

ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА  
ОДСЕК ЗА ПРОИЗВОДНО МАШИНСТВО  
ПРОЈЕКТОВАЊЕ ТЕХНОЛОГИЈЕ ТЕРМИЧКЕ ОБРАДЕ

# ПЕЋИ У ТЕРМИЧКОЈ ОБРАДИ

## - РАДНО -

ПРИРЕДИО: ДОЦ. ДР АЛЕКСАНДАР МИЛЕТИЋ

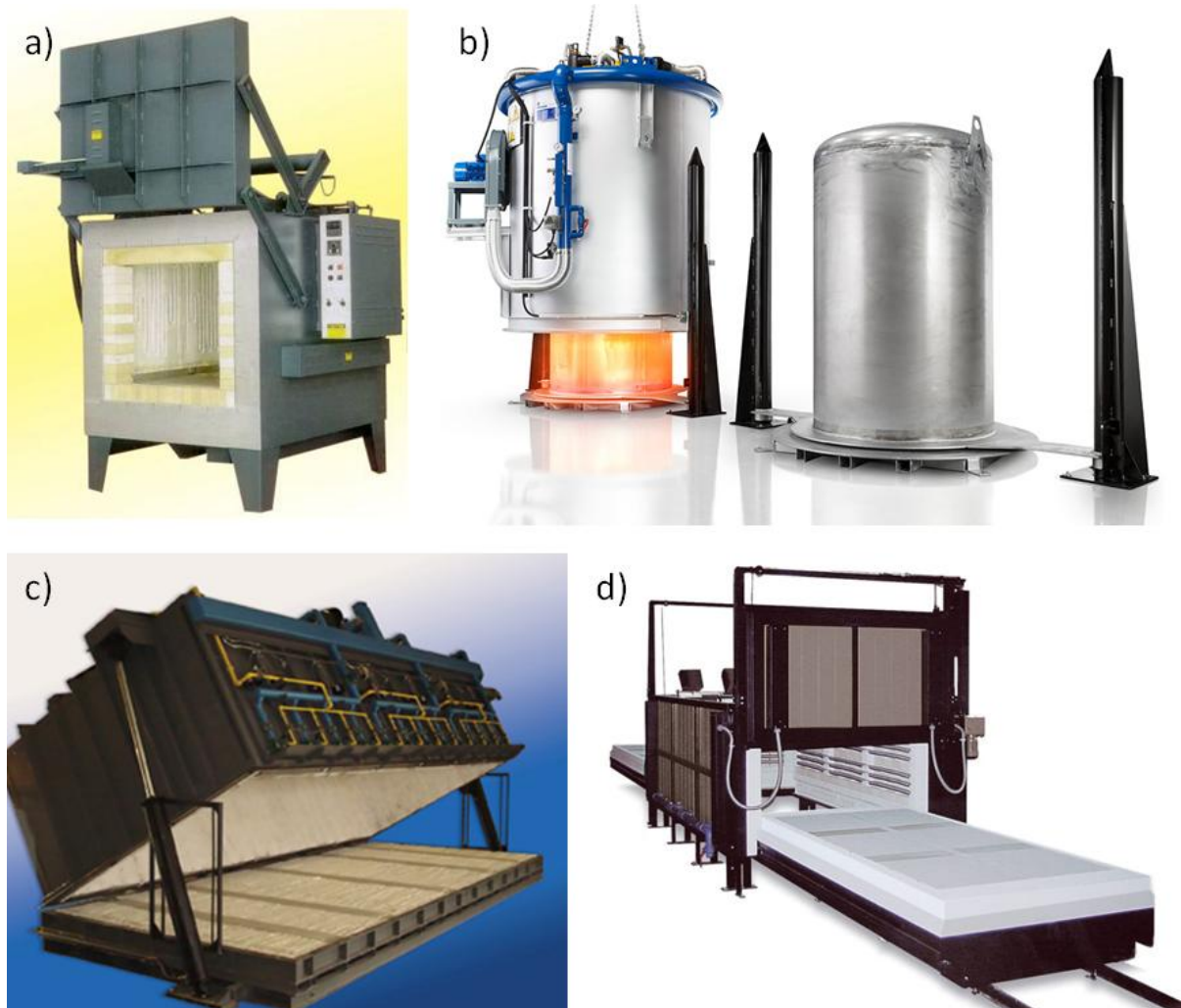
---

# SADRŽAJ

<b>1</b>	<b>UVODNE NAPOMENE .....</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>ELEMENTI PEĆI .....</b>	<b>3</b>
2.1	KONSTRUKCIJA PEĆI .....	3
2.2	ISPUNA PEĆI .....	4
2.3	GREJAČI .....	4
2.3.1	<i>Grejači sa sagorevanjem gasa .....</i>	<i>4</i>
2.3.2	<i>Električni grejači.....</i>	<i>5</i>
2.3.2.1	Niskotemperaturne peći .....	5
2.3.2.2	Srednjetemperaturne peći.....	5
2.3.2.3	Visokotemperaturne peći .....	7
2.4	ŠARŽERI.....	8
2.5	AUTOMATIKA - PRAĆENJE I UPRAVLJANJE PROCESOM.....	8
2.5.1	<i>Merenje temperature.....</i>	<i>9</i>
2.5.2	<i>Kontrola sastava i potencijala atmosfere .....</i>	<i>11</i>
2.5.2.1	Direktne metode.....	11
2.5.2.2	Indirektne metode .....	11

## 1 UVODNE NAPOMENE

Peći za termičku obradu dele se na peći periodičnog dejstva i protočne peći. Najčešće su korišćene peći periodičnog dejstva kod kojih se komadi nalaze nepomični u komori peći. Ovaj tip peći se puni i prazni u vidu jednostrukih šarži. Postoji veći broj izvedbi peći periodičnog dejstva, a neke od njih su komorne peći, jamske peći, zvonaste peći, peći sa liftom, peći sa kipom i peći sa pokretnim podom (Slika 1).

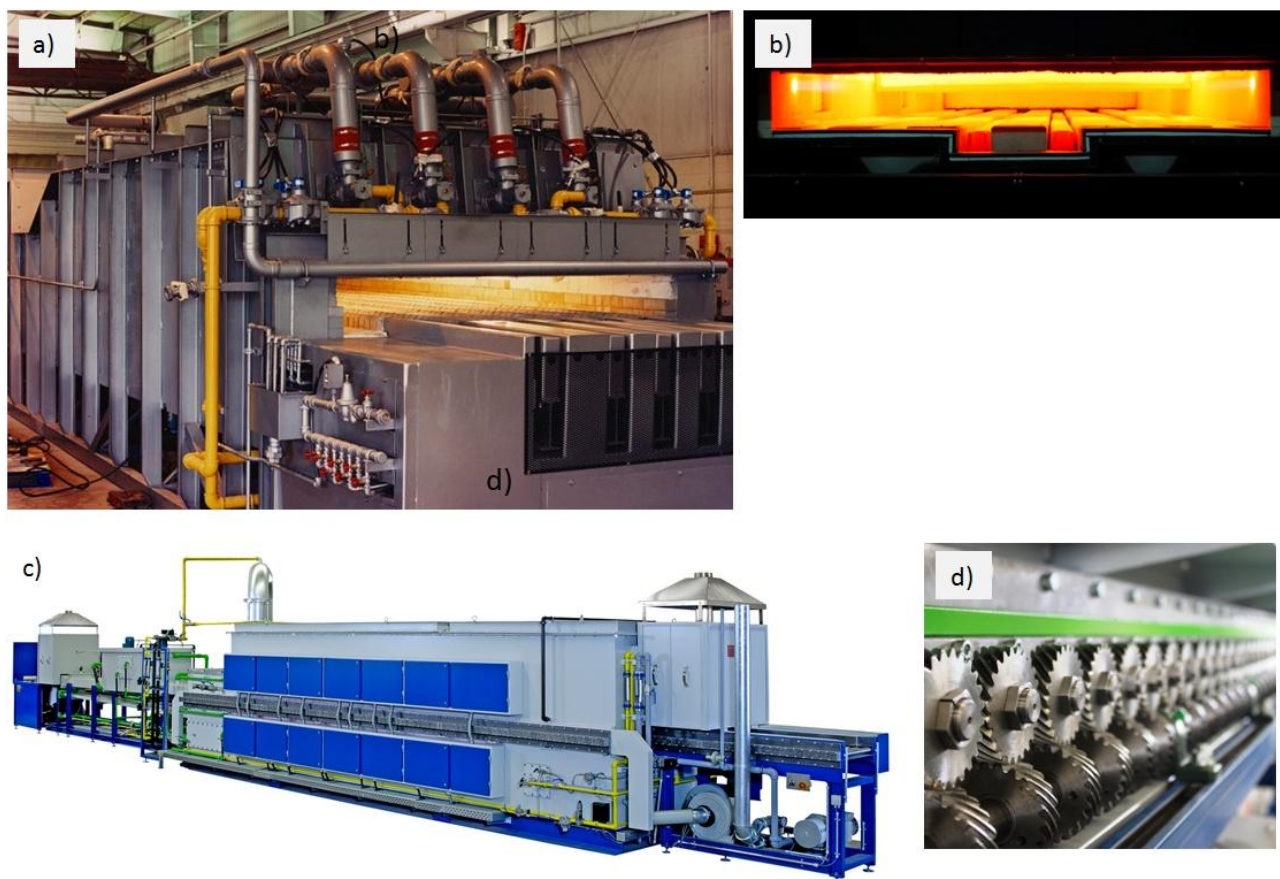


Slika 1. Peći periodičnog dejstva: a) komorna peć (eng. box furnace) (1), b) zvonasta peć (eng. pit furnace), c) peć sa kipom (eng. tip-up furnace, clam-shell furnace) (2), d) peć sa pokretnim podom (eng. car-bottom furnace, bogie hearth furnace) (3).

Protočne peći su one kod kojih se komad kreće kroz zone, najčešće različitih snaga (temperatura). Komadi koji se termički obrađuju kreću se kontinualno, pa se protočne peći često nazivaju pećima kontinualnog dejstva. Pogodne su za postupke kontinualne termičke obrade istih ili sličnih delova.

U protočne peći između ostaloga spadaju peći sa guračima, peći sa konvejerima, peći sa valjkastim transporterima, rotacione peći, peći sa skakajućim podom i druge. Na slici 2 prikazane su peć sa šetajućom gredom i peć sa valjkastim transporterom.

Za razliku od peći periodičnog dejstva kod kojih je temperatura svake tačke unutar peći jednaka i menja se u vremenu (prvi period zagrevanja), kod protočnih peći temperatura se ne menja u toku vremena već po dužini peći.



Slika 2: Protočne peći: a) peć sa šetajućom gredom (eng. walking beam), b) detalj unutrašnjosti peći sa šetajućom gredom, c) peć sa valjkastim transporterom, d) detalj prenosa kretanja na valjke u peći sa valjkastim transporterom.

## 2 ELEMENTI PEĆI

Osnovni elementi svake peći su:

1. konstrukcija (kostur) peći,
2. ispuna peći (izolacija),
3. grejači,
4. merni i kontrolni instrumenti (automatika).

### 2.1 KONSTRUKCIJA PEĆI

Kostur peći je metalna konstrukcija na koju se montiraju svi ostali delovi peći. Konstrukciju peći čine:

1. **Oklop peći** - elementi konstrukcije se izrađuju od legiranog čelika, dok spoljni oklop može biti i od nelegiranog čelika.
2. **Uređaji za prenos šarže** - transporteri koji obezbeđuju vertikalno i horizontalno pomeranje šarže. Prave se od materijala koji visoke mehaničke osobine zadržavaju i na povišenim temperaturama, jer ne smeju da se deformišu ispod teške šarže. Transporteri su izloženi stalnim temperaturnim šokovima i najčešće se izrađuju od Cr-Ni čelika (18-10 i 25-10). Rok trajanja im je oko godinu dana.
3. **Vrata** - treba da obezbede hermetičnost peći. Ne smeju da se zaglavljaju usled različitih promena dimenzija sa unutrašnje i spoljašnje strane peći.

## 2.2 ISPUNA PEĆI

Ispuna peći se sastoji od jednog ili više slojeva koji imaju za cilj da smanje toplotne gubitke i obore temperaturu na spoljašnjoj površini peći. Dozvoljena spoljašnja temperatura peći je 40 °C, eventualno 60 °C na zidovima. Na vrata se obično stavljaju lakši izolacioni materijali, kako bi se olakšala sama vrata i teži se da temperatura bude niža od 40 °C.

Izbor materijala ispunje i broja slojeva zavisi od radne temperature:

1. **Niskotemperaturne peći** (do 700 °C) - uglavnom se stavlja samo jedan termoizolacioni sloj koji dobro obara temperaturu.
2. **Srednjetemperaturne peći** (700 do 1100 °C) - ispunja se sastoji od dva sloja:
  - **Vatrootporni sloj** - pravi se od materijala koji može da izdrži visoke temperature i temperaturne promene u dugom vremenskom periodu. Ranije su se najviše koristile šamotne opeke koje imaju visoku akumulacionu moć. Šamotna obloga se dugo zagreva i isto tako dugo hladi. Danas se koriste i vatrootporni izolacioni materijali koji ne akumuliraju toplotu. Peći sa takvim ispunama se zagrevaju za kratko vreme.
  - **Termoizolacioni sloj** - pravi se od materijala koji dobro obaraju temperaturu.
3. **Visokotemperaturne peći** (1100 do 1300 °C) - ispunja se sastoji iz tri sloja:
  - **Visokotemperaturno postojan sloj** - tanak sloj koji se pravi od vatropostojanih materijala.
  - **Vatrootporni sloj** - šamot ili drugi vatrootporni materijal.
  - **Termoizolacioni sloj** - materijali koji dobro obaraju temperaturu.

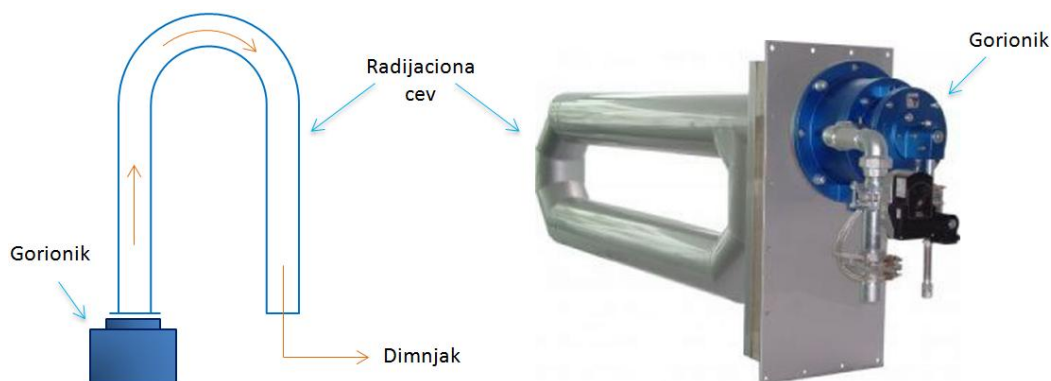
## 2.3 GREJAČI

Postoji veliki broj izvedbi grejnih elemenata u zavisnosti od namene peći, radne temperature, neophodne ravnomernosti zagrevanja i vrste energenta. Prema vrsti energenta (izvoru energije) grejači mogu biti:

1. grejači sa sagorevanjem gasa,
2. električni grejači.

### 2.3.1 GREJAČI SA SAGOREVANJEM GASA

Najčešće se koriste radijacione cevi u obliku slova "U", kroz koje prolaze produkti sagorevanja gasa. Slika i šema takve cevi sa gorionikom prikazani su na slici 3.



Slika 3: Radijaciona cev sa gorionikom na gas.

Ovakvi grejači se koriste ređe od električnih grejača. Neki od problema su neravnomernost temperature po dužini cevi, trajnost radijacione cevi, visoka cena gasa i nedostatak gasa u blizini fabrike.

### 2.3.2 ELEKTRIČNI GREJAČI

Najviše su zastupljeni jer:

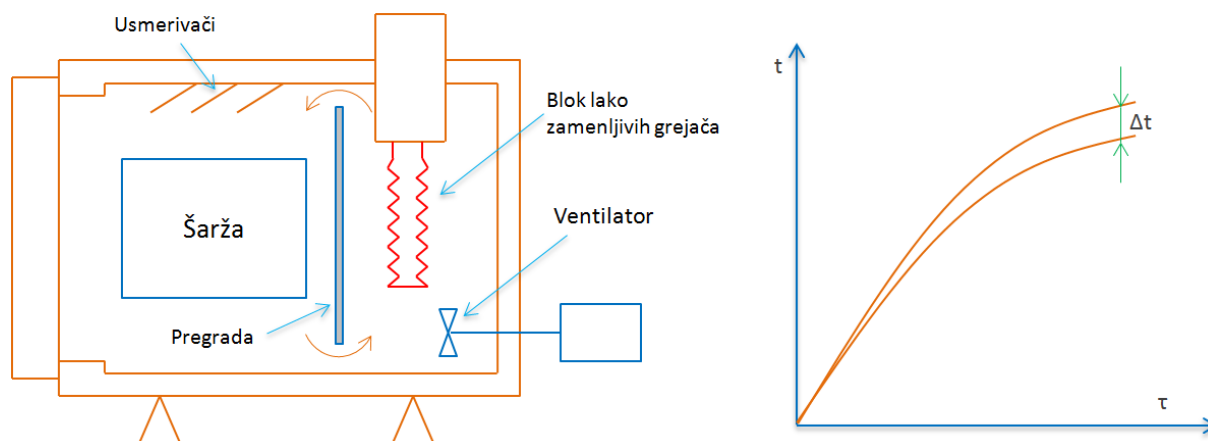
1. su lako zamenljivi,
2. omogućavaju dobro održavanje konstante temperature u peći,
3. relativno lako se izrađuju,
4. prave se u sekcijama - ukoliko jedan grejač prestane da radi, termička obrada može se nastaviti sa ostalim grejačima.

Električni grejači se mogu postaviti na različito u zavisnosti od potrebe zagrevanja, kao i ravnomernosti. Postavljaju se na:

- **bočne zidove** – najčešće se postavljanje vrši na bočne zidove, pre svega pri zagrevanju dugačkih radnih komada;
- **dno i svod** – grejači se postavljaju na dno i svod u slučaju zagrevanja niskih komada koji se slažu na pod peći. Postavljanje grejača na svod ne vrši se kod niskotemperaturnih peći;
- **čeonu zid i vrata peći** – retko se sreću peći sa grejačima postavljenim na ove elemente. Obično se ovakva izvedba sreće pri zagrevanju velikih komada. Snaga grejača na čeonom zidu i vratima je uglavnom mala i najčešće samo pokriva snagu gubitaka.

#### 2.3.2.1 NISKOTEMPERATURNE PEĆI

Za niskotemperaturne peći može se upotrebiti legura železa, nikla i hroma FeNiCr koja je poznata po lokalnom nazivu "cekas". Grejači od ovog materijala mogu da se koriste za temperature do 700 °C. U niskotemperaturnim pećima uglavnom se nalazi ventilator koji obezbeđuje brzo i ravnomerno zagrevanje. Tada konvekција prevladava u prenosu toplote. Šematski prikaz jedne niskotemperaturne peći dat je na slici 4. Ove peći koriste se za niskotemperaturna otpuštanja i žarenja.



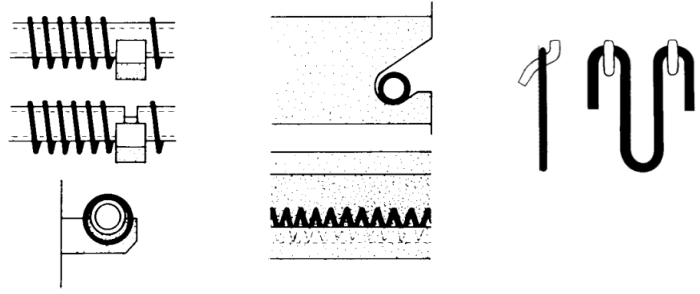
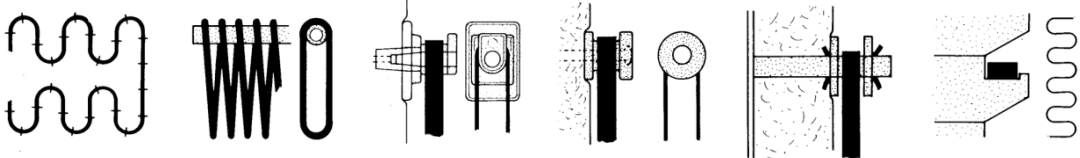
Slika 4: Šematski prikaz niskotemperaturne peći i dijagram zagrevanja koji pokazuje male temperaturne razlike.

#### 2.3.2.2 SREDNJETEMPERATURNE PEĆI

Radi se o pećima koje rade na temperaturama od 700 do 1100 °C. Moraju se koristiti kvalitetni grejači koji mogu da izdrže barem godinu dana rada. Za srednjetemperaturne peći koriste se FeCrAl legure, poznate pod proizvođačkom nazivu "Kanthal". Mogu se koristiti i NiCr legure, poznate pod proizvođačkom nazivu "Nikrothal".

Grejači u srednjetemperaturnim pećima se postavljaju na različite nosače, jer gube mehaničke osobine na visokoj temperaturi. Mogu se koristiti grejači napravljeni od žice ili od trake. Na slici 5 prikazani su neki od načina postavljanja grejača. Dimenzije grejača od žice, kao što su prečnik i korak grejača zavise od potrebne snage. Grejači se postavljaju u obliku sekcija tako da ako jedan prestane da radi, ostali nastavljaju sa radom,

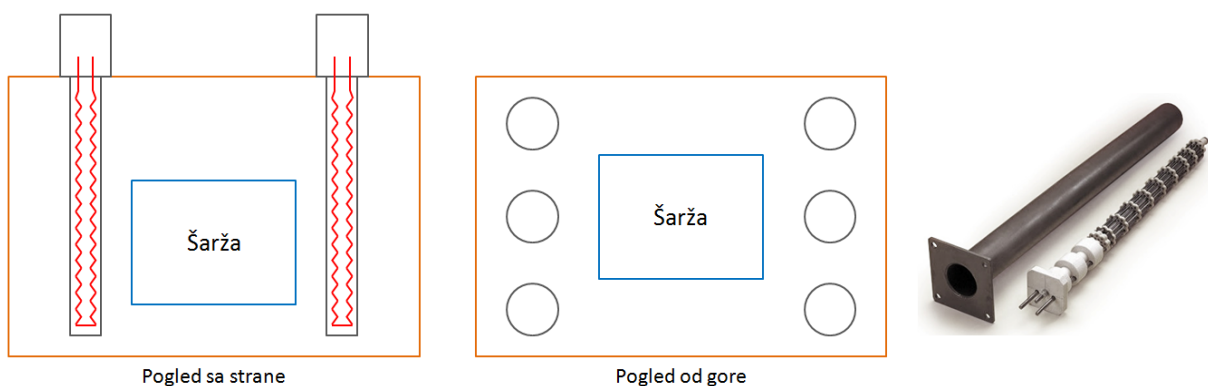
a zamena pokvarenog se vrši nakon ciklusa termičke obrade. Dobro je obezbediti zamenljivost grejača sa spoljašnje strane, pa se zamena može vršiti i u toku ciklusa.

Žičani elementi						
Element	Spirala	Spirala	Spirala	Savijena žica		
Nosač	Keramička cev	Žleb		Metalna šipka		
						
Trakasti elementi						
Element	Valovito	U vidu petlje	Valovito	Valovito	Valovito	Valovito
Nosač	Metalne spajalice	Keramičke cevi	Keramički nosač	Keramički nosač	Keramičke cevi	Žlebovi
						

Slika 5: Mogući načini postavljanja grejača u pećima za termičku obradu (4)

Brzina zagrevanja se podešava da bude oko 100 °C/h. Prebrzo zagrevanje može dovesti do pucanja delova peći i izolacije.

Kada se radi o hemijskoj termičkoj obradi, grejači se moraju postaviti u posebne keramičke ili metalne cevi (slika 6), jer u suprotnom dolazi do promene njihovog hemijskog sastava i osobina. Ovako upakovani grejači mogu da se menjaju i u toku procesa termičke obrade.



Slika 6: Šematski prikaz srednjetemperaturne peći sa grejačima unutar cevi i fotografija grejača.



### 2.3.2.3 VISOKOTEMPERATURNE PEĆI

Za visokotemperaturne peći koje su namenjene za termičku obradu iznad 1100 °C upotrebljavaju se grejači od silicijum karbida SiC. Silicijum karbid se često naziva karbokorund (*eng. carborundum*). Ovaj naziv nastao je iz pogrešne pretpostavke Edvarda Gudriča Ahesona (*Edward Goodrich Acheson*) koji je verovao da se materijal sastoji od ugljenika i aluminijuma, tj. da se radi o mineralu sličnom Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (korund) koji još sadrži i ugljenik, stoga karbokorund.

Primer nekoliko SiC grejača prikazan je na slici 7. Ovi grejači mogu se postavljati vertikalno i horizontalno. Pošto ostaju kruti i pri zagrevanju na visoke temperature ne trebaju im posebni držači.



Slika 7: Silicijum karbidni grejači.

Spisak materijala za grejače koje nudi preduzeće "Kanthal" prikazan je u tabeli 1.

Tabela 1: Materijali za električne grejače preduzeća "Kanthal".

Kanthal proizvođački nazivi		Najveća radna temperatura (°C)	Otpornost na 20 °C (Ω mm <sup>2</sup> /m)
FeCrAl	Kanthal APM (žica)	1425	1.45
	Kanthal A-1 (žica)	1400	1.45
	Kanthal A (žica)	1350	1.39
	Kanthal A (traka)	1350	1.39
	Kanthal AF (žica)	1300	1.39
	Kanthal AE (žica)	1300	1.39
	Kanthal D (žica)	1300	1.35
	Kanthal D (traka)	1300	1.35
	Kanthal DT (traka)	1300	1.37
	Kanthal LT	1100	1.23
	Alkrothal 14 (žica)	1100	1.25
sNiCr	Nikrothal TE (žica)	1200	1.19
	Nikrothal 80 (žica)	1200	1.09
	Nikrothal 80 (traka)	1200	1.09
	Nikrothal 70 (žica)	1250	1.18
	Nikrothal 60 (žica)	1150	1.11
	Nikrothal 60 (traka)	1150	1.11
	Nikrothal 40 (žica)	1100	1.04
	Nikrothal 40 (traka)	1100	1.04
	Nikrothal 30 (žica)	1050	1.03
	Nikrothal 20 (žica)	1050	0.95
Nikrothal LX (žica)	300	1.33	
NiFe	Nifethal 70 (žica)	600	0.20
	Nifethal 52 (žica)	600	0.37
	Nifethal 42 (žica)	600	0.63
CuNi	Cuprothal 49 (žica)	600	0.49
	Cuprothal 30 (žica)	400	0.30
	Cuprothal 15 (žica)	400	0.15
	Cuprothal 10 (žica)	300	0.10
	Cuprothal 5 (žica)	300	0.05

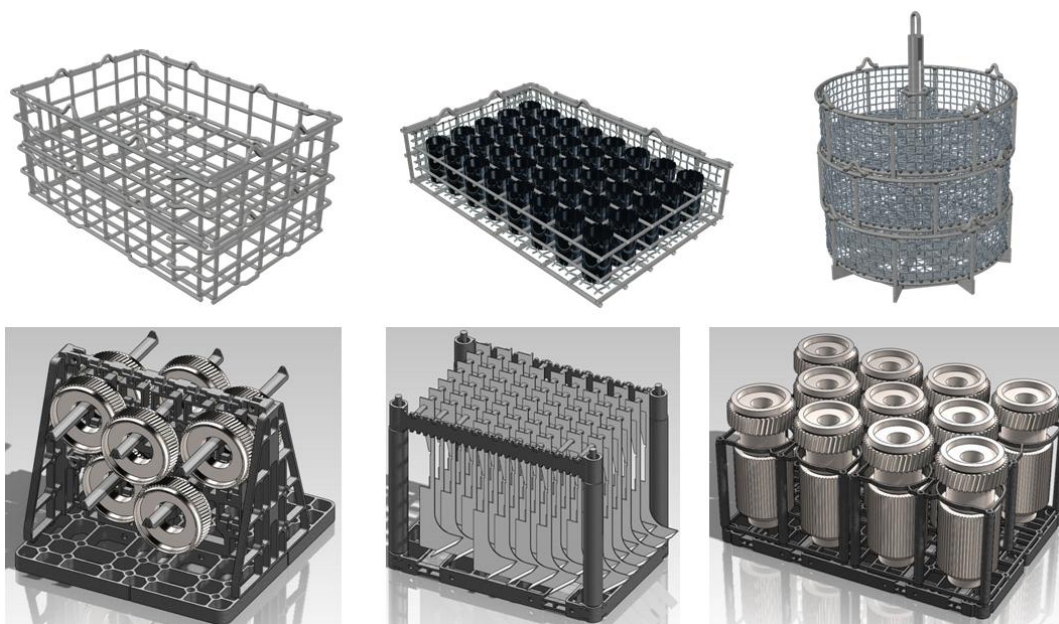


## 2.4 ŠARŽERI

Predstavljaju elemente na koje se radni komadi postavljaju u toku termičke obrade. Delovi u šaržeru moraju biti pravilno raspoređeni, a to znači da mora da se obezbedi:

- *dovoljno rastojanje između delova* - kako bi se omogućilo opstrujavanje gasa,
- *dobro oslanjanje* - da se izbegnu deformacije,
- *pravilno oslanjanje* - npr. treba obratiti pažnju da površine radnih komada koje se cementiraju ne budu u kontaktu sa šaržerom.

Nekoliko šaržera prikazano je na slici 8. Šaržeri se izađuju od plemenitih čelika i mogu delovati katalitički na atmosferu peći. Koriste se Prokron 18 i 20. Ukoliko u atmosferi postoje agresivni gasovi dodaje se i cirkonijum. Cene su visoke i uvek treba težiti da se kupuju standardnog oblika i dimenzija.



Slika 8: Primer šaržera za prihvatanje radnih komada u termičkoj obradi.

## 2.5 AUTOMATIKA - PRAĆENJE I UPRAVLJANJE PROCESOM

Koristi se niz instrumenata za praćenje i regulisanje većeg broja parametara, kao što su temperatura peći, sastav atmosfere peći, temperatura elemenata koje je potrebno hladiti (vratilo ventilatora, elektroventili), temperatura sredstva za hlađenje (kod integralnih peći gde je kada za hlađenje u sklopu peći) i drugih.

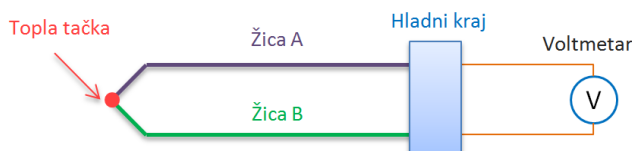
Delovi peći i parametri koji zahtevaju automatiku:

- *vrata* - provera hermetičnosti (da li su vrata dobro zatvorena) i pokretanje (otvaranje i zatvaranje);
- *transport delova (šarže)* - koriste se davači (senzori) položaja;
- *pritisak* - koriste se davači (senzori) pritiska. Za svaki vid termičke obrade i svaku temperaturu propisuje se odgovarajući pritisak;
- *temperatura* - najvažniji parametar termičke obrade, mora se neprestano pratiti, odstupanja temperature ne bi trebala biti veća od  $\pm 5$  °C;
- *atmosfera* - kontrolišu se sastav i potencijal atmosfere.

### 2.5.1 MERENJE TEMPERATURE

Temperatura se meri kontaktnim i beskontaktnim putem. Beskontaktno merenje vrši se pomoću optičkih infracrvenih pirometara koji se postavljaju na rastojanju od oko 1 do 2 m od objekta čija se temperatura meri. Infracrveni pirometri koriste se za merenje visokih temperatura, pre svega kod sonih kupatila u kojima se kontaktni senzori veoma brzo oštećuju.

Najčešće se za merenje temperature koriste termoparovi (kontaktni način). Termoparovi predstavljaju električne davače koji se sastoje iz dve žice od različitih metala, koje su spojene na jednom kraju. Spojeni kraj se postavlja unutar peći i naziva se topla tačka, dok se kraj žice povezan sa instrumentacijom naziva hladni kraj (slika 9). Usled razlike u temperaturi dva kraja žice dolazi do pojave elektromotorne sile (EMF - *electromotive force*) čijim se merenjem određuje temperatura peći. Ova sila meri su u milivoltima mV.



Slika 9. Šematski prikaz termopara.

Postoji veći broj tipova termoparova koji su sačinjeni od različitih kombinacija metala i koji imaju različite namene (tabela 2). Za niže temperature mogu se upotrebiti termoparovi na bazi železa (tip J), za srednje temperature se koriste termoparovi tipa K, dok se za visoke temperature koriste termoparovi tipa R i S.

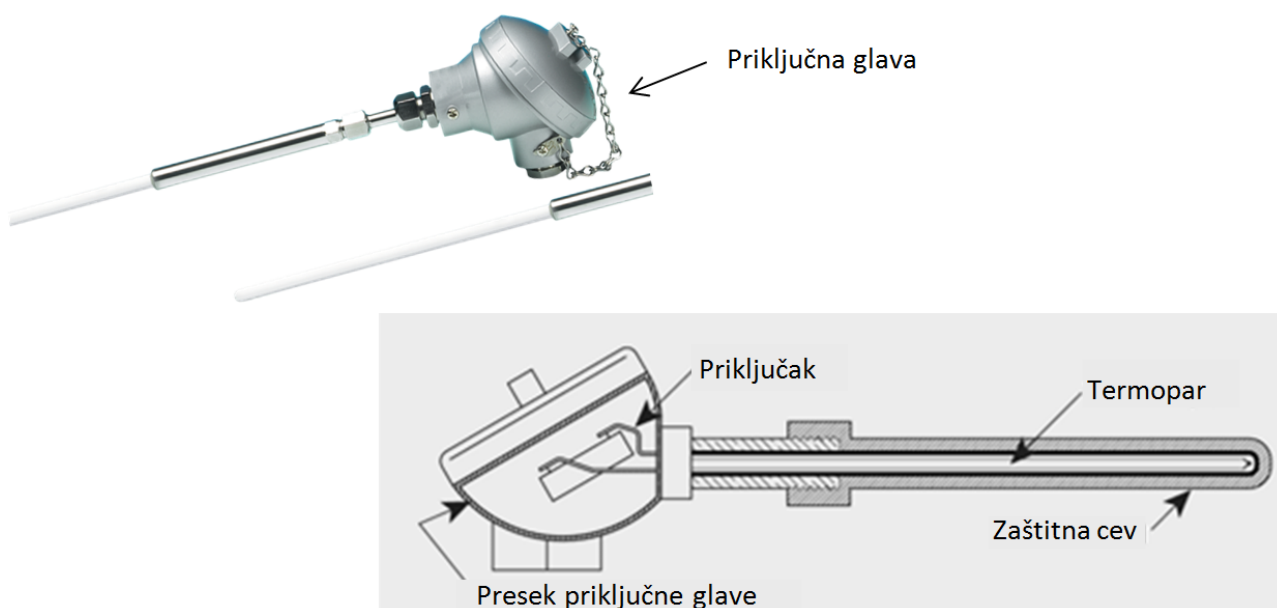
Tabela 2. Tipovi termoparova i njihova namena.

Tip	Provodnik		Okvirni opseg (°C)	Boja izolacije			Opis <sup>3</sup>
	+	-		Evropski IEC 584-3	Britanski BS 1843	Američki ANSI/MC96.1	
J	Železo (magnetično)	Bakar-nikl (Konstantan)	0 do 750 <sup>1,2</sup>				Za kontinualnu primenu u vakuumu, redukujućoj ili inertnoj atmosferi. Životni vek se brzo skraćuje pri zagrevanju iznad 540 °C u oksidišućoj atmosferi, samo deblje žice su preporučljive za visoke temperature. Termopar ne bi trebalo da se izlaže temperaturama višim od 540 °C u atmosferi koja sadrži sumpor. Pri radu u kontaminirajućoj atmosferi, kao i pri zagrevanju iznad 480 °C potrebno je koristiti zaštitne cevi.
K	Nikl-hrom (Hromel)	Nikl-aluminijum (Alumel)	-200 do 1250 <sup>1,2</sup>				Preporučljiv za oksidišuće ili neutralne atmosfere. Najčešće se koristi za temperature iznad 540 °C. Za merenje viših temperatura (do 1260 °C) neophodno je koristiti zaštitne cevi. Najbolje performanse postiže kada je izolovan mineralom (MgO, Al2O3) i zaštićen metalnom cevju.
T	Bakar	Bakar-nikl (Konstantan)	-250 do 350 <sup>1</sup>				Upotrebljiv u oksidišućim, redukujućim i inertnim atmosferama. Može da se koristi za temperature niže od 0°C. Nije podložan koroziji u vlažnim atmosferama.
E	Nikl-hrom (Hromel)	Bakar-nikl (Konstantan)	-200 do 900 <sup>1,2</sup>				Kako su sastavni elementi veoma otporni na koroziju primenjuje se u oksidišućim i inertnim atmosferama. Ne korodira na temperaturama ispod 0 °C. Nedovoljna stabilnost u redukujućim atmosferama.
S	Platina - 10% Rodijum	Platina	0 do 1400 <sup>1</sup>				Preporučljiv za visoke temperature. Izolator mora biti napravljen od Al2O3 visokog kvaliteta. Trebalo bi da bude u nemetalnim zaštitnim cevima, sa keramičkim izolatorima jer se lako kontaminira u neoksidisućim atmosferama. Mogu se upotrebiti molibden ili inkonel. Pri neprekidnoj upotrebi može doći do mehaničkih oštećenja zbog rasta zrna.
R	Platina - 13% Rodijum	Platina	0 do 1450 <sup>1</sup>				Preporučljiv za visoke temperature. Izolator mora biti napravljen od Al2O3 visokog kvaliteta. Trebalo bi da bude u nemetalnim zaštitnim cevima, sa keramičkim izolatorima jer se lako kontaminira u neoksidisućim atmosferama. Mogu se upotrebiti molibden ili inkonel. Pri neprekidnoj upotrebi može doći do mehaničkih oštećenja zbog rasta zrna.
B	Platina - 30% Rodijum	Platina - 6% Rodijum	0 do 1700 <sup>1</sup>				Bolja stabilnost od S ili R tipa zbog veće čvrstoće. Koristi se za visoke temperature. Mora biti zaštićen sa nemetalnim zaštitnim cevima i keramičkim izolatorima. Lako dolazi do kontaminacije u neoksidisućim atmosferama. Kontinualno zadržavanje na visokim temperaturama može dovesti do mehaničkih oštećenja zbog rasta zrna.
N	Ni-Cr-Si (Nikrosil)	Ni-Si-Mg (Nisil)	-270 do 1300 <sup>1</sup>				Koristi se pre svega za visoke temperature. Iako nije direktna zamena za tip K, obezbeđuje bolju otpornost na oksidaciju na visokim temperaturama i duži radni vek u prisustvu sumpora. Najbolje performanse postiže kada je izolovan mineralom (MgO, Al2O3) i zaštićen metalnom cevju.

1. OMEGA Engineering, INC., 2. National Instruments Corporation, 3. Industrial Heating.

Termoparovi koji se koriste za merenje temperature peći nalaze se u zaštitnoj cevi. Šematski prikaz i fotografija takvog jednog termopara prikazani su na slici Slika 10. Zaštitne cevi koriste se za zaštitu od kontaminacije i mehaničkih oštećenja. Međutim, zaštitne cevi se takođe mogu oštetiti, deformisati ili popucati čime može doći do izlaganja termopara okolini od koje bi trebao biti zaštićen.

Termopar se postavlja u peć u horizontalnom položaju. Trebalo bi da se postavi dovoljno duboko u peć, a najmanje 20 puta svog prečnika. Na primer, ukoliko se koristi termopar prečnika 3 mm, trebalo bi da bude unutar peći najmanje 64 mm. Za kvalitetno određivanje temperature peći važno je da termoparovi ne stoje suviše blizu grejača, izolacije, niti šarže (komada). U termičkoj obradi temperature se kreću okvirno u granicama od -185 do 1400 °C. Taj opseg ne može se pokriti samo jednim tipom termopara. Međutim, često se termoparovi pogrešno koriste i van njihovog radnog opsega, prosto jer su na raspolaganju. Ovakva merenja temperature trebalo bi izbegavati, jer su tačnost merenja i životni vek termopara značajno ugroženi.



Slika 10. Fotografija i šematski prikaz termopara za merenje temperature unutar peći.

Kada je reč o praćenju temperature komada koji se termički obrađuju, najbolje bi bilo upotrebiti veći broj termoparova direktno povezanih na komade. Idealno bi bilo da se termopar postavi u rupu koja se nalazi u najdebljem preseku, kako bi se pratila temperatura jezgra, ali to često nije izvodljivo. Nešto lošije, ali takođe dobro rešenje je primena "pomoćnog komada", reprezenta najvećeg preseka konkretnih delova, u kome se pre zagrevanja buši rupa u koju se postavlja termopar. Treći i najlošiji izbor je postavljanje termoparova na površinu komada, tada se metodom palca usvaja vreme zagrevanja od jednog sata po 25 mm poprečnog preseka. Ovakva upotreba termoparova moguća je kod nepokretnih šarži. Kod pokretnih šarži najbolje je izvršiti probna zagrevanja, kako bi se odredilo neophodno vreme zagrevanja.

Tačnost termoparova potrebno je redovno kontrolisati, najmanje jednom godišnje. Životni vek termoparova zavisi od radne temperature, vremena izloženosti radnoj temperaturi, varijacije temperature, kao i od prisustva nečistoća na samom termoparu, ili na zaštitnoj cevi. Termoparovi se najčešće menjaju jednom u šest ili devet meseci.

## 2.5.2 KONTROLA SASTAVA I POTENCIJALA ATMOSFERE

Kontrolišu se zaštitne i aktivne atmosfere (atmosfera za naugljeničavanje, nitiranje i slično). Na primer, za naugljeničavajuću atmosferu ključan je procenat ugljenika u atmosferi, kako bi se dobio željeni udeo ugljenika u površinskom sloju tretiranih delova.

Metode za kontrolu atmosfera dele se na direktne i indirektne.

### 2.5.2.1 DIREKTNE METODE

U direktne metode kontrole atmosfera ubrajaju se:

- **metoda folija** - u radni prostor peći stavlja se tanka folija debljine 0.1, 0.25, ili 0.38 mm, koja sadrži 0.1 %C. Nakon određenog vremena (10 do 65 min) folija se vadi iz peći i hladi ili u zaštitnoj atmosferi, ili u atmosferi azota. Određuje se hemijski sastav folije pomoću odgovarajuće aparature. Hemijski sastav se može odrediti relativno brzo, kroz pola sata. Međutim, ukoliko uređaj za analizu sadržaja ugljenika ne postoji u fabrici, može proći i više dana dok se ne dobiju rezultati merenja napravljenog u nekom drugom preduzeću, ili institutu. Kontrola se može vršiti i merenjem mase folije pre i nakon izlaganja atmosferi peći. Tada se ugljenični potencijal atmosfere određuje pomoću sledeće formule:

$$C_p = \frac{G_d}{G_k} \times 100 + \%C_0$$

gde su:

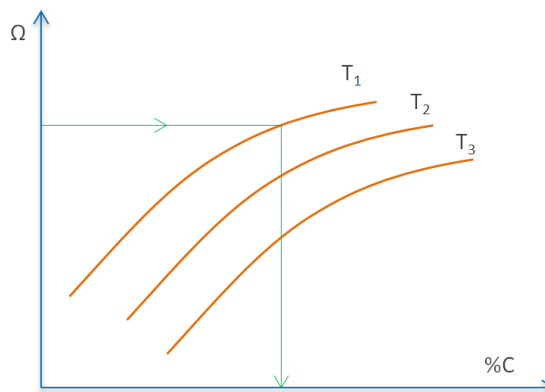
$C_p$  - ugljenični potencijal atmosfere,

$C_0$  - početni sadržaj ugljenika u foliji (težinski procenat),

$G_d$  - dobitak mase (razlike pre i posle),

$G_k$  - krajnja masa folije.

- **metoda tople žice** - meri se električna provodljivost žice postavljene u komoru peći. Otpornost žice menja se sa temperaturom u peći i udelom ugljenika u žici. Rezultati se dobijaju za nekoliko minuta. Tokom vremena dolazi do starenja žice i promene njenih osobina, pa se mora redovno baždariti.



Slika 11. Veza između otpornosti žice i ugljeničnog potencijala atmosfere.

### 2.5.2.2 INDIREKTNE METODE

Biće postavljeno 17.02.2017.