

ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА

ОДСЕК ЗА ПРОИЗВОДНО МАШИНСТВО

ПРОЈЕКТОВАЊЕ ТЕХНОЛОГИЈЕ ТЕРМИЧКЕ ОБРАДЕ

# ТЕРМИЧКА ОБРАДА У ВАКУМУ

- РАДНА ВЕРЗИЈА -

ПРИРЕДИО: ДОЦ. ДР АЛЕКСАНДАР МИЛЕТИЋ

---

## SADRŽAJ

<b>1</b>	<b>UVODNE NAPOMENE .....</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>VAKUM SISTEMI .....</b>	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>UTICAJ NEČISTOĆA .....</b>	<b>4</b>
3.1	UTICAJ KISEONIKA.....	4
<b>4</b>	<b>EFEKAT SELEKTIVNOG OTPARAVANJA .....</b>	<b>6</b>

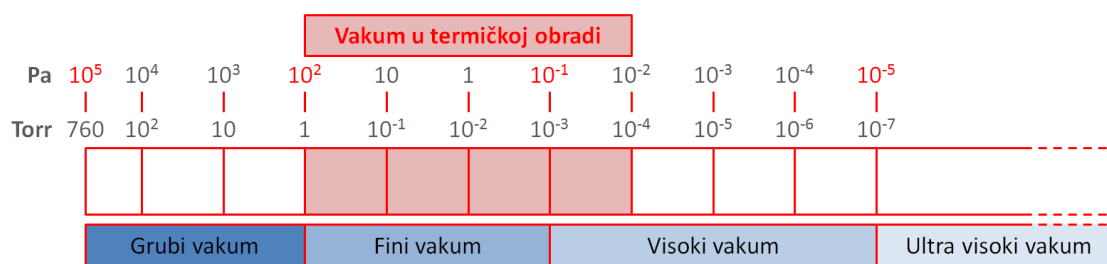
## 1 UVODNE NAPOMENE

U vakumu se mogu obavljati procesi kaljenja, žarenja, pa i nitriranja i cementacije. Prednost obrade u vakumu su: usporen proces oksidacije i razugljeničenja, visoka ponovljivost rezultata, male deformacije, visok kvalitet površinskog sloja, veoma povoljna tehnologija sa stanovišta zaštite na radu i očuvanja životne sredine.

Vakum uređaji su veoma skupi, zavisno od visine vakuma, pa se u vakumu najčešće termički obrađuju alati, medicinski uređaji, nerđajući čelici, kao i elementi kod kojih se zahteva apsolutno čista površina.

Prema nivou vakum se može podeliti na (slika 1):

1. **Grubi vakum** ( $10^5$  do  $10^2$  Pa, tj. 760 do 1 Torr)
2. **Fini (srednji) vakum** ( $10^2$  do  $10^{-1}$  Pa, tj. 1 do  $10^{-3}$  Torr)
3. **Visoki vakum** ( $10^{-1}$  do  $10^{-5}$  Pa, tj.  $10^{-3}$  do  $10^{-7}$  Torr)
4. **Ultra visoki vakum** ( $10^{-5}$  do  $10^{-10}$  Pa, tj.  $10^{-7}$  do  $10^{-12}$  Torr)



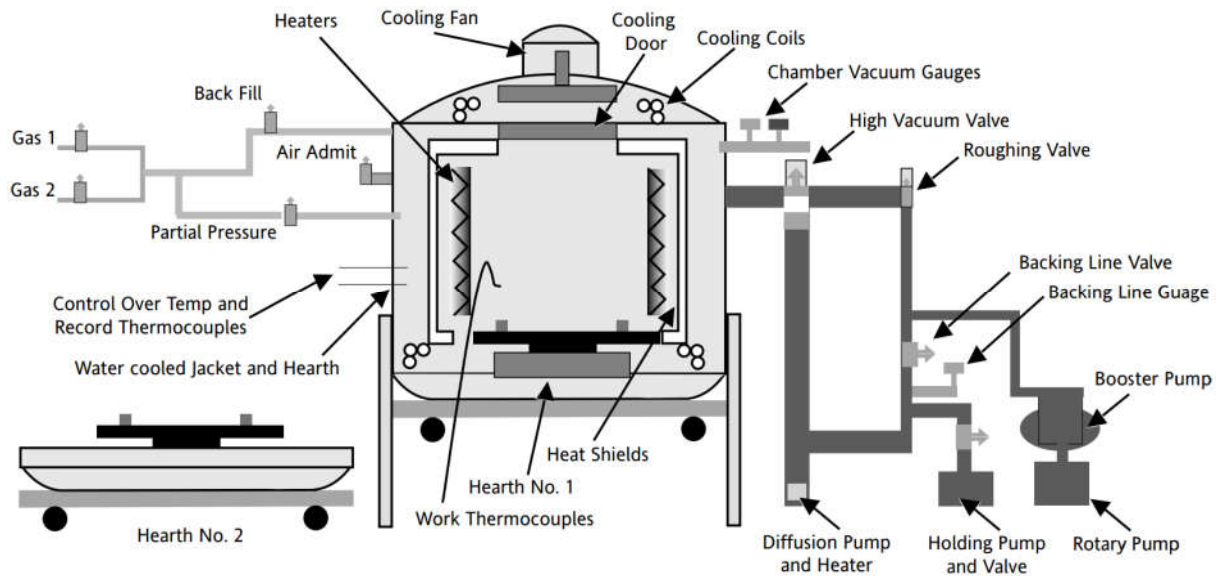
Slika 1: Podela vakuma prema visini. Prikazane su tačne vrednosti u Torr-ima i približne vrednosti u Pa.

## 2 VAKUM SISTEMI

Vakum u rasponu od 760 do 1 Torr koristi se ređe, samo za jednostavna žarenja. Postiže se primenom mehaničkih pumpi, kao što su klipne pumpe, krilne pumpe (eng. rotary vane) i vijčane pumpe (eng. screw pump). Za dobijanje finog vakuma najčešće se koriste Roots-ove vakum pumpe. Visoki i ultra visoki vakum postižu se upotrebom difuzionih, turbomolekularnih i kriogenih pumpi.

Primer vakum peći sa tri vakum pumpe šematski je prikazan na slici 2. Postoje različite izvedbe vakum peći, a one najčešće sadrže sledeće komponente:

- **Komora za radne komade** - jedna ili više komora koje se hlade vodom i u kojima se nalazi sistem za prihvatanja i transport radnih predmeta.
- **Toplotni štitovi** - najčešće napravljeni od grafitnih ploča ili od nekog drugog materijala postojanog na visokim temperaturama.
- **Unutrašnji elementi peći** - napravljeni od grafita ili od nekog drugog materijala postojanog na visokim temperaturama..
- **Grejači** - uglavnom od grafita ili molibdena.
- **Sistem vakum pumpi.**
- **Sistem za kontrolu parcijalnog pritiska.**
- **Ventilator** - opciono, za poboljšanje konvektivnog prenosa toplote na nižim temperaturama.
- **Sistemi za kaljenje** - sistemi za hlađenje, najčešće u gasu, sa ili bez ventilatora.
- **Upravljački sistem.**



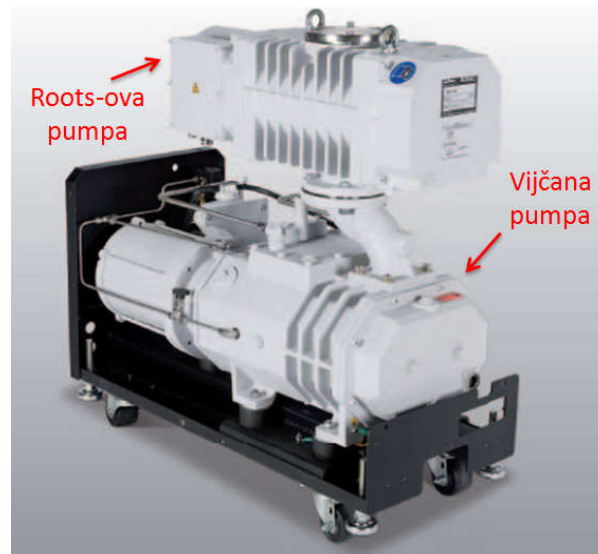
Slika 2: Šematski prikaz vakum peći za termičku obradu.

Na slici 3 prikazan je sistem koji se sastoji od krilne (sa uljem) i Roots-ove pumpe, koje su spojene preko adaptera. Ovakav sistem može se upotrebiti za procese otpuštanja, žarenja i kaljenja. Pogodan je pre svega za procese kod kojih se stvara manji broj čestica i za srednje zaprljane proizvode. Na primer može se upotrebiti kod kaljenja i otpuštanja vratila i zupčanika. Kod ovakve obrade vakum sistem treba samo da omogući odsisavanje vazduha i vlažnosti iz peći, kao i manje količine nečistoća koje isparavaju sa površine radnih predmeta. Ovi sistemi nisu pogodni za delove sa većom količinom površinskih nečistoća, jer iste štetno utiču na osobine ulja koje se nalazi u krilnoj pumpi i mogu dovesti do korozije delova pumpe.



Slika 3: Vakum sistem koji se sastoji od krilne i Roots-ove pumpe.

Za zahtevnije procese (sa stanovišta vakum pumpi), kao što su nitriranje i plazma nitriranje mogu se upotrebiti sistemi koji kombinuju vijčane (suve) pumpe i Roots-ove pumpe (slika 4). Ovakvi sistemi pogodni su kada se u sistemu nalaze agresivne pare poput  $NH_3$ , kako i kod termičke obrade delova sa većom količinom površinskih nečistoća. Nečistoće koje se sakupljaju na zidovima kompresorskog prostora mogu se između ostalog ukloniti ispiranjem primenom odgovarajućih hemikalija. Za procese cementacije i nitro-cementacije koriste se slični, ali posebni sistemi koji su otporniji na stvaranje naslaga materijala koji dolazi iz komore vakum peći.



**RUVAC WH 700 / LEYVAC LV 140  
adapter version**

*Slika 4: Vakum sistem koji se sastoji od vijčane i Roots-ove pumpe.*

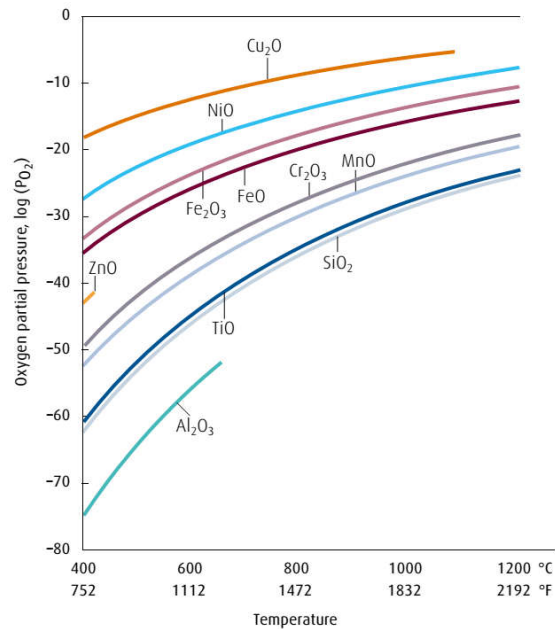
### 3 UTICAJ NEČISTOĆA

Bez obzira što se u komori pravi vakum, u njoj se uvek u određenom procentu nalaze čestice kiseonika, vodene pare i ugljovodonika. Kiseonik u komoru može dospeti kao posledica razlaganja oksidnih slojeva koji se nalaze na radnim predmetima, usled curenja vazduha u komoru, a može se uneti i sa nekim drugim gasom koji se uvodi u komoru (azot, argon i drugi). Vodena para dospeva u radni prostor sa površine radnih komada koji nisu dovoljno dobro osušeni nakon pranja i sa zidova komore peći gde dolazi do kondenzacije u toku šaržiranja. Vodena para može dospeti u komoru i kao posledica curenja sistema za vodeno hlađenje. Tada voda najčešće curi kroz ekstremno male procepe koji se otvaraju samo pri povišenim temperaturama, što otežava njihovo lociranje. Ugljovodonici se u komoru peći uvode sa komadima koji nisu dobro oprani, a češće iz ulja koje dolazi iz vakum pumpe u komoru. Prisustvo ugljovodonika u komori može dovesti do promene boje radnih predmeta. Vakum peći treba da su zatvorene i pod vakumom i kada se ne koriste kako bi se smanjila količina vlage i vazduha u delovima peći.

#### 3.1 UTICAJ KISEONIKA

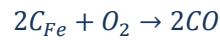
Oksidi metala razlažu se na elemente koji ih sačinjavaju kada se zagreju na odgovarajuću temperaturu, pri dovoljno niskom nivou vakuma. Pritisak na kome dolazi do razlaganja odgovara parcijalnom pritisku kiseonika za stvaranje oksida (slika 5). Kiseonik koji se izdvoji pri razlaganju oksida delom napušta komoru kroz vakum sistem. Međutim, pri ultra visokom vakumu reda veličine  $10^{-5}$  Pa ( $10^{-7}$  Torr) u kubnom metru i dalje se nalazi oko  $10^{15}$  molekula gasa. Ukoliko se uzme u obzir da se u početku u peći nalazio vazduh u kome se nalazi oko 21% kiseonika, parcijalni pritisak biće oko  $10^{-6}$  Pa. Teoretski atmosfera sa ovolikim sadržajem kiseonika predstavlja oksidirajuću atmosferu za mnoge metale na uobičajenim temperaturama žarenja i kaljenja. Ukoliko se peć produva sa azotom pre vakumiranja parcijalni pritisak kiseonika smanjuje se na  $10^{-11}$  Pa, što je i dalje oksidišuće prema nekim metalima kao što je hrom. Može se postaviti pitanje kako da se pri termičkoj obradi dobiju potpuno svetli delovi, ako je atmosfera oksidišuća. Naime, u stvarnosti je količina kiseonika koji bi mogao dovesti do oksidacije uvek manja, jer deo kiseonika "reaguje" sa elementima u peći, kao što su grejači, delovi šaržera i zidovi komore peći. Kiseonik prijanja adhezivno ili

reaguje sa ugljenikom, pri čemu nastaje CO. Takođe, pored termodinamike, važna je i kinetika. Odnosno, iako postoje uslovi za oksidaciju, ona se u vakumu odvija sporo.



Slika 5: Pritisak razlaganja pojedinih metalnih oksida (parcijalni pritisak kiseonika).

Veći problem od oksidacije, predstavlja razugljeničenje do koga dolazi usled reakcije kiseonika i ugljenika. Reakcija se odvija na sledeći način:



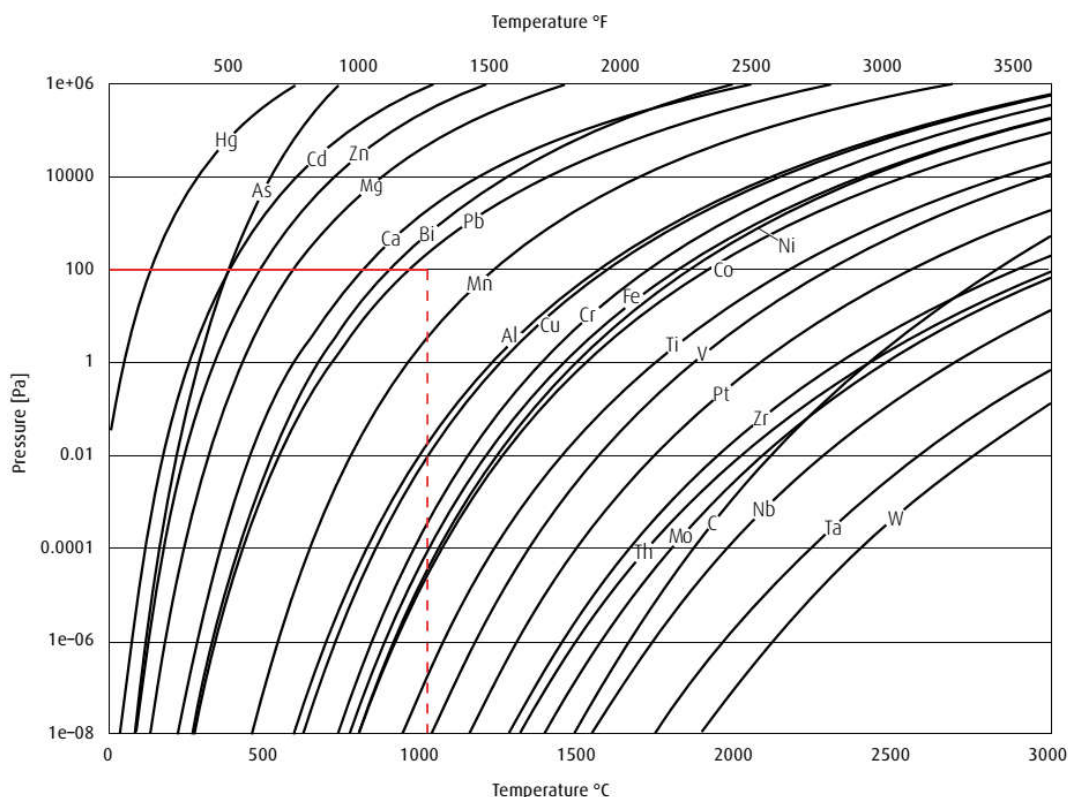
gde je  $C_{Fe}$  - ugljenik iz čelika

Razugljeničenje može biti posebno opasno kod dugotrajnog žarenja niskougljeničnih čelika. Kod alatnih čelika sa većim sadržajem ugljenika to ne predstavlja značajan problem. U vakum pećima se uglavnom koriste grafitni grejači, pa kiseonik reaguje sa ugljenikom iz grejača pri čemu nastaje CO i na taj način se smanjuje efekat razugljeničenja radnih predmeta.

## 4 EFEKAT SELEKTIVNOG OTPARAVANJA

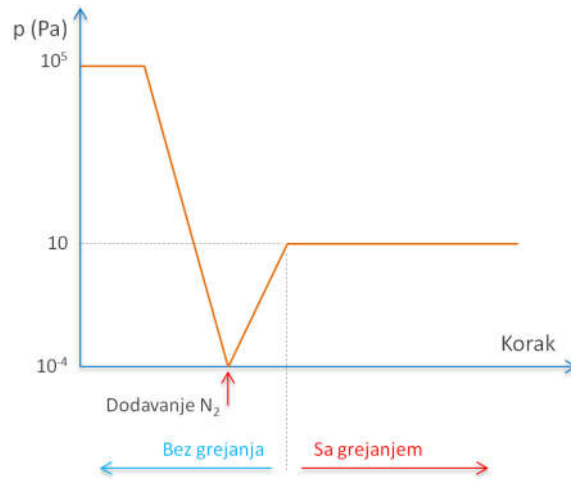
Pri termičkoj obradi u vakumu može doći do selektivnog otparavanja (isparavanja) pojedinih elemenata. Naime, elementi prelaze iz čvrstog stanja u stanje pare ukoliko je pritisak niži od njihovog pritiska pare. Pritisak pare predstavlja onaj pri kome se čvrsta faza i faza pare nalaze u ravnoteži. Pritisak pare zavisi od temperature i ta zavisnost je prikazana na slici 6. Lako isparavaju oni elementi koji imaju visok pritisak pare, poput kadmijuma, cinka, magnezijuma, olova, pa i hroma. Železo isparava nešto teže od hroma, dok su za isparavanje vanadijuma i volframa potrebni znatno niži pritisci.

Isparavanje hemijskih elemenata je dvojako negativno. Pored promene hemijskog sastava, dolazi do kondenzacije elemenata na hladnim elementima peći što može dovesti do problema u funkcionisanju i održavanju. Taloge hemijskih elemenata na delovima peći potrebno je očistiti sa vremena na vreme.



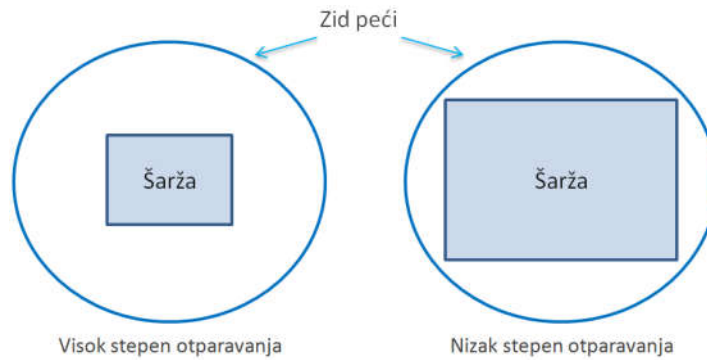
Slika 6: Pritisak pare za pojedine metale u funkciji temperature. Ukoliko je pritisak u vakum komori ispod krive određenog elementa, taj element će da ispari. Na primer pri kombinaciji pritiska od 100 Pa i temperature od 1000 °C (crvene linije) elementi poput Mn, Al, Cu, Cr i drugih su stabilni, ali Pb, Bi, Ca, Mg i drugi će ispariti.

Efekat selektivnog otparavanja može se smanjiti povećanjem pritiska u komori peći dodavanjem određenog gasa. Najčešće se dodaje azot. Prvo se izvrši vakumiranje peći na niži pritisak, reda veličine  $10^{-4}$  Pa, potom se dodaje azot dok se ne postigne pritisak oko 10 Pa i tek tada se vrši zagrevanje (slika 7).



Slika 7: Postupak smanjivanja selektivnog otparavanja povećanjem pritiska.

Drugi način da se umanja efekat selektivnog otparavanja jeste da odnos površine šarže prema površini peći bude što veći (slika 8).



Slika 8: Zavisnost efekta selektivnog otparavanja od veličine šarže.