



UNIVERZITET U NOVOM SADU
FAKULTET TEHNIČKIH NAUKA

Predmet: **Osnovi mašinskih tehnologija**

Nastavnik: *Prof. dr Marin Gostimirović*



TEHNOLOGIJA OBRADE SKIDANJEM MATERIJALA

Novi Sad, šk. 2014/2015. god.

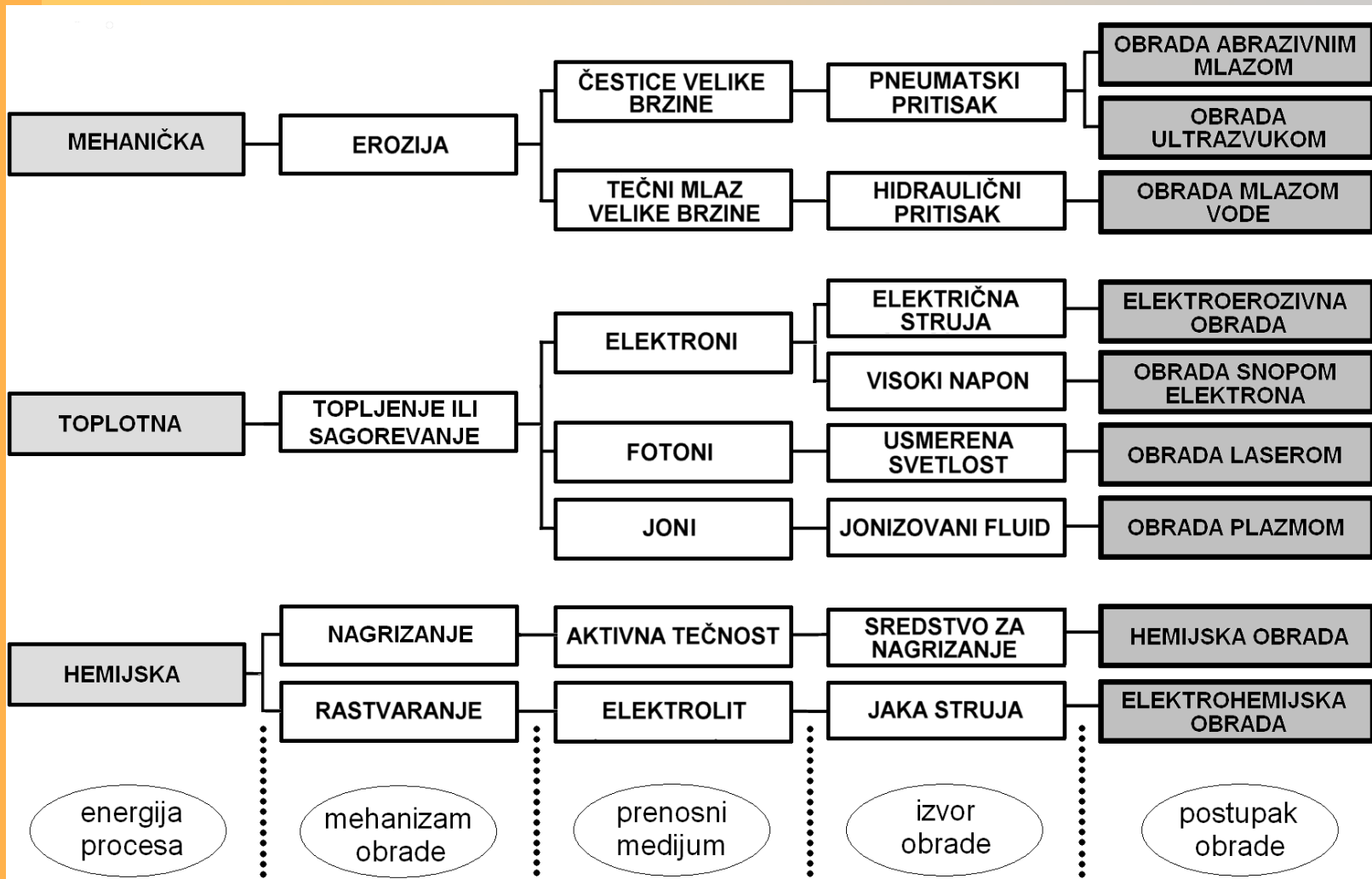
NEKONVENCIONALNE TEHNOLOGIJE OBRADE

Uvodno razmatranje

- ★ Neprekidni napredak savremenog društva dovodi do stalnog **razvoja novih delova**, sklopova i kompletnih uređaja visokog nivoa složenosti i kvaliteta obrade.
- ★ Za izradu ovih proizvoda sve više koristi **široka nomenklatura savremenih materijala** visokih mehaničkih, metalurških i fizičko-hemijskih karakteristika.
- ★ Povećanjem mehaničkih svojstava materijala obratka **značajno se smanjila ekonomska brzina rezanja** ili sposobnost oblikovanja materijala.
- ★ Od sredine XX veka dolazi do razvoja i primene novih postupaka obrade materijala, tzv. **nekonvencionalne tehnologije obrade**
- ★ Danas se nekonvencionalne tehnologije obrade prvenstveno koriste pri obradi **teško obradljivih materijala** i specifičnih proizvodnih operacija.
- ★ Sve češće se koriste i pri obradi **delova specifičnog geometrijskog oblika** od inače dobro obradljivih materijala zbog jednostavnije kinematike procesa obrade.
- ★ Primena nekonvencionalnih tehnologija obrade stalno raste, a treba očekivati da će se to u **budućnosti intenzivirati**.

NEKONVENCIONALNE TEHNOLOGIJE OBRADE

Klasifikacija



Osnovne karakteristike

- Nezavisnost proizvodnosti i kvaliteta obrade
- Odsustvo potrebe za korišćenjem alata veće tvrdoće
- Značajno smanjenje odstranjenog dela materijala
- Pogodnost za izvođenje niza proizvodnih operacija
- Mogućnost izvođenja velikog broja različitih proizvodnih
- Visoka rentabilnost i kvalitet

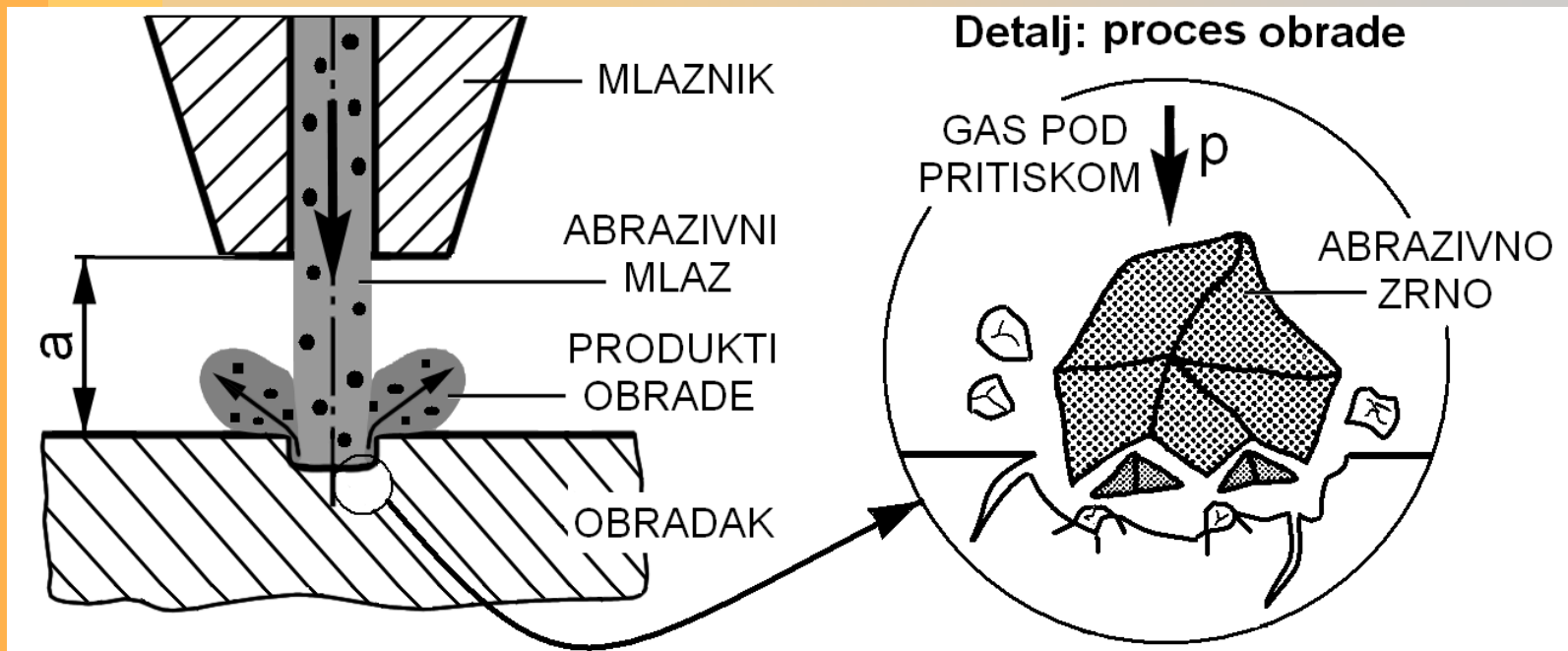
Primena

- ❖ obrada materijala bilo koje vrste i prirode;
- ❖ primena u svim industrijskim granama;
- ❖ širok spektar proizvodnih operacija;
- ❖ izrada složenih proizvoda i alata za oblikovanje materijala;
- ❖ izrada mikroelemenata;
- ❖ mogućnost delimične obrade predmeta velikih dimenzija;
- ❖ ekstremna brzina i preciznost obrade pri nekim obradama;
- ❖ obrada delova visokog kvaliteta obrađene površine itd.

Obrada abrazivnim mlazom

Mehanizam obrade

- ★ Skidanje materijala se ostvaruje *erozionim razaranjem materijala* oštrim ivicama abraziva koja se kreću vrlo velikom brzinom

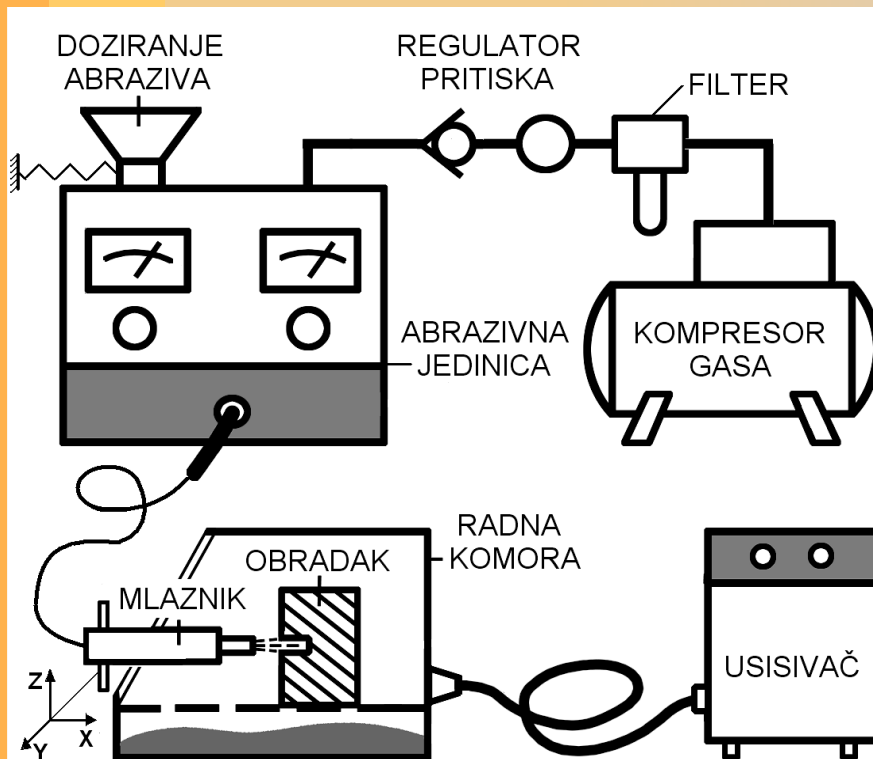


NEKONVENCIONALNE TEHNOLOGIJE OBRADÉ

Obrada abrazivnim mlazom

Instalacija

- ★ Tehnološki najvažniji elementi AJM instalacije su izmenljivi mlaznici koji mogu biti različitih tipova, oblika i dimenzija



Obrada abrazivnim mlazom

Tehnološke karakteristike procesa

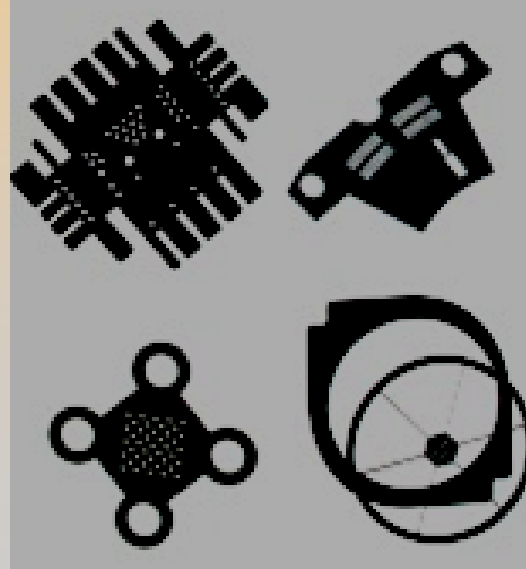
- ★ Najvažnije *tehnološke karakteristike procesa* obrade abrazivnim mlazom su: *produktivnost, tačnost obrade i kvalitet obrađene površine*
- ★ Tehnološke karakteristike zavise od niza parametara obrade, među kojima su najvažniji: *vrsta abraziva* (dijamant, aluminijum-oksidi, silicijum-karbid i silicijum-monoksidi); *veličina abraziva* (10÷50 mm); *sastav i pritisak mlaza* (0,2÷1 MPa); *radni zazor* (0,25÷10 mm); *ugao delovanja mlaza* (20÷90°); *materijal obratka* i dr
- ★ Pri obradi abrazivnim mlazom se *dobija relativno mala produktivnost i tačnost obrade*, ali s druge strane veoma *visoki kvalitet obrađene površine*.
- ★ Obrada abrazivnim mlazom je *potpuno hladan proces*, tako da se zbog odsustva toplotnog dejstva na obrađenoj površini ne odigravaju nikakve mikrostrukturne promene i pojave zaostalih napona

NEKONVENCIONALNE TEHNOLOGIJE OBRADE

Obrada abrazivnim mlazom

Primena

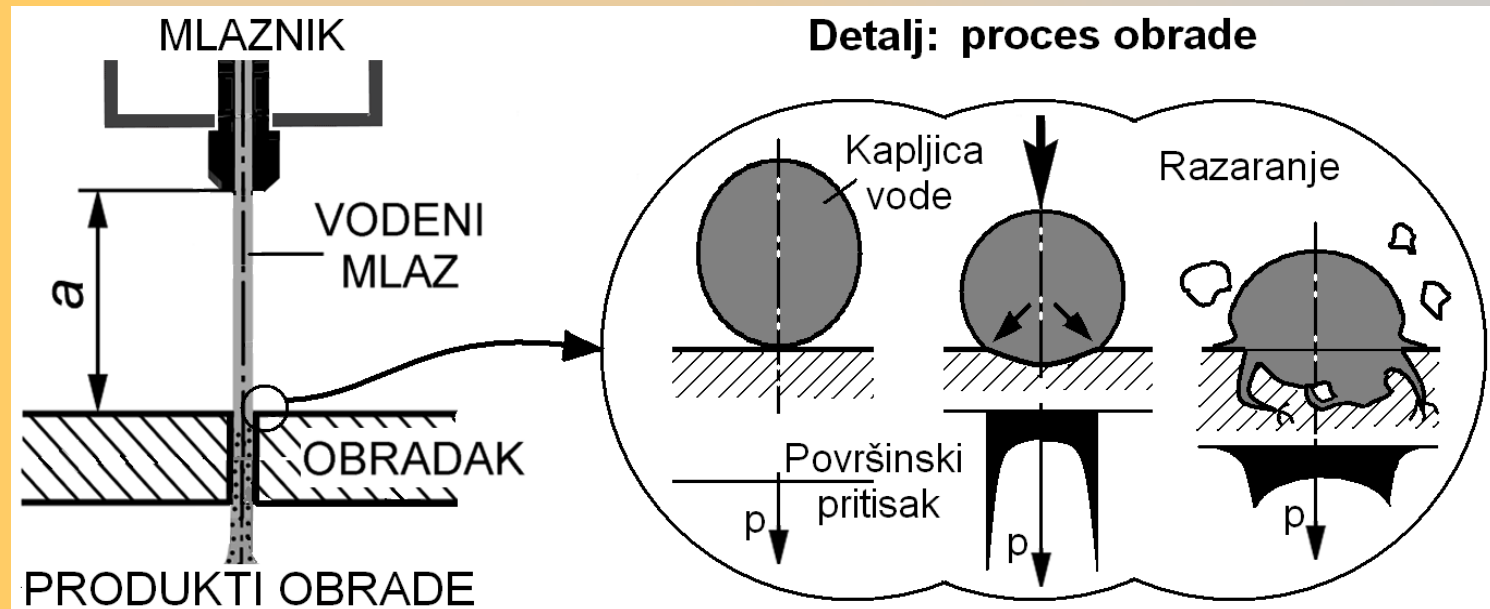
- ★ Pogodna za obradu: *nemetalnih materijala* koji su osetljivi na udare; *poluprovodničkih materijala* i drugih *krtih i tvrdih materijala*
- ★ **Osnovne operacije** abrazivne obrade su *sečenje i bušenje* ali i za: *poliranje; obaranje oštih ivica; označavanje; dekorativno graviranje; fino čišćenje* i sl.
- ★ U mašinskoj industriji (poliranje), elektronskoj industriji (dorada i čišćenje) industriji stakla i optičkih komponenata (sečenje, bušenje i graviranje)



Obrada vodenim mlazom

Mehanizam obrade

- ★ Postupak skidanja materijala vodenim mlazom bazira na **udarnom delovanju mlaza tečnosti** pod visokim pritiskom u materijal obratka
- ★ Vodeni mlaz može posmatrati kao skup elementarnih čestica vode čija se visoka kinetička energija kretanja pretvara u **erozioni mehanički rad**



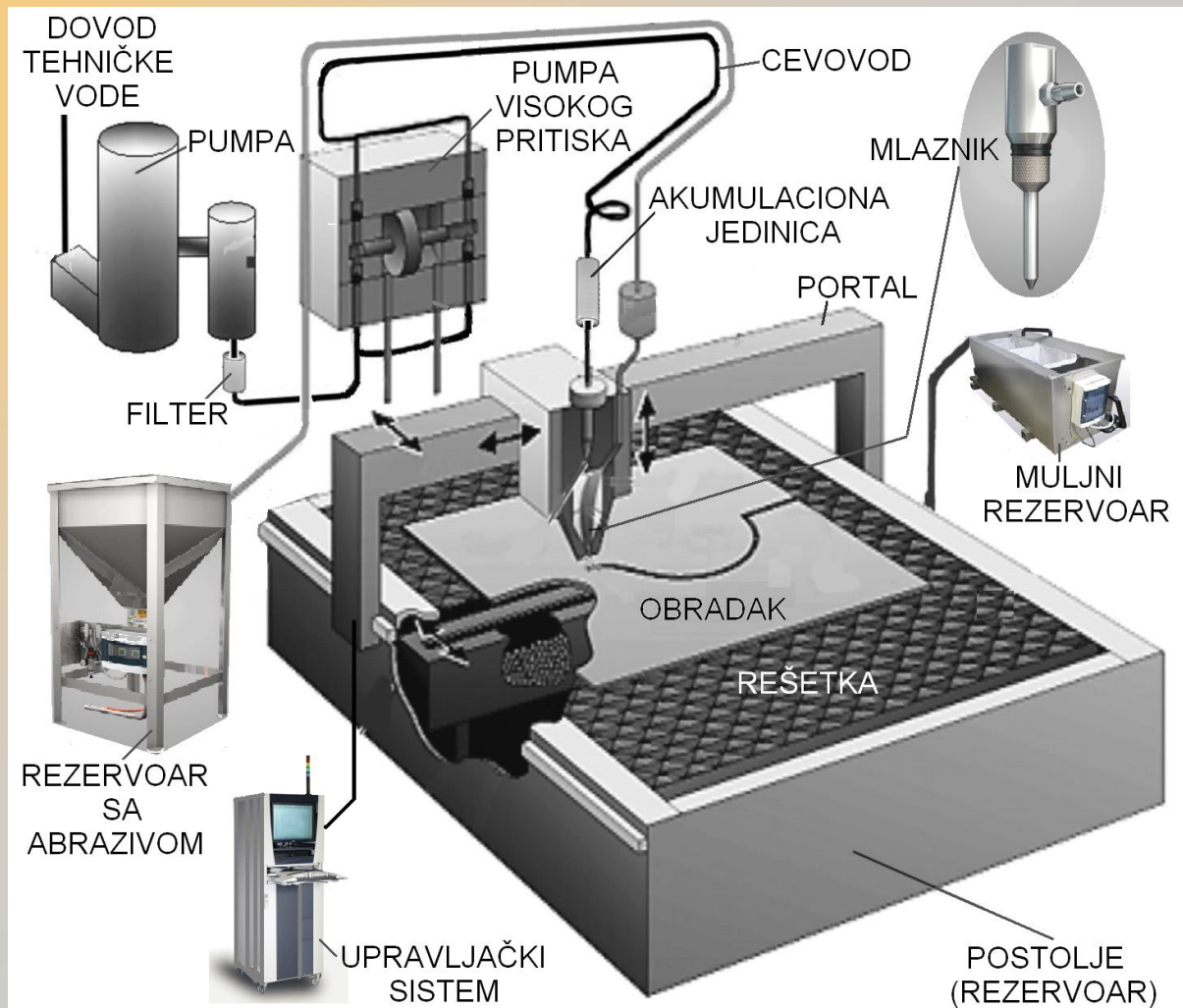
NEKONVENCIONALNE TEHNOLOGIJE OBRADÉ

Obrada vodenim mlazom

Instalacija

Karakteristične jedinica:

- ★ *hidraulični uređaj visokog pritiska;*
- ★ *sistem za prihvatanje i vođenje mlaznika;*
- ★ *radni sto za postavljanje obratka;*
- ★ *sabirnica i rezervoar produkata obrade;*
- ★ *abrazivna jedinica*
- ★ *upravljački sistem.*



Obrada vodenim mlazom

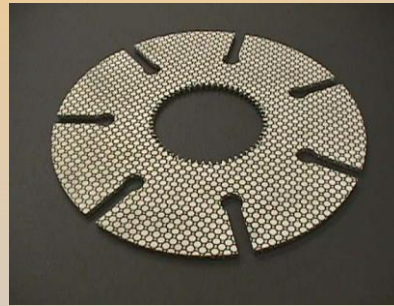
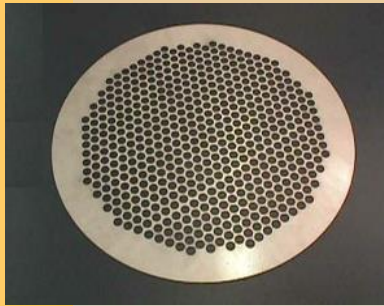
Tehnološke karakteristike procesa

- ★ Kod obrade vodenim mlazom se postiže vrlo **visoka proizvodnost uz zadovoljavajuću** tačnost i kvalitet obrade
- ★ Postoji niz **faktora od kojih zavise tehnološke karakteristike WJM procesa**, kao što su: *vrsta i kvalitet mlaza; karakteristike uređaja visokog pritiska; konstrukcija mlaznika – dizne; vrsta i debljina materijala obratka* i dr
- ★ Pri obradi vodenim mlazom **greška izrade** je uglavnom posledica nedefinisanog "reznog alata", tj. mlaza tečnosti konusnog oblika.
- ★ Pri obradi vodenim mlazom **stanje površinskog sloja materijala** obratka ostaje nepromenjeno
- ★ Obradu vodenim mlazom karakterišu **značajne geometrijske neravnine**: *valovitost površine; zakrivljeni tragovi obrade i neujednačena hrapavost obrađene površine*

Obrada vodenim mlazom

Primena

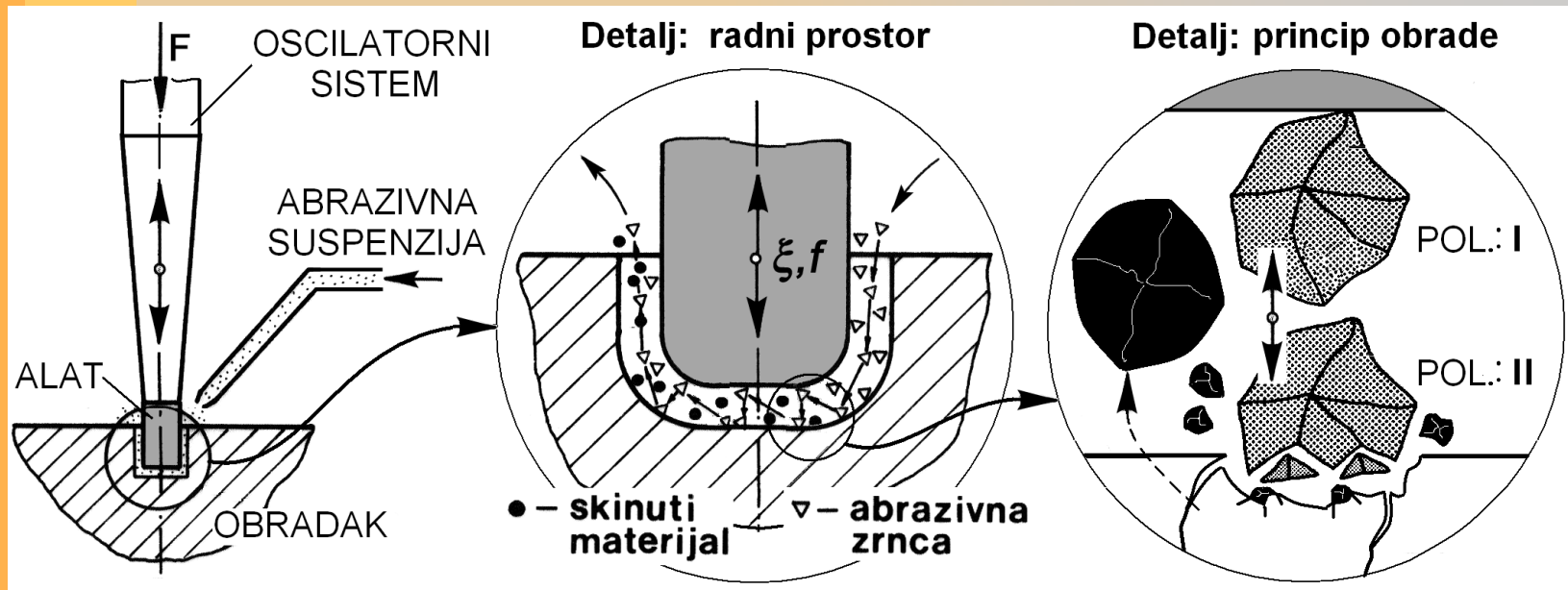
- ★ Vodenim mlazom mogu se obrađivati skoro sve vrste **metalnih, nemetalnih i kompozitnih materijala**
- ★ Prvenstveno se koristi za **sečenje** preciznih delova složenog geometrijskog oblika iz materijala pločastog oblika.
- ★ Svoju primenu ova obrada je našla u **mnogim industrijskim granama**



Obrada ultrazvukom

Mehanizam obrade

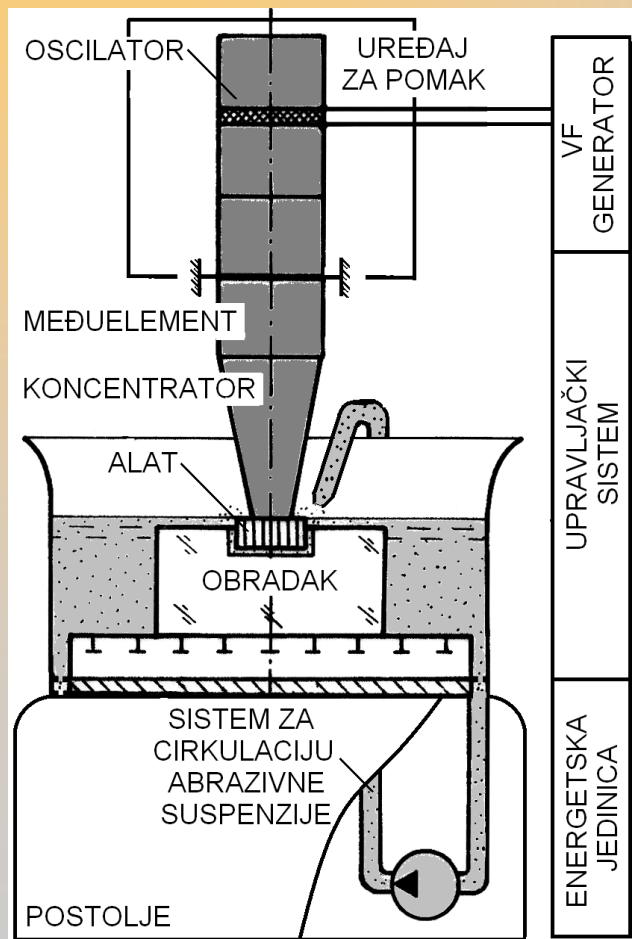
- ★ Suština procesa obrade ultrazvukom je u skidanju materijala obratka posredstvom intenzivnog *nabijanja abrazivnih zrnaca* u površinu predmeta obrade
- ★ Pri obradi alat se nalazi pod stalnim dejstvom sile F , uz uzdužno oscilovanje određenom amplitudom ξ i ultrazvučnom frekvencijom f



NEKONVENCIONALNE TEHNOLOGIJE OBRADE

Obrada ultrazvukom

Instalacija



Obrada ultrazvukom

Tehnološke karakteristike procesa

- ★ ***Proizvodnost ultrazvučne obrade*** uglavnom zavisi od sledećih parametara: *amplitude i frekvencije alata; vrste i krupnoće abrazivnih zrnaca; vrste tečnosti; koncentracije abraziva u suspenziji; sile pritiska alata; površine koja se obrađuje; načina dovođenja abrazivne suspenzije; materijala obratka; materijala alata i dr.*
- ★ ***Tačnost dimenzionalne obrade*** ultrazvukom zavisi od dve osnovne grupe faktora. U prvu grupu spadaju opšti faktori prisutni i kod drugih procesa obrade materijala, kao što su: *krutost obradnog sistema mašina-alat-obradak; tačnost pozicioniranja alata i obratka; tačnost izrade i montaže elemenata oscilatornog sistema; tačnost izrade alata i dr.* Faktori druge grupe su specifični za ovu vrstu obrade.
- ★ Pri obradi ultrazvukom ne dolazi do mikrostrukturnih promena i pojave zaostalih napona. Takođe, ***hrapavost obrađene površine*** je relativno vrlo mala i ujednačena u svim pravcima.

Obrada ultrazvukom

Primena

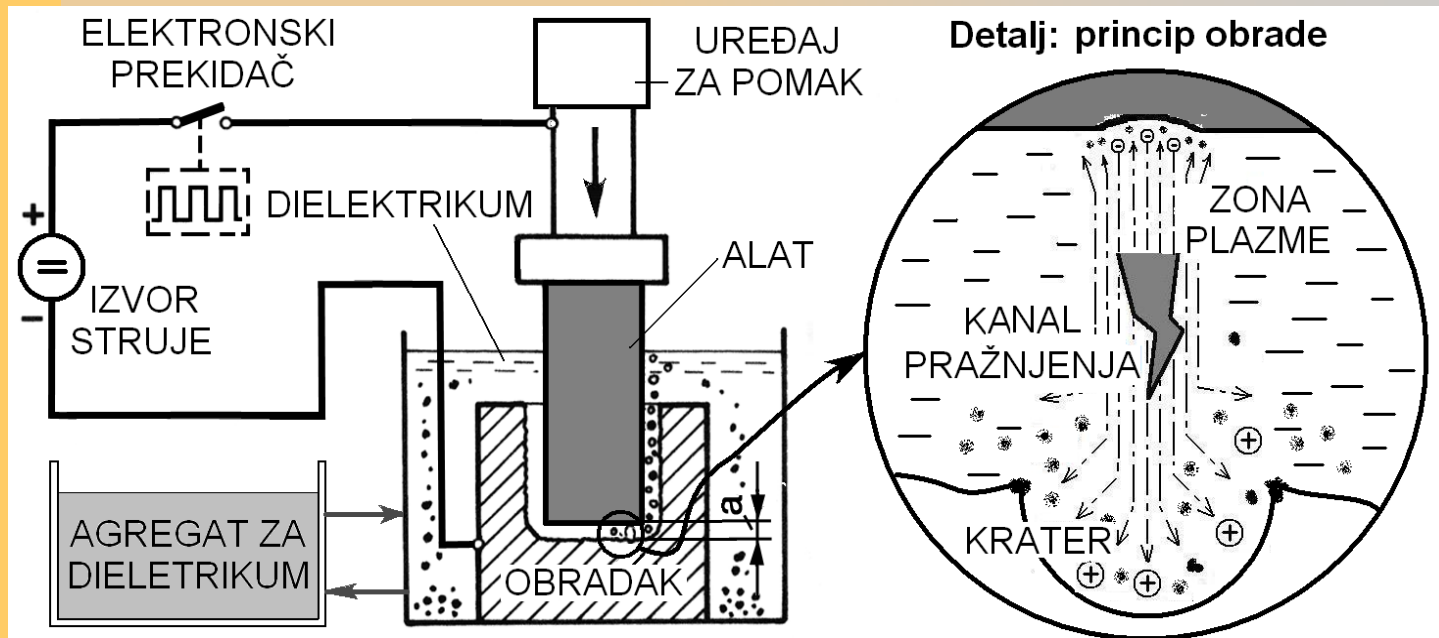
- ★ Ultrazvučna obrada ima prvenstvenu primenu pri dimenzionalnoj obradi **nemetalnih tvrdih i krutih materijala**
- ★ Mogu se obavljati **različite proizvodne operacije**, kao što su: *bušenje, proširivanje, upuštanje, prosecanje, odsecanje, poliranje, čišćenje i sl.*
- ★ **Dimenzionalna obrada ultrazvukom** je našla svoju primenu u *industriji alata; preciznoj mehanici; optičkoj i elektronskoj industriji; industriji motora i turbina*



Elektroerozivna obrada

Mehanizam obrade

- ★ Uspostavljanjem toka struje, kroz uski kanal dielektrikuma, nastaje *proces električnog pražnjenja* između alata i obratka.
- ★ Dolazi do transformacije *električne u toplotnu energiju* u relativno maloj zapremini zone pražnjenja, koja dovodi do *zagrevanja, topljenja, isparavanja i sagorevanja* lokalnog dela materijala obratka

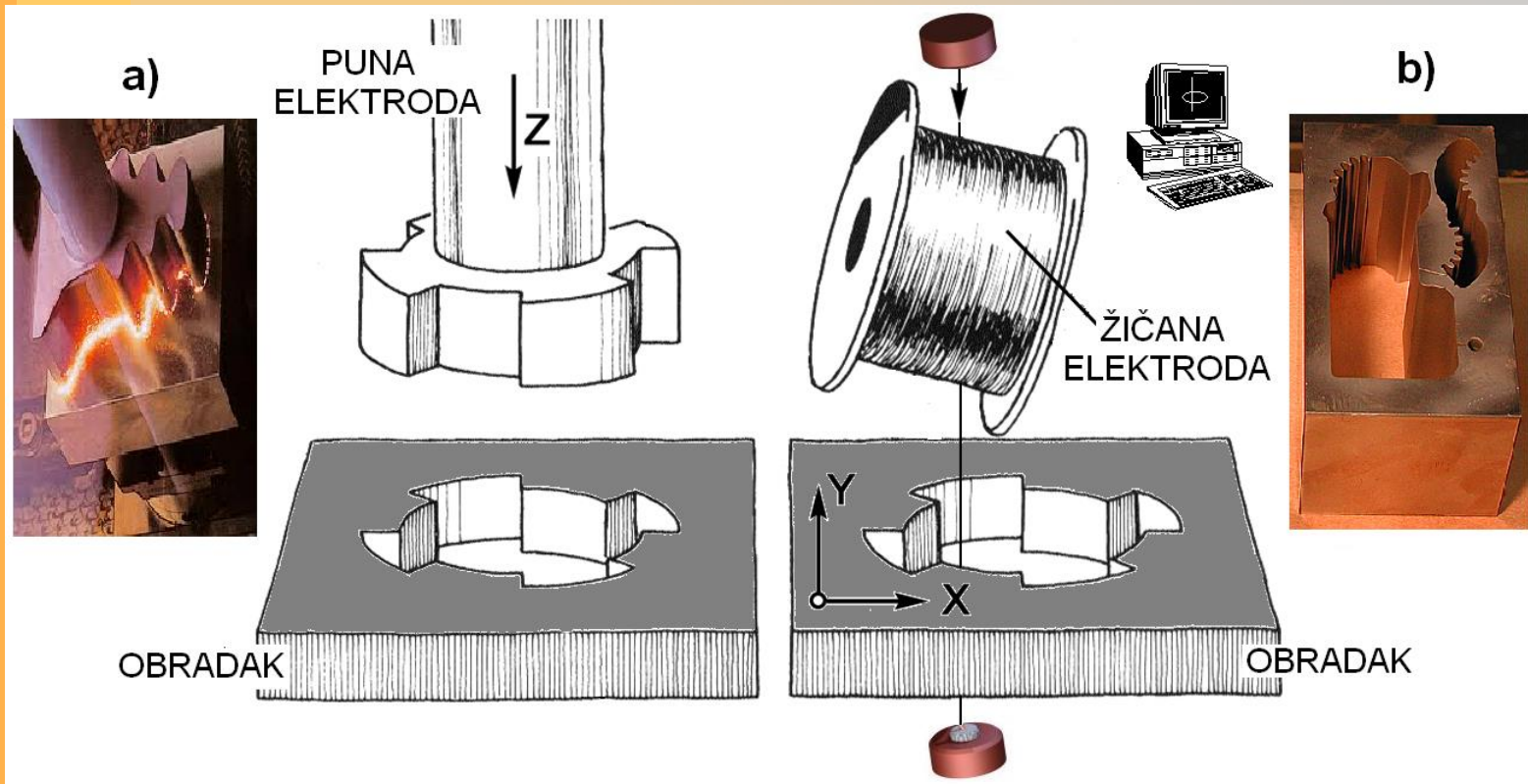


NEKONVENCIONALNE TEHNOLOGIJE OBRADE

Elektroerozivna obrada

Princip obrade

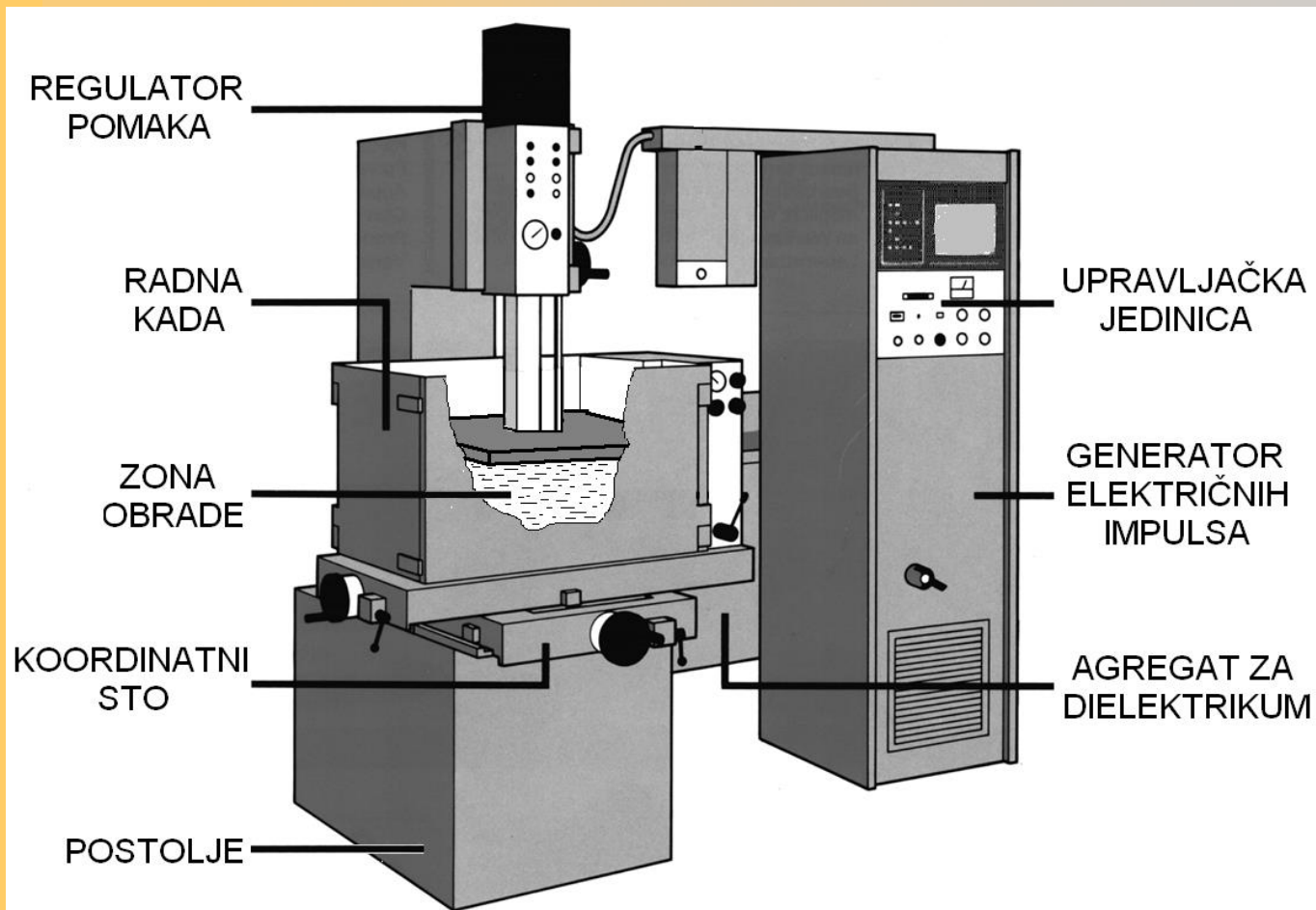
*Elektroerozivne mašine za upuštanje sa punom elektrodom i
Elektroerozivne mašine za sečenje sa žičanom elektrodom.*



NEKONVENCIONALNE TEHNOLOGIJE OBRADÉ

Elektroerozivna obrada

Instalacija



Elektroerozivna obrada

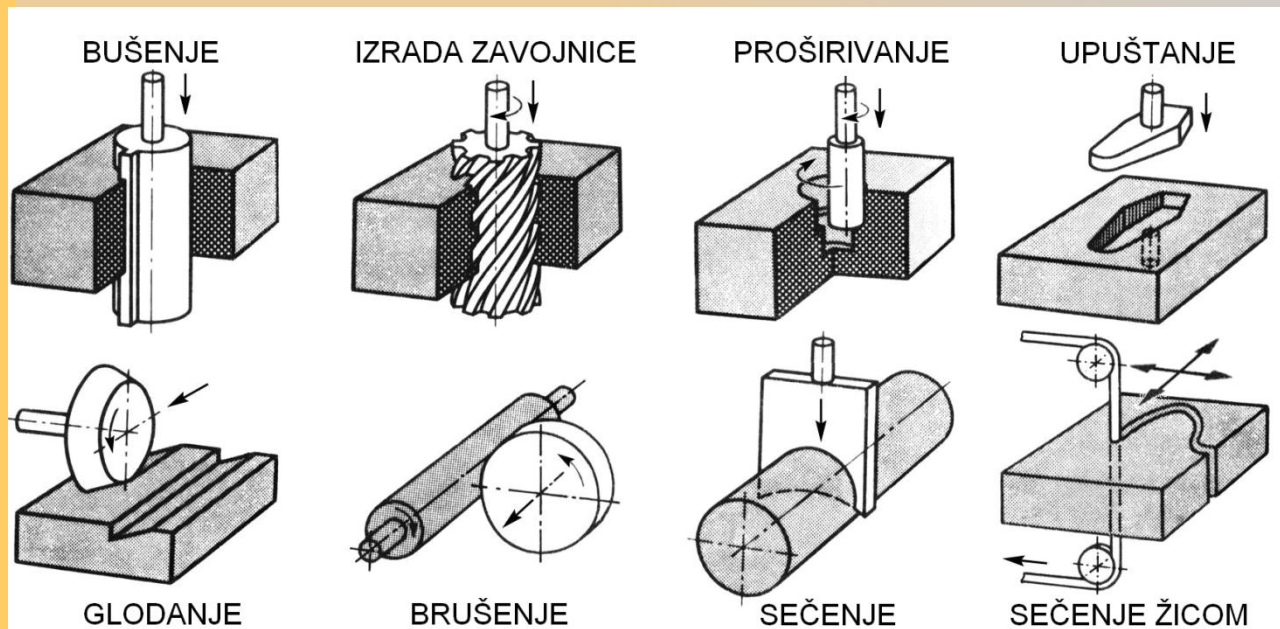
Tehnološke karakteristike procesa

- ★ *Proizvodnost pri elektroerozivnoj obradi* zavisi od : materijala obratka; parametara električnih impulsa; uslova ispiranja radnog prostora; materijala elektrode i dr.
- ★ Mogu obrađivati materijali koji poseduju **minimalnu električnu provodljivost**, tj. *metali i njihove legure, tvrdi metalni karbidi, metalna keramika i sl.*
- ★ *Tačnost pri elektroerozivnoj obradi* prvenstveno zavisi od: *opštih faktora vezanih za samu EDM mašinu; tačnosti izrade alata; toplotnih dilatacija elektroda; promene radnog zazora; trošenja alata i dr..*
- ★ *Mikrogeometrija površine* dobijene elektroerozivnom obradom se bitno razlikuje od površine dobijene konvencionalnim postupcima obrade. Površina dobijena elektroerozijom je sastavljena od **sitnih kratera** određenog prečnika i dubine.
- ★ Kako se pri elektroerozivnoj obradi u radnom prostoru javljaju ekstremno visoke temperature, za očekivati je **pojavu termičkih defekata** u površinskom sloju materijala obratka

Elektroerozivna obrada

Primena

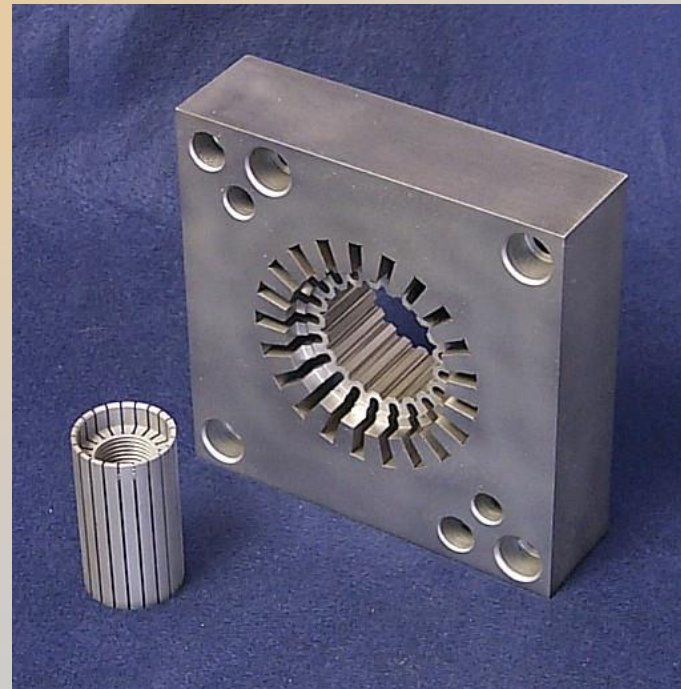
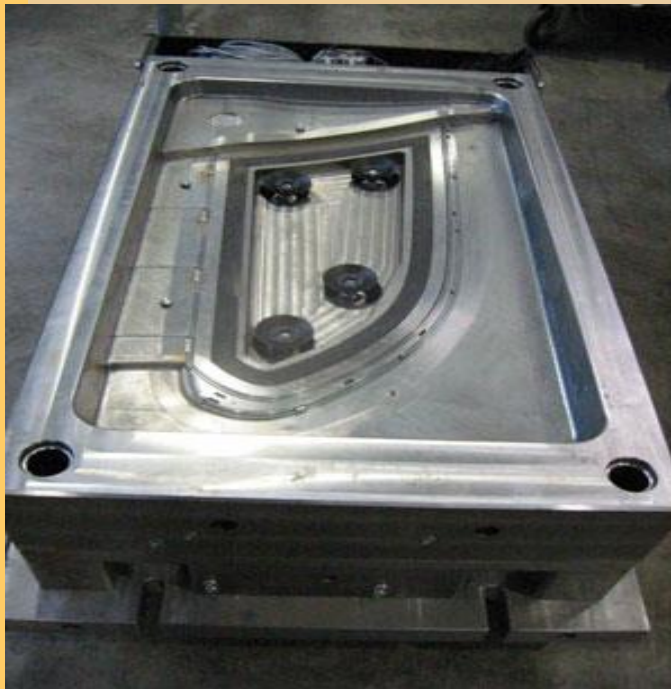
- ★ Uglavnom opravdana kod *obrade teško obradljivih čelika i tvrdih metala*, koji se konvencionalnim obradama teško ili nikako ne mogu obrađivati.
- ★ Može biti ekonomična i kod *obrade kompleksnih površina* klasično obradljivih materijala, s obzirom na jednostavnu kinematiku kretanja alata i obratka.
- ★ **Osnovne operacije** elektroerozivne obrade



Elektroerozivna obrada

Primena

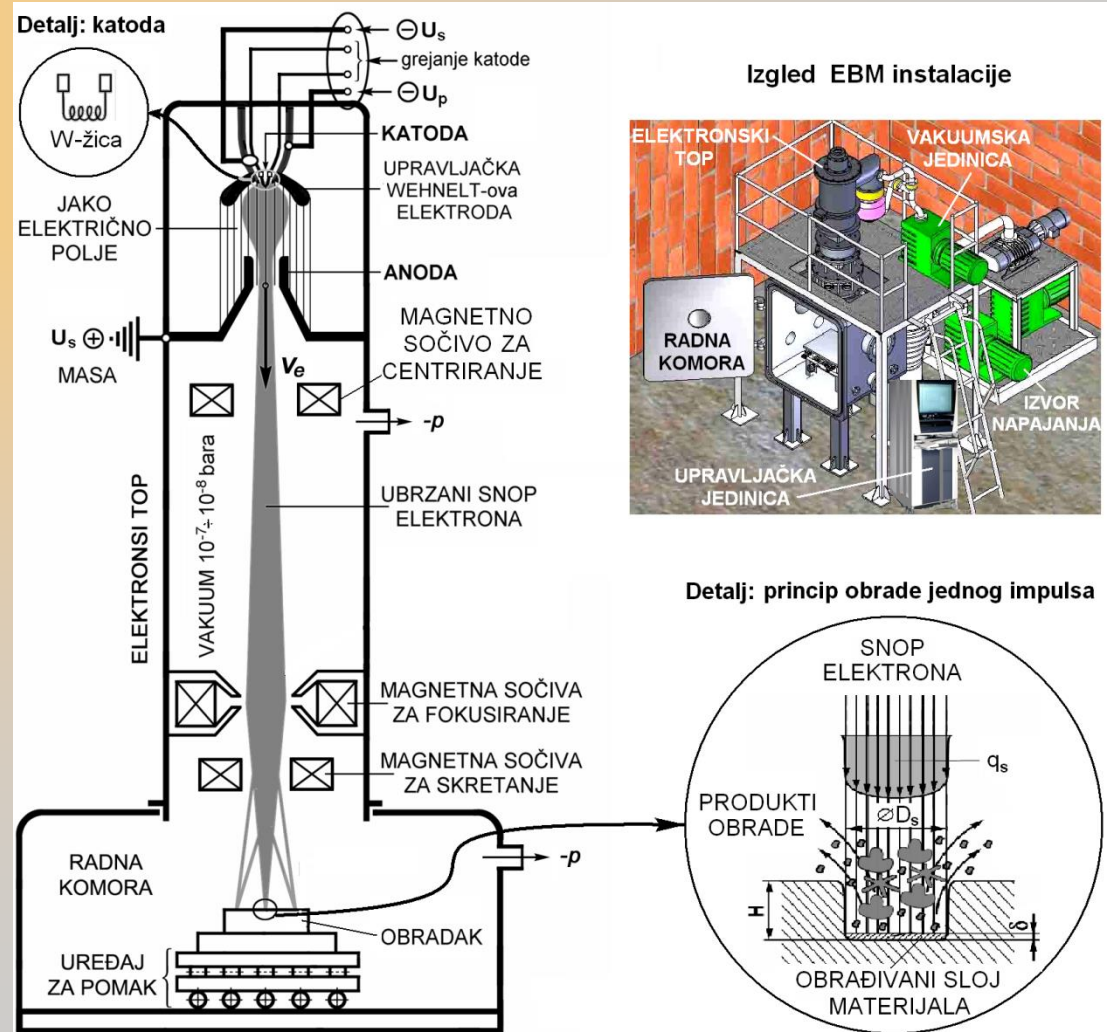
- ★ Elektroerozivna obrada je danas široko zastupljen i ekonomski opravdan postupak koji pruža **velike mogućnosti primene u mašinogradnji** i danas se najčešće koristi pri izradi: *alata za plastično deformisanje; kokila za livenje; alata za preradu plastičnih masa; složenih, specijalnih i mikronskih delova; prototipova* i dr



Obrada elektronskim snopom

Fizičke osnove obrade i instalacija

- ★ Proces skidanja materijala se zasniva na **usmeravanju mlaza ubrzanih elektrona** snažnog intenziteta ($10^2 \div 10^{10}$ W/cm²) na malu površinu materijala obratka



Obrada elektronskim mlazom

Tehnološke karakteristike procesa

- ★ Kod obrade elektronskim snopom, s obzirom da se prvenstveno koristi u postupcima mikroobrada, **postiže se relativno visoka proizvodnost, tačnost i kvalitet obrade**.
- ★ Osnovni **faktori od kojih zavise** tehnološke karakteristike EBM procesa su: *snaga ili intenzitet elektronskog snopa; prečnik fokusiranog snopa elektrona; brzina kretanja snopa po površini obratka; način delovanja elektronskog snopa; dužina i frekvencija impulsa* i dr.
- ★ Osnovni mehanizam obrade snopom elektrona, koji se zasniva na pojavi visoke temperature u uskoj zoni obrade, dovodi do neizbežnih **geometrijskih grešaka i fizičko-hemijskih promena** u površinskom sloju materijala obratka

Obrada elektronskim mlazom

Primena

- ★ Koristi za *obradu svih vrsta materijala* (metalnih i nemetalnih), bez obzira na njihove mehaničke osobine, fizička svojstva i hemijski sastav
- ★ Postupak obrade primenjuje za široki *spektar proizvodnih operacija*, kao što su: *sečenje i prosecanje materijala; bušenje i perforiranje malih otvora, izrada prostornih gravura; graviranje, topljenje i oplemenjavanje materijala; zavarivanje i lemljenje; termička obrada* itd.

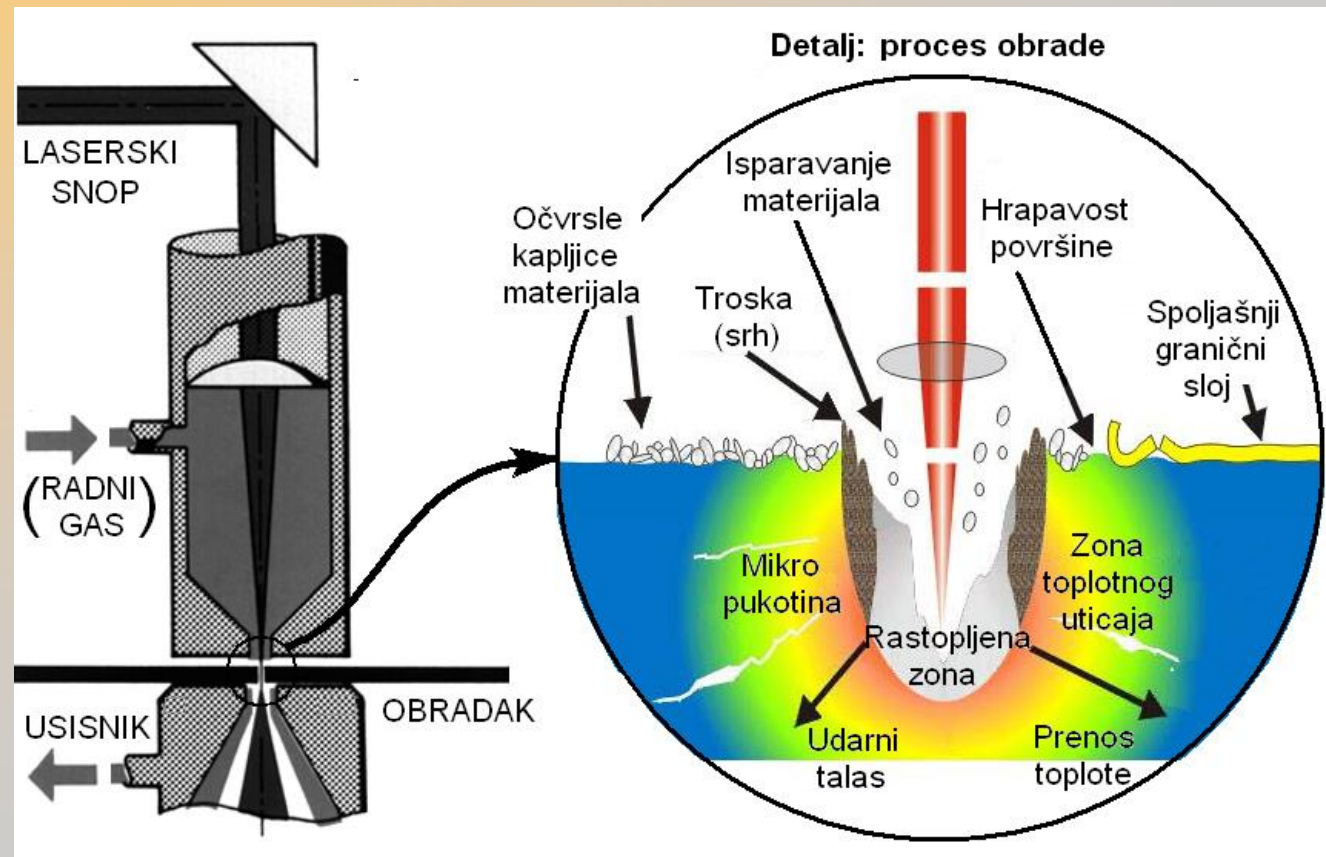


NEKONVENCIONALNE TEHNOLOGIJE OBRADE

Obrada laserom

Mehanizam obrade

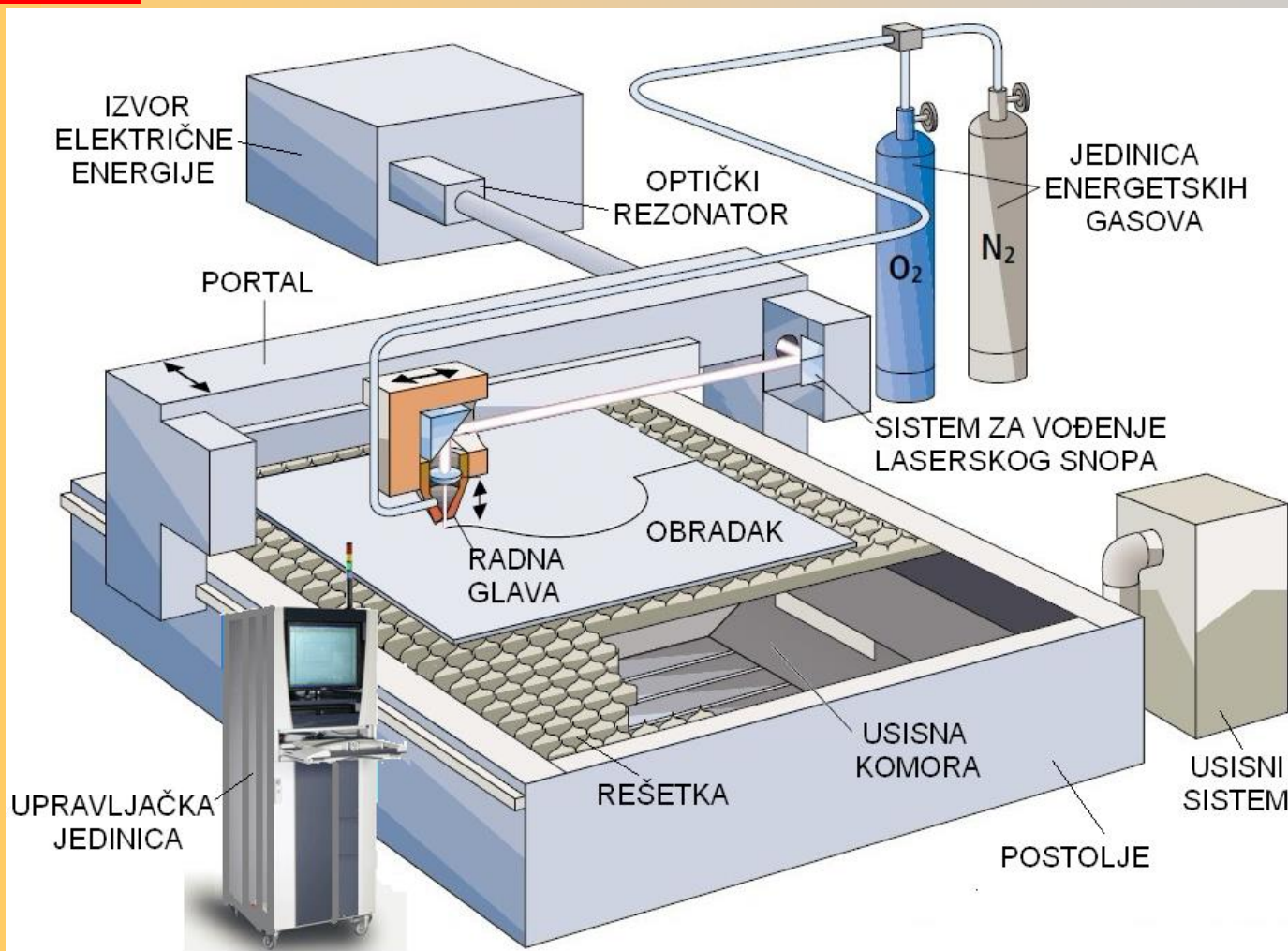
- ★ **Proces obrade laserom** ostvaruje se putem **apsorpcije laserskog snopa** u površinski sloj materijala obratka.
- ★ Fokusiranjem laserskog snopa dolazi do intenzivne **koncentracije snage lasera** ($10^8 \div 10^{13} \text{ W/cm}^2$) i pretvaranja svetlosne energije u toplotnu, **temperature** $4000 \div 6000 \text{ }^\circ\text{C}$.



NEKONVENCIONALNE TEHNOLOGIJE OBRADE

Obrada laserom

Instalacija



Obrada laserom

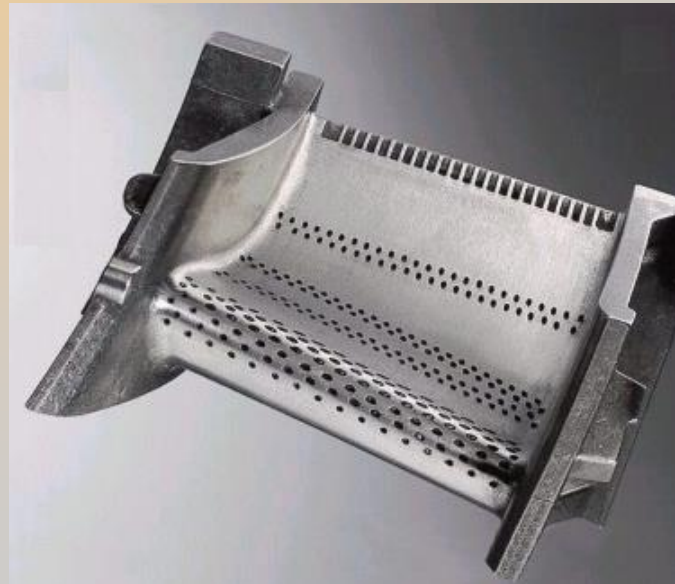
Tehnološke karakteristike procesa

- ★ *Tehnološke karakteristike* zavise od: *energetskih i geometrijskih karakteristika laserskog snopa; toplotno-fizičkih svojstava materijala obratka; vrste proizvodne operacije; karakteristika kretanja obratka ili radne glave i dr.*
- ★ Proizvodnost obrade najviše zavisi od *koncentracije energije i broja impulsa*. Veoma značajan parametar proizvodnosti je pravilno izabrana *brzina pomoćnog kretanja*, kako se ne bi pojavio proces nepotpune obrade .
- ★ Kako se radi o *nedefinisanoj geometriji procesa obrade laserom*, neizbežne su greške dimenzija, oblika i položaja. Odstupanja mera i profila obrade od propisanih posebno su izražena kod grube obrade robusnih radnih predmeta.
- ★ Pri obradi laserom, zbog pojave visoke temperature u uskoj zoni obrade, neizbežne su *značajnije geometrijske neravnine i fizičko-hemijske promene* u površinskom sloju materijala obratka

Obrada laserom

Primena

- ★ LBM može da se koristi za *obradu svih vrsta metalnih i nemetalnih materijala*, stim da poseduju **minimalno svojstvo apsorpcije** infracrvenog zračenja
- ★ Karakteristične grupe **LBM operacija**: *obrade skidanjem materijala i toplotno-termičke obrade materijala.*
- ★ Najrasprostranjenija primena je kod proizvodnih operacija **sečenja i bušenja** raznih vrsta i debljina materijala (metali debljina do 10 mm i nemetali do 30 mm)

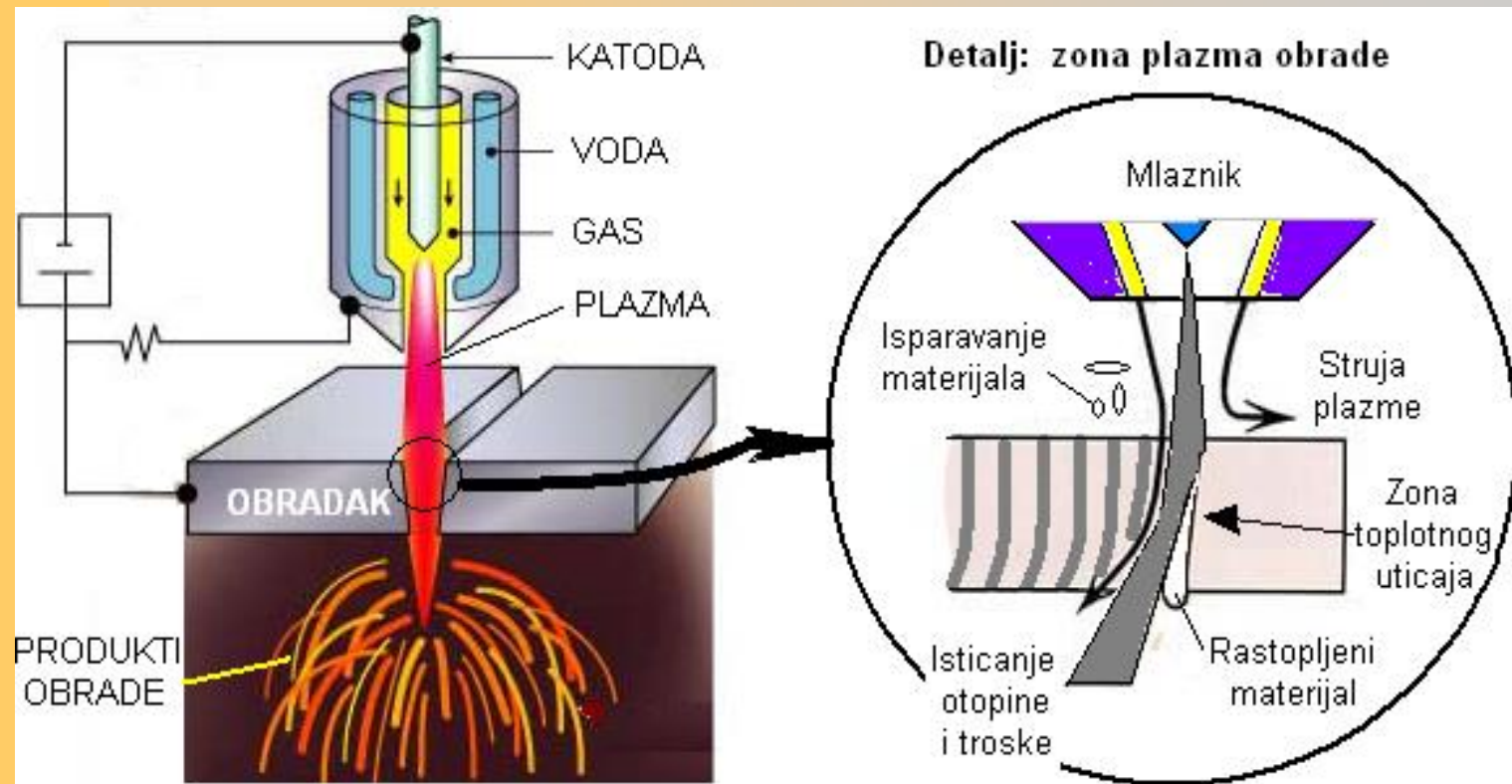


NEKONVENCIONALNE TEHNOLOGIJE OBRADE

Obrada plazmom

Mehanizam obrade

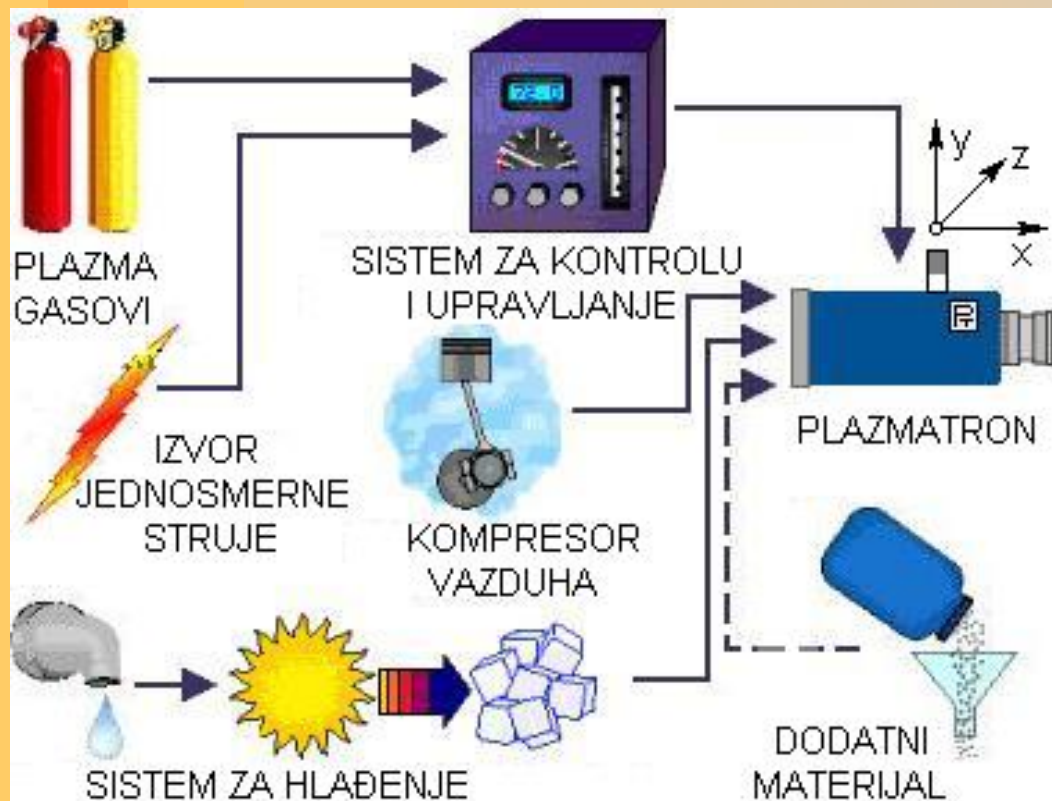
- ★ Proces obrade materijala plazmom bazira na *visokoj toplotnoj i kinetičkoj energiji struje plazme* usmerene na površinu materijala obratka.
- ★ Temperatura na mestu obrade dostiže vrednost $4000 \div 10000 \text{ }^{\circ}\text{C}$.



NEKONVENCIONALNE TEHNOLOGIJE OBRADE

Instalacija

Obrada plazmom



Obrada plazmom

Tehnološke karakteristike procesa

- ★ Obrada plazmom, zbog ogromne koncentracije toplotne energije struje plazme, odlikuje se *vrlo visokom proizvodnošću*.
- ★ Visoka i neujednačena temperatura struje plazme u širokoj zoni obrade, u sadašnjem trenutku, ograničava da se obrada plazmom koristi u proizvodnim *operacijama gde se zahteva visoka tačnost i kvalitet obrade*.
- ★ Postoji niz faktora od čijih specifikacija *zavise tehnološke karakteristike PAM procesa*, kao što su: *izvor napajanja* (struja i napon); *plazma gas* (vrsta i pritisak); *plazmatron* (dimenzije i položaj); *materijal obratka* (vrsta i debljina) i *proizvodna operacija* (topljenje ili zagrevanje)

NEKONVENCIONALNE TEHNOLOGIJE OBRADE

Obrada plazmom

Primena

- ★ Uz pomoć plazme se mogu obrađivati skoro sve vrste *metalnih i nemetalnih materijala*.
- ★ Međutim, primena je uglavnom opravdana kod obrade visokolegiranih čeličnih materijala, *teško obradljivih* Ti-Ta-W-Mo legura i teškotopljivih legura obojenih metala. Kod obrade nemetalnih materijala (keramika, staklo, oksidi, karbidi i sl.).
- ★ PAM se primenjuje za širok *spektar proizvodnih operacija*, kao što su: *sečenje, prosecanje, usecanje i bušenje materijala, zavarivanje, topljenje metala, termička obrada, nanošenje tvrdih prevlaka, sinterovanje metalnog praha i dr*

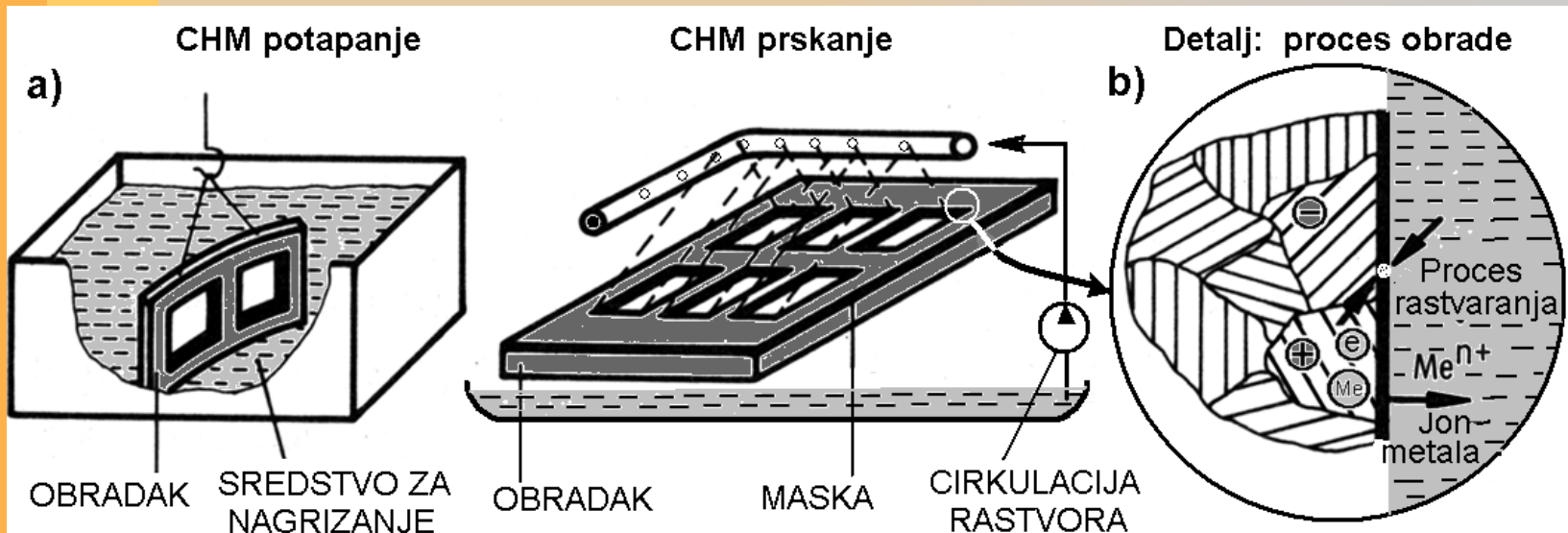


NEKONVENCIONALNE TEHNOLOGIJE OBRADE

Hemijska obrada

Mehanizam obrade

- ★ Hemijska obrada se zasniva na kontrolisanom *skidanju materijala nagrivanjem* pomoću kiselina, baza ili soli.
- ★ Proces obrade se ostvaruje potapanjem obratka u *kupatilo sa sredstvom za nagrivanje ili prskanjem* obratka tim sredstvom.



NEKONVENCIONALNE TEHNOLOGIJE OBRADE

Hemijska obrada

Instalacija



Izvor: "PCB Chine"

Hemijska obrada

Tehnološke karakteristike procesa

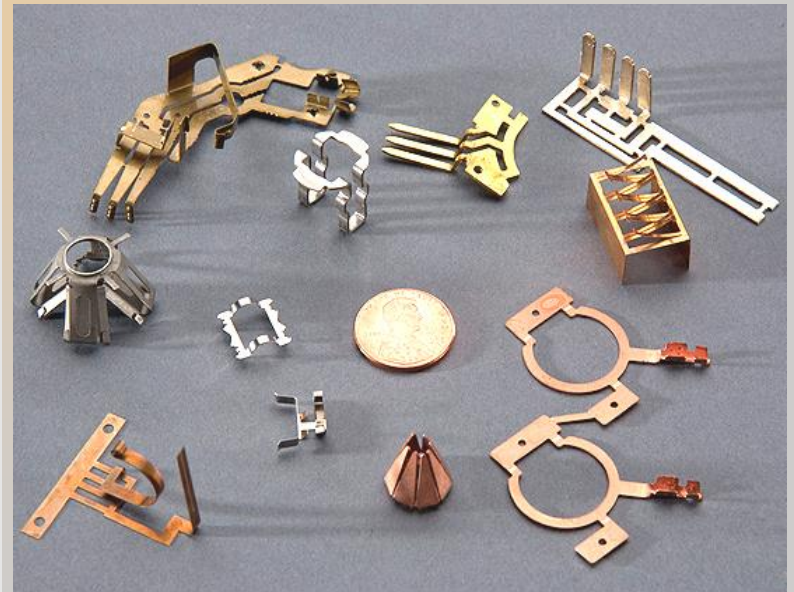
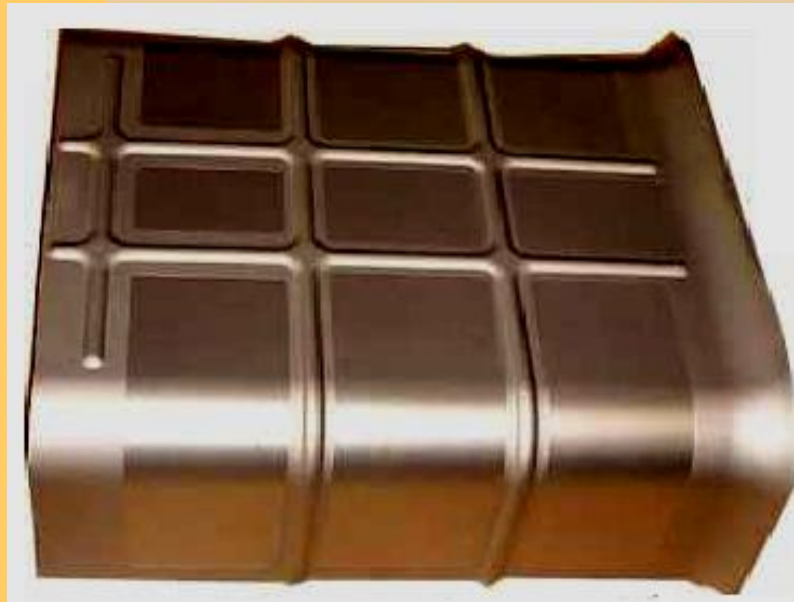
- ★ ***Proizvodnost*** pri hemijskoj obradi se obično izražava brzinom linijskog rastvaranja materijala ($\mu\text{m}/\text{min}$). Proizvodnost hemijske obrade zavisi od: *vrste materijala obratka; vrste, koncentracije i temperature sredstva za nagrivanje i intenziteta odstranjivanja rastvorenog materijala iz zone obrade.*
- ★ ***Tačnost hemijske obrade*** zavisi pre svega od: *vrste hemijskog nagrivanja; vrednosti faktora nagrivanja; tačnosti izrade maske; varijacije brzine rastvaranja i dr.* Tačnost izrađene maske direktno utiče na tačnost obrade, a foto maska omogućuje najviši nivo tačnosti.
- ★ ***Hrapavost obrađene površine*** pri hemijskoj obradi može da varira u širokim granicama, a uglavnom zavisi od: *vrste i karakteristika sredstva za nagrivanje; vrste i strukture materijala obratka; prethodne obrade i brzine rastvaranja.* Ne dolazi do termičkih defekata, ali u određenim slučajevima se mogu javiti: *međukristalna korozija, vodonična krtost, piting i sl*

NEKONVENCIONALNE TEHNOLOGIJE OBRADE

Hemijska obrada

Primena

- ★ Može obrađivati veliki broj **metala i njihovih legura**. Ovaj postupak je naročito pogodan kada se radi o izradi delova od krutih i tvrdih materijala, koji ne mogu da prime naprezanja koja se javljaju kod konvencionalnih postupaka obrade.
- ★ U principu se razlikuje više **vidova hemijske obrade** i to: *hemijsko glodanje, prosecanje, graviranje, dekoracija* i dr.

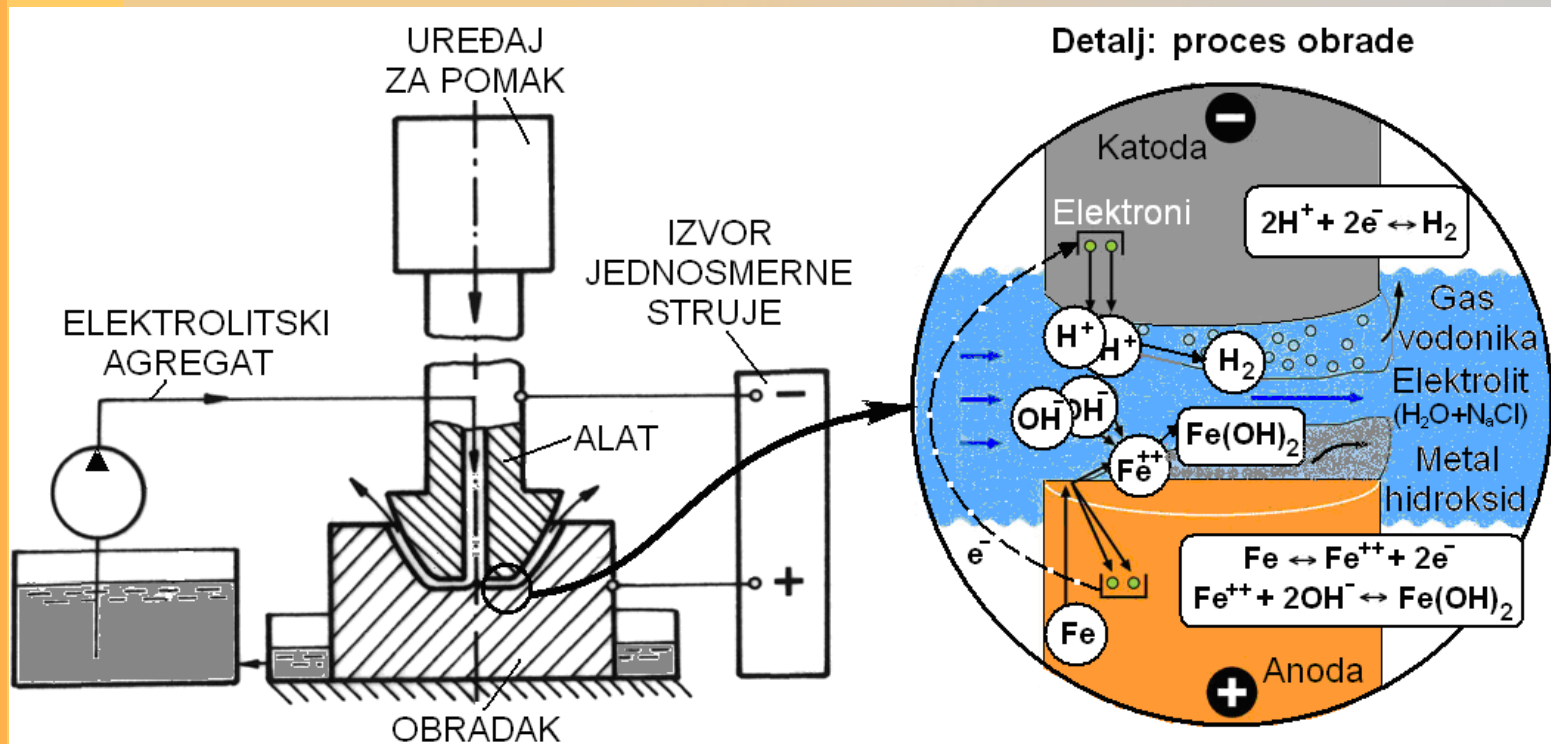


NEKONVENCIONALNE TEHNOLOGIJE OBRADE

Elektrohemijska obrada

Mehanizam obrade i instalacija

- ★ Proces elektrohemijske obrade se **zasniva na hemijskoj reakciji** između elektroda i elektrolita pod dejstvom električne struje.
- ★ **Šema instalacije**, sa ilustracijom hemijske reakcije u elektrolitičkom elementu.



Elektrohemijska obrada

Tehnološke karakteristike procesa

- ★ **Količina materijala** koja se rastvara pri elektrohemijskoj reakciji proporcionalna je jačini struje koja protiče između elektroda i vremena njenog proticanja.
- ★ **Tačnost elektrohemijske obrade** zavisi od više grupa parametara: *faktora koji su vezani za karakteristike obradnog sistema; tačnosti projektovanja i izrade alata; parametara režima obrade koji se biraju i podešavaju u okviru ECM postrojenja i faktora vezanih za nesavršenost odvijanja procesa u elektrolitičkoj ćeliji.*
- ★ U unutrašnjem graničnom sloju materijala obratka **ne dolazi do termičkih faznih** ili mikrostrukturnih promena. S druge strane, **hrapavost obrađene površine** pri elektrohemijskoj obradi može da varira u širokim granicama, zavisno od: *vrste i svojstva materijala obratka; vrste i karakteristika elektrolita i parametara režima obrade*

Elektrohemijska obrada

Primena

- ★ mogu se obrađivati svi *elektroprovodljivi materijali*.
- ★ Uglavnom se koristi u serijskoj i masovnoj proizvodnji delova složenog geometrijskog oblika, od čvrstih, tvrdih ili žilavih visokolegiranih čelika.
- ★ U principu se razlikuje više *vidova hemijske obrade* i to: *hemijsko glodanje, prosecanje, graviranje, dekoracija* i dr.
- ★ *Najzastupljenija je u izradi: raznih vrsta kalupa; turbinskih kola; delova reaktivnih i raketnih motora; specijalnih delova instalacija visokog pritiska; složenih delova opšteg mašinstva; mikrodelova itd*

