

**PROJEKTOVANJE TEHNOLOGIJE POSTUPKA I UREĐAJA TERMOHEMIJSKE OBRADJE ZUPČANIKA****DESIGN OF PROCESS TECHNOLOGY AND GEAR THERMOCHEMICAL PROCESSING DEVICES**Aleksandar Saša Lukić, Branko Škorić, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad***Oblast – MAŠINSTVO**

**Kratak sadržaj** – Tema rada jeste projektovanje tehnološkog postupka i uređaja termohemijske obrade zupčanika. Odabran je tip termohemijske obrade, konstruisan uređaj i pogon za termičku obradu. Cilj rada jeste da se analiziraju postupci termohemijske obrade, da se odabere proces i oprema za pogon termičke obrade.

**Ključne reči:** Termohemijska obrada, uređaji za termičku obradu, cementacija, zupčanik, pogon

**Abstract** – The topic of the paper is the design of technological process and devices of thermochemical gearing. The type of thermochemical treatment, the controlled device and the heat treatment plant were selected. The aim of this paper is to analyze the processes of thermochemical treatment, to choose the process and equipment for the operation of thermal treatments.

**Keywords:** Thermochemical treatment, heat treatment devices, cementation, gear, treatment plant

**1. UVOD**

Projektovanje uređaja i pogona za termohemijsku obradu počinje detaljnom analizom postupaka i proizvodnog pogona. Određuju se parametri procesa, koji se sastoje od: vremena zagrevanja, zadržavanja na određenim temperaturama, hlađenja i određivanja radnih temperatura.

Izabrana termohemijska obrada jeste cementacija u gasovitom sredstvu. Konstruisana je peć za termičku obradu koja je komornog tipa i u kojoj se nalazi zaštitna atmosfera. Za navedenu peć urađena je detaljna analiza gubitaka energije i snage.

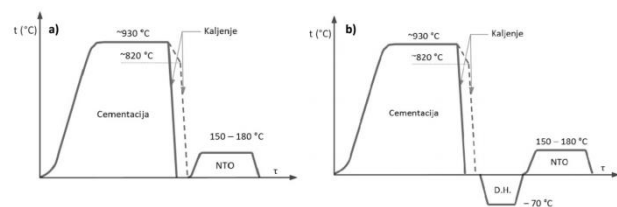
**2. TERMOHEMIJSKA OBRADA ČELIKA**

Termohemijskom obradom čelika naziva se termička obrada koja se izvodi kao kombinacija termičkog i hemijskog dejstva sa ciljem da se izmeni sastav, struktura i svojstva površinskog sloja. Ovom obradom nastaju strukturne promene, ali i promene hemijskog sastava površinskog sloja putem apsorpcije i difuzije elemenata. Termohemijske obrade se izvode zagrevanjem delova do određenih temperatura u čvrstoj, tečnoj ili gasovitoj sredini, pri čemu dolazi do obogaćivanja površinskog

sloja elementima kao što su C, N, Al, Si, Cr, B i drugi, putem difuzije njihovih atoma iz spoljne sredine [1].

**2.1. Cementacija**

Cementacija je postupak termohemijske obrade kojim se naugljeničava površina slojeva čeličnih radnih predmeta. Cilj cementacije je dobijanje žilavog jezgra otpornog na udare i tvrde površine otporne na habanje. Visoka tvrdoća se postiže kada se nakon cementacije izvrši i kaljenje, ne postiže se samo cemenacijom. Tvrdoća najviše zavisi od sadržaja ugljenika, pa se potrebna količina ugljenika u površinskom sloju određuje na osnovu propisane tvrdoće. Tvrdoća površinskog sloja nakon cementacije iznosi od 55 do 65 HRC. Posle procesa cementacije je potrebno izvršiti dodatnu termičku obradu, a vrsta te termičke obrade zavisi od željenih osobina delova ili njihove primene [1].



Slika 1. Dijagram obrade cementacijom [2]

Nosilac ugljenika u procesu cementacije može biti tečan, čvrst i gasovit. Prema nosiocu ugljenika razlikuju se tri vrste cementacije:

1. Cementacija u tečnom sredstvu
2. Cementacija u čvrstom sredstvu
3. Cementacija u gasovitom sredstvu

Atmosfera koje se koriste za naugljeničenje mogu se podijeliti na: zemni gas, endogeni generatorski gas (endogas), egzogeni generatorski gas (egzogas), gas aktiviran nekim tečnim sredstvom [1].

**2.2. Nitiranje**

Nitiranje je proces termohemijske obrade kojim se u površinski sloj čelika ili odlivaka od sivog liva uvodi azot. Obrada se sastoji iz zagrevanja delova na temperaturu od 500 do 600°C u sredstvu koje otpušta azot. Nitirani delovi koji su izrađeni od odgovarajućeg čelika, odlikuju se veoma visokom tvrdoćom (značajno

**NAPOMENA:**

**Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Branko Škorić, red.prof.**

veća nego kod najveća kod martenzita) i velikom otpornošću na habanje. Tvrdoća nitriranog sloja je postojana i na višim temperaturama (500 do 550°C). Pre nitriranja je potrebno definitivno odraditi delove jer kasnija mehanička obrada je veoma teška.

U nekim slučajevima nije moguće ni brušenje nitriranih površina. Nakon nitriranja dolazi do porasta debljine komada za 0,01 mm do 0,07 mm [1][3].

### 2.3. Karbonitriranje

Karbonitriranje je hemijsko-termički proces kojim se u površinski sloj istovremeno uvode ugljenik i azot. Sam naziv karbonitriranje ne govori o kom procesu je reč, pa mu se mora dodati i još jedan podatak o tome da li je [1]:

- pretežno obavljena cementacija ili nitriranje
- komad kaljen posle hemijsko-termičke obrade ili nije
- postupak obavljen na čeliku za cementaciju, nitriranje ili nekom drugom

### 2.4 Sulfidiranje i sulfocijaniranje

Sulfidiranje i sulfocijaniranje su procesi obrade kojima se u površinski sloj čelika unosi sumpor. Kod sulfidiranja se obavlja uvođenje samo sumpora u površinski sloj čelika, a kod sulfocijaniranja se sloj obogaćuje sumporom, ali i azotom i ugljenikom.

Sulfidiranje povećava klizne osobine površinskog sloja, naročito u slučaju slabog podmazivanja, ali ne menja mehaničke osobine površinskog sloja. Dubina sloja je 0,1 mm, ali može biti i 0,2 do 0,3 mm. Sulfocijanirano sloj ima kombinaciju povoljnih osobina, kao što su dobra otpornost na habanje, uvećanu kontaktnu čvrstoću, uvećanu dinamičku čvrstoću, dobru prilagodljivost površina u trenju [1].

### 2.5. Boriranje

Boriranje je termohemijski proces obogaćivanja površine delova borom. Proces se vrši hemijskom pozicijom isparenja pri visokim temperaturama na kojima atomi difunduju u osnovu metala.

Uvođenjem bora u površinu čelika nastaju boridi gvožđa visoke tvrdoće. Borirani delovi se odlikuju veoma visokom tvrdoćom, otpornošću na habanje, abrazivnom i korozionom postojanošću, kao i vatrostalnošću [4].

### 2.6. Hromiranje

Hromiranje je postupak termohemijske obrade kojim se u površinu delova unosi hrom. Postupak se još naziva inhromiranje ili difuziono hromiranje. Ovaj postupak se primenjuje u parnoj tehnici za rad na povišenim temperaturama u dodiru sa vodom, parom ili produktima sagorevanja.

Razlog primene u ovim uslovima je što hromirani delovi poseduju osobine hemijske postojanosti u određenim sredinama i pod određenim uslovima, povećana tvrdoća koja daje i otpornost na habanje [1].

### 2.7. Alitriranje

Alitriranje je termohemijski proces difuzionog obogaćivanja površinskog sloja aluminijumom. Ovaj proces se

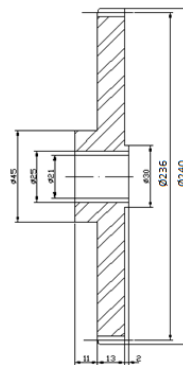
najviše koristi kod niskougljeničnih čelika i livenog gvožđa (najčešće sivi liv). Površina koja je podvrgnuta procesu alitriranja se odlikuje hemijskom postojanošću i vatrostalnošću.

Ove osobine su posledica pasiviziranja površine komada čvrstim i hemijski postojanim oksidom aluminijuma ( $Al_2O_3$ ). Takođe, alitirani sloj ima dobru otpornost na koroziju u morskoj vodi [3].

### 2.8. Siliciranje

Siliciranje je termohemijski proces difuzionog obogaćivanja površinskog sloja čelika silicijumom zagrevanjem u odgovarajućoj sredini. Primenjuje se za poboljšavanje hemijske postojanosti delova od konstrukcionih čelika. Osnovna karakteristika siliciranog sloja je hemijska postojanost u morskoj vodi (tj. slanoj vodi) i blažim rastvorima sone, fosforne, sirćetne i sumporne kiseline [1].

## 3. PRORAČUN ZUPČANIK ZA CEMENTACIJU



Slika 2. Zupčanik za cementaciju

Grube dimenzije komada su  $\varnothing 240 \times 25$  mm. Usvojen je materijal Č4320 koji je pogodan za cementaciju i ujedno odgovara za izradu zupčanika.

### 3.1. Određivanje vremena predgrevanja (500°C)

Vreme zagrevanja

$$\tau_z = F_o^p \cdot \frac{x^2}{a} = 65 \cdot \frac{0,0125^2}{8,38 \cdot 10^{-6}} = 4196 \text{ s} = 69 \text{ min}$$

Gde je:

$$F_o^p = \frac{a \cdot \tau_z}{x^2} = 225 - \text{Furijev kriterijum}$$

Vreme zadržavanja na temperaturi predgrevanja je 30 min.

### 3.2. Određivanje vremena do temperature cementacije (930°C)

Vreme zagrevanja

$$\tau_z = F_o^p \cdot \frac{x^2}{a} = 80 \cdot \frac{0,0125^2}{5,73 \cdot 10^{-6}} = 2181,5 \text{ s} = 37 \text{ min}$$

Gde je:

$$F_o^p = \frac{a \cdot \tau_z}{x^2} = 80 - \text{Furijev kriterijum}$$

### 3.3. Vreme zadržavanja na temperaturi cementacije

Prema preporukama, koje se zasnivaju na iskustvima iz prakse, vreme zagrevanja na temperaturi cementacije, koja iznosi 930°C, treba da bude oko 130 minuta. Zagrevanjem i zadržavanjem u ovim uslovima, dobijaju se dubine cementiranog sloja od 0,4 do 0,6 milimetara.

### 3.4. Kaljenje na temperaturi od 860°C

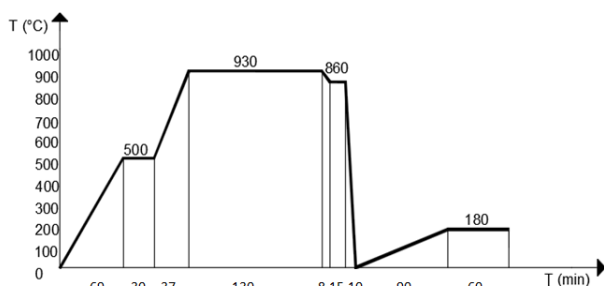
Nakon obrade od 130 minuta na temperaturi od 930°C, vrši se hlađenje zupčanika u peći. Zupčanici se hlade do temperature od 860°C, kada sledi postupak kaljenja.

Predviđeno vreme za hlađenje sa 930°C na 860°C je oko 8 minuta. Vreme zadržavanja na temperaturi od 860°C je 15 minuta, nakon čega sledi hlađenje zupčanika u ulju. Za hlađenje u ulju se predviđa vreme od 10 minuta.

### 3.5. Određivanje vremena zagrevanja do temperature otpuštanja

Otpuštanjem treba da se dobije tvrdoća zupčanika od 60 HRC. Da bi se tražena tvrdoća dobila, radni predmet je potrebno otpušitati na temperaturu od 180°C.

Na osnovu iskustva ćemo usvojiti vreme zadržavanja na temperaturi otpuštanja od 60 minuta, a vreme zagrevanja do te temperature 90 minuta.



Slika 3. Dijagram toka termičke obrade

## 4. IZBOR OPREME ZA POGON TERMIČKE OBRADNE

Tabela 1. Pregled potrebne opreme

Redni broj	Naziv opreme	Proizvođač	Broj komada
1	Komorna peć		3
2	Uređaj za pranje i odmašćivanje WP-21-E	„IPSEN“	1
3	Endogenerator G-1500-G	„IPSEN“	2
4	Kran nosivosti 600kg	„VETTER“	1
5	Ručni hidraulični viljuškar	„Total Lifter“	3
6	Ručna presa za ispravljanje	„Pobeda“ Novi Sad	1

## 5. ANALIZA IZABRANOG IDEJNOG REŠENJA

Tabela 2. Ukupan potreban prostor za pogon termičke obrade

Redni broj	Prostor	Površina (m <sup>2</sup> )
1	Za smeštaj opreme	50,332
2	Za laboratorije	39
3	Za skladišta	70
4	Za poslovni prostor	40

Ukupan prostor za pogon termičke obrade je potrebno uvećati za veličinu prostora potrebnog za transport i manevrisanje materijala u pogonu. Usvojena je hala dimenzija 32 x 17.

## 6. ZAKLJUČAK

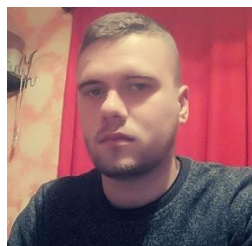
Poznavajući termohemijske obrade i uticaje atmosfera, pristupili smo analiziranju obrade zupčanika. Zupčanici su jedni od najznačajnijih mašinskih elemenata. U eksploataciji, zupčanici su specifično opterećeni, zato se javlja potreba za preciznom termohemijskom obradom.

Da bi se dobile osobine koje su najpogodnije za zupčanike, odabran je proces cementacije. Cementacijom se naugljeničava površinski sloj zupčanika, čime se dobijaju površine otporne na habanje, a jezgro ostaje žilavo i otporno na udare.

## 7. LITERATURA

- [1] Ilija Pantelić, „Tehnologija termičke obrade čelika 2”, Novi Sad, 1974.
- [2] Doc.Dr. Aleksandar Miletić: Dijagrami i tablice
- [3] Dipl.Inž.Maš.Domagoj Augusta: „Dupleks alumiziranja i nitriranja čelika“, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2011
- [4] Željko Stojanović, Milan Topličević: „Razvoj i primena postupaka boriranja u funkciji produženja radnog veka mašinskih delova“, Tehnički fakultet „Mihailo Pupin“, Zrenjanin, 2011

### Kratka biografija:



**Aleksandar Saša Lukić** rođen je u Somboru 1994. god. Diplomirao na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu iz oblasti tehnologije termičke obrade 2018. god. Master studije upisao iste godine na usmerenju Savremene tehnologije oblikovanja materijala.