijalnoj primeni doveo je do naglog povećanja broja konstrukcionih materijala. Pred inženjere se postavlja velika mogućnost izbora materijala u paleti koja može iznositi i preko 100,000 različitih kostrukcionih materijala, koji svi odgovaraju specifičnoj nameni. Ova cifra ipak ne predstavlja prednost, vec se čak može shvatiti i kao nedostatak.. Na sreću, kada se uzmu u obzir tržište, poznati

proizvodjači, relano, u praktičnim uslovima izbor se svodi na informacije o pedeset do osamdeset različitih materijala, zavisno od širine upotrebe.

Strategija izbora materijala je naročito postala značajna u poslednje vreme. Primena konkurentnih inženjerskih metoda i paketa programa dovela je do uključivanja inženjera u mnogo ranije stadijume izbora materijala, jer pravilan izbor materijala u procesu proizvodnje u mnogome odlučuje osobine finalnog proizvoda. Sve veća primena automatizacije procesa proizvodnje je dovela do odnosa da cena materijala predstavlja 50 % a u nekim slučajevima i više od cene finalnog proizvoda. Treba napomenuti da razvoj nauke o materijalima je poremetio do tada važeće principe prilikom izbora materijala, koji se svode na izbor odgovarajuće grupe materiala (metal, polimer, keramika, elastomeri, stakla, kompozitni materijali). Sada je razvoj nauke o materijalima, potvrđen praktičnim proizvodima doveo do približavanja osobina materijala iz različitih grupa, što može biti ponekad i otežavajući factor, koji proširuje broj materijala koji zadovoljavaju određene uslove, a koji potiču iz različitih grupa materijala.

RELACIJA IZBOR MATERIJALA - PROJEKTOVANJE

Neodgovarajući materijal može dovesti ne samo do oštećenja pojedinih delova, već i do povišenja troškova proizvodnje. Izbor optimalnog materijala za specifičnu namenu uključuje više od izbora materijala koji poseduje osobine koje garantuju određeno ponašanje u radnim uslovima. Ovaj koncept je ilustrovan na slici 1.



Slika 1. Relacija izmedju projektovanja materijala i procesa (tehnologije)

Figure 1. Interrelationship among design, materials and processing

Optimalno izabran materijal treba, takodje, da bude usko povezan sa procesiranjem materijala do finalnog oblika. Loše odabran materijal može opteretiti cenu finalnog proizvoda kroz povećanje cene proizvodnje određenog dela. Takodje, osobine materijala mogu biti izmenjene procesiranjem (poboljša-

njem ili pogoršanjem tehnološkog postupka dobijanja), i mogu uticati na ponašanje dela u radnim uslovima.

Sa izuzetno velikim brojem kombinacija materijala i izbora procesa, zadatak se može obaviti samo ukoliko se uvede uprošćavanje i sistematizacija. Ilustrovano šematski, ovo bi moglo da se predstavi na slici 2. Na ovom šematskom prikazu predstavljene su metode projektovanja, kao i alat koji se koristi za svaki pojedinačni stadijum izbora materijala i odgovarajućeg procesa-tehnologije. (projektovanja).

Na nivou koncepta projektovanja, mogu se uopšteno uključiti svi materijali i procesi na raspolaganju. Odluku koja je potrebna za odabir vrste materijala (metal, plastika, keramika, drvo, kompozitni materijal) se može doneti na ovom stupnju. Preciznost dobijenih podataka za ovaj slučaj, je naravno, veoma mala. Ukoliko se nastavi sa izborim, to mora biti konceptualni izbor, jer kasnije u ostalim stadijumima izbora, nije moguće praviti izmene koje su suviše radikalne.

ZAHTEVI TRŽIŠTA

ALAT ZA PROJEKTOVANJE		METODE PROJEKTOVANJA				IZBOR MATERIJALA		IZBOR PROCESA
SINETIZOVANJE FUNKCIJA	↔	POTVRDA ZADATKA	⇒	KONCEPT	⇐	SVI MATERIJALI mala preciznost	↔	SVI PROCESI
MODELOVANJE FUNKCIJA		RAZVIJANJE STRUKTURE FUNKCIJA						
TRODIMENZIONO MODELOVANJE	↔	RAZVOJ LAYOUTA	⇒	DETALJI	⇐	IZBOR KLASE MATERIJALA Viši nivo preciznosti	↔	SET PROCESA
SIMULACIJA								
METODE OPTIMIZACIJE	↔	OPTIMIZACIJA OBLIKA						
METODA KONAČNIH ELEMENTA		OPTIMIZACIJA OPREME	⇒	DETALJNI PLAN	⇐	JEDAN MATERIJAL	↔	JEDAN PROCES
PROJEKTOVANJE								

PROIZVOD

Slika 2. Shematski prikaz puta od zahteva tržišta do konačnog proizvoda
Figure 2. Schematic of the design process from market need to the final product

Konfiguracijski stupanj je potreban da bi se odredio oblik i približna veličina dela koji se bira koristeći inženjersku metodologiju analize. Sada je potrebno odlučiti se za optimalnu klasu materijala i procesa. Primer bi mogao biti lepeza legura na bazi aluminijuma. U okviru ovog stupnja moraju se detaljno poznavati osobine materijala.

U parametarskom ili detaljnom stupnju izbora materijala izbor se sužava na jedan materijal i na samo nekoliko postupaka njegovog dobijanja. U ovom stupnju su od važnosti kritične tolerancije, optimizacija grubog projektovanja, kao i izbor tehnološkog procesa koji optimalno odgovara kvalitetetu inženjerskog zahteva i ekonomskoj ceni. Ukoliko se razmatra detaljnija strategija izbora metalnih materijala, tada se može koristiti i pristup koji uključuje četiri nivoa odlučivanja:

Nivo I – bazira se na kritičnim veličinama, određuje da li će deo biti izradjen od metala, plastike, keramike, ili kompozita.

Nivo II – određuje kojim procesom će biti proizveden metalni deo, procesima plastične deformacije ili livenja. Kod izbora plastičnog materijala postupak se nešto razlikuje.

Nivo III – Odabrani metalni materijal se može klasifikovati u subkategorije, kao što je na primer niskougljenični čelik, čelik, ili legura bakra.

Nivo IV – Izbor optimalnog materijala koji odgovara specifičnoj nameni.

STRATEGIJA IZBORA MATERIJALA

Strategija izbora materijala najčešće uključuje jednu od dve situacije:

- izbor materijala i tehnologije radi dobijanja novog proizvoda ili načina projektovanja,
- razmatranje alternativnih materijala ili postupaka proizvodnje za postojeće materijale i postupke. Ovakav način razmatranja najčešće se odnosi na slučajeve kada je potrebno smanjiti cenu, povećati produktivnost, ili poboljšati proizvod ili tehnologiju. Nije moguće postići zamenu jednog materijala drugim bez detaljne analize svih parametara vezanih za tehnologiju. Drugim rečima prosta izmena postojećeg materijala novim bez promena u tehnologiji teško da dovodi do optimalnog korišćenja procesa ili optimalnog dobijanja konačnog proizvoda.

Strategija izbora materijala za novi proizvod ili tehnologiju

Prilikom izbora materijala za novi proizvod, moraju se razmotriti sledeći koraci:

1. Definisane funkcije koje se očekuju od projekta. Translacija očekivanja na osobine materijala kao što su čvrstoća, otpornost na koroziju, kao i ekonomski pokazatelji kao što su cena i dostupnost materijala.
2. Definisane parametara koji su potrebni za tehnologiju, kao što je: broj komada koji je potrebno proizvesti, veličina i kompleksnost dela koji se proizvodi, zahtevana tolerancija mera, naknadna površinska obrada, nivo zahtevanog kvaliteta i drugo.

3. Poredjene zahtevanih osobina i parametara sa širokim spektrom osobina materijala u bazama podataka (što je najlakše učiniti koristeći baze podataka o osobinama materijala) da bi se došlo do izbora od nekoliko materijala koji se mogu primeniti. Da bi se olakšao ovaj korak, korisno je odabrati nekoliko najvažnijih osobina materijala. Ove osobine materijala, može biti bilo koja za koje je moguće odrediti apsolutnu vrednost bilo minimalnu, bilo maksimalnu. Ispod odnosno iznad izabranog nivoa vrednosti nije moguće vršiti izbor materijala.
4. Detaljno proučavanje odabranih potencijalnih materijala koji odgovaraju nameni. Naročito je značajno proučiti ponašanje u radnim uslovima, cena, mogućnost izrade, kao i dostupnost u količini i veličini koja se zahteva za primenu. U ovoj fazi je značana provera osobina materijala postupcima ispitivanja osobina materijala, kao i svih ostalih potrebnih ispitivanja.
5. Razvijanje projektovanja podataka ili specifikacije podataka. Korak 4. rezultuje izborom jednog materijala za projektovanje tehnološkog dela. U većini slučajeva ovo rezultira u iznalaženju minimuma osobina materijala koje su definisane za materijal preko standardnih metoda ispitivanja (JUS, ASTM, DIN, i drugo).

Strategija izbora materijala za postojeće tehnologije

Prilikom izbora materijala za slučaj kada se oni koriste za postojeće tehnološke postupke, morali bi se razmotriti sledeći koraci:

1. Karakteristike materijala koji se trenutno koristi, u smislu performansi, zateva tehnološkog postupka i cene.
2. Odredjivanje koja osobine materijala se mora značajno poboljšati da bi se ostvarilo poboljšanje proizvodnje. Vrlo često analiza oštećenja i veka trajanja materijala ima kritičnu ulogu u ovom koraku.
3. Traganje za alternativnim materijalima i/ili tehnološkim postupcima. Korišćenje ideje skeniranja iz prethodnog primera zbog svojih prednosti.
4. Sastavljanje kratke liste materijala i postupaka da bi se na osnovu toga proračunala i predidela cena proizvoda.
5. Analiza dobijenih rezultata na osnovu koraka 4, i davanje preporuke za zamenu postojećeg materijala drugim. Definisanje kritičnih osobina sa detaljnim opisom postupaka ispitivanja, u skladu sa prethodnim korakom.

Prilikom izbora materijala u kombinaciji materijal - proces moguća su dva pristupa rešavanja problema. Ukoliko se odluči za model u kome dominantan uticaj ima materijal, tada inženjer počine svoj zadatak sa izborom klase materijala. Tada se pristupa analizi ponašanja odabranih materijala u okviru tehnološkog postupka za koji ne namenjen, tj. u radnim uslovima. Najvažniji faktori koje treba uzeti u obzir prilikom razmatranja su kapacitet u kome je

potrebno proizvoditi razmatrani proizvod, kao i njegova veličina, oblik, i složenost izgleda.

Ukoliko se odluči za drugi pristup gde je dominantni uticaj tehnološkog procesa, tada projektant počine izborom procesa, rukovodjen istim faktorima. Posle izbora procesa materijali koji se uklapaju u process se analiziraju simulacijom ponašanja u radnim uslovima, pri čemu se projektant opet rukovodi istim faktorima, kao i u prethodnom slučaju. Oba pristupa imaju zajednički cilj i krajnju tačku. Inženjeri koji kao prethodno obrazovanje imaju hemijsko ili metalurško inženjerstvo su skloni da se odluče za prvi način izbora materijala, dok su mašinski inženjeri ili inženjeri koji su više vezani za pogon skloni izboru drugog načina strategije izbora materijala. U literaturi ili praksi nije moguće naći podatke ili posebne studije koje su se bavile ovom temom, a koji bi ukazalinala to koji pristup daje bolje rezultate.

PONAŠANJE MATERIJALA U RADNIM USLOVIMA

Ponašanje materijala u radnim uslovima, ili njihove funkcionalne osobine su određene njihovim fizičkim, mehaničkim, termičkim, magnetnim i optičkim osobinama. Osobine materijala predstavljaju vezu između njihove osnovne strukture i sastava i ponašanja u radnim uslovima. Cilj nauke o materijalima je da naučimo kako da kontrolišemo različite nivoe strukture materijala (elektronsku strukturu, defekte u strukturi, mikrostruktura, makrostruktura) tako da se bude u mogućnosti predviđanja i poboljšanja osobina materijala. Ovo je shematski prikazano na slici 3.

STRUKTURA				RADNI USLOVI
ATOMSKA VEZA				NAPREZANJE
KRISTALNA STRUKTURA				KOROZIJA
	NAUKA O		INŽENJERSTVO	
STRUKTURA DEFEKATA	→	OSOBINE MATERIJALA	→	TEMPERATURA
	MATERIJALIMA			
MIKROSTRUKTURA			MATERIJALA	RADIJACIJA
MAKROSTRUKTURA				VIBRACIJE

Slika 3. Uloga osobina materijala u strategiji izbora materijala

Figure 3. The role played by material properties in the selection of materials

Do nedavno su metalni materijali bili dominantni pri izboru za različite konstrukcione namene. Danas je razvoj materijala doveo do pojave novih materijala čije osobine odgovaraju veoma širokom intervalu namene i čiji se broj povećava iz dana u dan. Danas broj materijala koji je na raspolaganju projek-

tantima veoma veliki i raznolik i povećava se svakodnevno. Ova pojava rezutira pojavom familije materijala sa mogućnostima primene u raznim oblastima, sličnim po osobinama materijala, a vrlo različitih po sastavu i vrsti. Pojava novih i poboljšanih materijala stimulatívno deluje na iznalaženje novih i poboljšavanje postojećih postupaka u proizvodnji. Ovo je ilustrovano tabelom 1 koja daje osobine materijala za tri različite grupe materijala, metale, keramiku i polimere.

Tabela 1 - Poredjenje nekih od osnovnih osobina materijala za metale, keramiku i polimere

Table 1 - General comparison of properties of metals, ceramics and polymers

Osobina	METALI	KERAMIKA	POLIMERI
Gustina, g/cm ³	2-22	2-19	1 do 2
Tačka topljenja	30 (Ga)-3430°C (W)	Visoka do 4000 °C	Niska
Tvrdoća	Srednja	Visoka	Niska
Mašinska obradivost	Dobra	Loša	Dobra
Zatezna čvrstoća, MPa	Do 2500	Do 400	Do 140
Pritisna čvrstoća, MPa	Do 2500	Do 5000	Do 350
Jungov modul elastičnosti, GPa	15-400	150-450	Od 0.001 do 10
Krip	Loše do dobro	Odličan	-
Termičko širenje	Srednje do visoko	Nisko do srednje	Veoma visoko
Konduktivnost	Srednje do visoko	Srednje, ali opadajuće sa temperturom	Veoma nisko
Otpornost na termošok	Dobro	Loše	
Električne osobine	Provodnici	Izolatori	Izolatori
Hemijska otpornost	Niska do srednje	Odlična	Dobra
Otpornost na oksidaciju	Najčešće loša	Odlično, SiC, Si ₃ N ₄ dobro	

U tabeli 2. nalazi se lista osobina materijala koja može biti potrebna pri izboru materijala. Detaljni pregled osnovnih pojmova vezanih za odnos struktura-osobine konstrukcionih materijala, kao i uzimanje u obzir uticaja efekata sastava, načina dobijanja i strukture na osobine čelika, legura obojenih metala, keramiku, staklo, plastične materijale i kompozite, koji se mogu naći u priručnicima koje koriste inženjeri prilikom izbora materijala.

Važna uloga inženjera koji se bavi naukom o materijalima je da pri projektovanju pomogne i usmeri istraživanja u oblast iznalaženja veze i povezanosti osobina materijala i ponašanja u radnim uslovima, za koje se materijal projektuje. Za većinu mehaničkih sistema, radni uslovi su ograničeni, ne samo jednom osobinom materijala, već kombinacijom osobina materijala koju je potrebno

poznovati. Jedan od primera je materijal koji ima najbolju otpornost na nagle promene temperature – termošok, je materijal koji poseduje najbolju kombinaciju osobina, koja se može izraziti odnosom:

$$\sigma_f/E\alpha \quad (1)$$

pri čemu je σ_f - naprezanje pri lomu, E – Jungov modul elastičnosti a α - linearni koeficijent termičkog širenja. U literaturi se mogu naći primeri načina kako grupisati osobine materijala u novi parametar, da bi se analizom takvog parametra (bilo traženjem minimalne ili maksimalne vrednosti i povezivanjem sa uslovima rada) i preporuke kako koristiti tako odabrane parametre u kombinaciji sa bazama podata za izbor materijala.

Tablela 2 - Osnovne osobine materijala

Table 2 - Material performance characteristics

Fizičke osobine	Mehaničke osobine	Termičke osobine	Električne osobine	Hemijske osobine	Proizvodne osobine	Nuklearne osobine
Kristalana struktura	Tvrdoća	Konduktivnost	Konduktivnost	Mesto u nizu	Zavarljivost	Vreme poluraspada
Gustina	Modul elastičnosti	Specifična toplota	Dielektrična konstanta	Korozija i degradacija	Mogućnost livenja	Stabilnost
Temperatura topljenja	Poasonov odnos	Koeficijent termičkog širenja	Koercitivna sila	Oksidacija	Sposobnost oblikovanja palstičnom deformacijom	
Viskozitet	Naprezanje	Emisivnost	Histerezis	Termička stabilnost	Mogućnost mašinske obrade	
Permeabilnost	Čvrstoća	Otpornost na požar		Biološka stabilnost		
Optičke osobine	Žilavost loma			Naponska korozija		
Dimenziona stabilnost	Krip-puzanje					

STANDARDI I SPECIFIKACIJE

Osobine materijala su obično definisane preko odgovarajućih standarda i specifikacija. Razlika između ova dva pojma je da su standardi namenjeni za upotrebu za različite, dovoljne velike dimenzije uzoraka (ASTM, ANSI) dok su specifikacije sa sličnim tehničkim sadržajem, ali se odnose na neku određenu grupu, recimo preduzeće. Postoje dve grupe standarda i specifikacija: za procese i za proizvode. Standardi koji se odnose na procese predstavljaju osnovna funkcionalna rešenja i zahteve za proizvod i daju osnovne parametre na osnovu kojih je moguće izvršiti projektovanje. Standardi koji se odnose na proizvode sadrže uslove pod kojima su ti proizvodi proizvedeni. Standardi za materijale su nepromenljive karakteristike za proizvod. Oni uključuju karakteristike proizvodnje, faktore kvaliteta, metode merenja, tolerancije i dimenzije.

RELACIJA STRATEGIJA IZBORA MATERIJALA-PROIZVODNJA

Izbor materijala mora biti tesno povezan sa izborom tehnološkog procesa. Ovo nije lak zadatak, jer postoje mnogi procesi koji se mogu iskoristiti za proizvodnju istog dela. Cilj je odabrati materijal i process na takav način da je potignut maksimalni kvalitet i minimalna cena. Na slici 4. je predstavljena šema klasa procesa.

SIROVINA

LIVENJE	TOPLJENJE	PROCESI DEFORMACIJE Valjanje Presovanje Kovanje Izvlačenje	METALURGIJA PRAHA Sinterovanje -hladno -toplo -vruće izostatko presovanje	SPECIJALNE METODE CVD postupci Elektrohemijski postupci
↓	↓	↓	↓	↓
		UKLANJANJE MATERIJALA Struganje, bušenje, drobljenje, brušenje		
		↓		
		TERMIČKA OBRADA Kaljenje i temperovanje čelika, starenje legura obojenih metala		
		↓		
		SPAJANJE Zavarivanje,lepljenje, athezivno spajanje,		
		↓		
		ZAVRŠNA OBRADA Čišćenje, poliranje, bojenje		

Slika 4. Klase procesa i medjusobna povezanost

Figure 4. The classes of manufacturing processes and their relationship

Prvi red na slici 4. se odnosi na postupke primarnog oblikovanja. Proces i po vertikali pripadaju sekundarnom oblikovanju i procesima završne obrade. U veoma širokom smislu, strategija izbora materijala predstavlja određivanje procesa koji se mogu koristiti da bi se dobio konačan proizvod. Na slici 4. su predstavljeni procesi koji se najčešće koriste. Tačka topljenja metala i opšti nivo otpornosti na deformaciju (tvrdoća) kao duktilnost određuju te reakcije. Sledeći aspekt koji je potrebno uzeti u obzir je minimalna i maksimalna veličina proizvoda, odnosno dela koji se proizvodi, koja se najčešće izražava preko zapremine, površine ili težine. Maksimalna veličina je najčešće određena veličinom opreme

koja je na raspolaganju. Sledeće šta treba uzeti u obzir je oblik. Primarni proces se bira tako da omogući dobijanje proizvoda čije su dimenzije najpribližnije konačnom proizvodu. To vodi oslobađanju proizvoda cene sekundarne obrade, i snižava cenu konačnog proizvoda. Ponekada je važan i oblik početnog materijala, što je takodje potrebno uzeti u obzir.

ZAKLJUČAK

U ovom radu je pokušano da se skrene pažnja na mogućnosti koje imamo na raspolaganju prilikom strategije izbora metalnih materijala. Date su osnovne mogućnosti na osnovu kojih je moguće izvršiti izbor materijala ili procesa. Strategija izbora je podeljena u dva pravca, na novi proizvod ili proces i na mogućnosti poboljšavanja postojećeg materijala ili procesa. Date su osnovni koraci strategije koji olakšavaju put od zadatka do njegove realizacije. Korišćenje šema i šematskih prokaza znatno olakšavaju razmevanje i pravilan izbor postupaka koji se mogu promeniti da bi se proizveo konačan proizvod.

Lista korišćenje literature takodje može predstavljati svojevrsnu bazu podataka koja se može koristiti pri strategiji izbora materijala.

LITERATURA

- [1] M. F. Ashby, Materials, Bicycles and Design, Metall.Mater.Trans . A, Vol 26, Dec 1955 , 3057-3064
- [2] M. F. Ashby, Materials Selection in Mechanical Design Pergamon Press, 1992.
- [3] J. R. Richardson and D. Poli, Engineering Design and design for Manufacturing, Field Stone Publishers, 1992.
- [4] V. John Introduction to Engineering Materials, 3 rd Edition, Industrial Press, 1992, G. Boothrou, P. Dewhurst, W. Knight, Product Design for Manufacture and Assembly, Marcel Dekker, Inc, 1994.
- [5] J. A. Shey, Introduction to Manufacturing process, McGraw-Hill Book Co, 1987.
- [6] E. B. Magrab, Integrated Product and Process Design and Development, CRC Press Inc. 1987.
- [7] H. E. Trucks, Designing for Economical Productionm 2nd ed. Society of Manufacturing Engineers, 1987.
- [8] M. M. Farang, Selection of Materials and Manufacturing Processes for Engineering Design, Prentice Hall. 1989.
- [9] G. W. Meetham, M. H. van der Voorde, Materials for High Temperature Applications, Springer, Verlag Berlin Heidelberg 2000, ISBN3-540-66861-6
- [10] M. Bengisu, Engineering Ceramics, Springer, Verlag Berlin Heidelberg New York, 2001
- [11] D. Muntz, T. Fett, Ceramics' Mechanical properties, Failure Behavior, Materials Selection, Springer, Verlag Berlin Heidelberg 1999
- [12] T. Volkov-Husović, Ispitivanja vatrostalnih materijala, TMF, Beograd, 2004. str 110, ISBN86-7401-188-8