

Nekonenvenční obrábění

***Pavel Švanda
Univerzita Pardubice
DFJP – KMMČS***

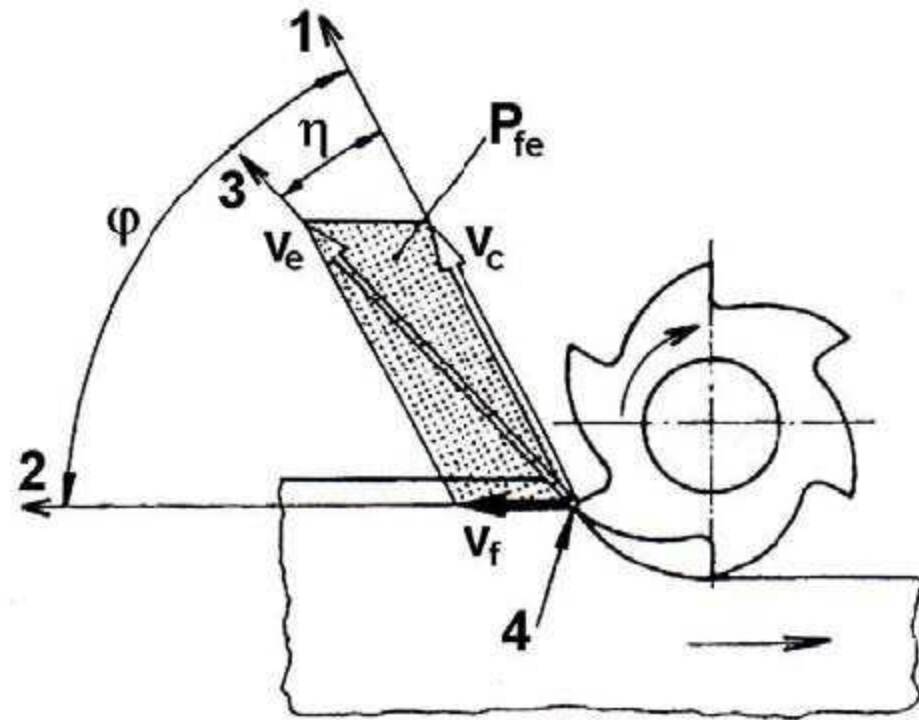
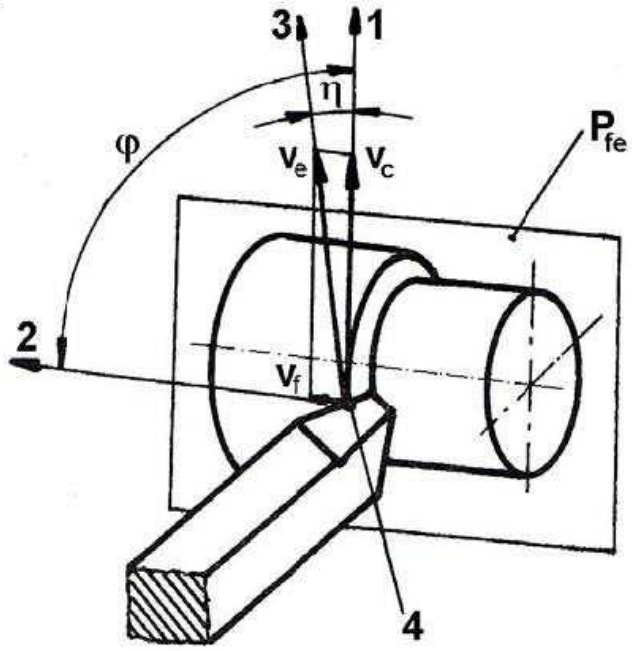
Opakování – třískové obrábění

Základní pojmy

- **Obrábění** – technologický proces, jímž se vytváří povrchy obrobku určitého tvaru, rozměru a jakosti postupným odebráním částic z hmoty obrobku; pomocí účinků mechanických, elektrických, chemických, případně jejich kombinací
- **Obrobek** – obráběný nebo již obrobený předmět
- **Obráběná plocha** – část povrchu odstraňovaná obráběním
- **Obrobená plocha** – plocha obrobku vytvořena obráběním
- **Plocha řezu** – plocha na obrobku vznikající bezprostředně za břitem nástroje
- **Tříska** – odříznutá a deformovaná vrstva materiálu obrobku

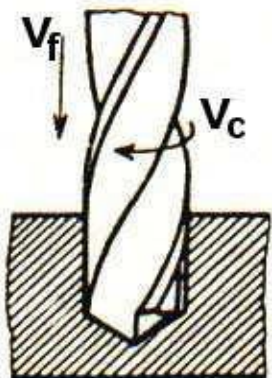
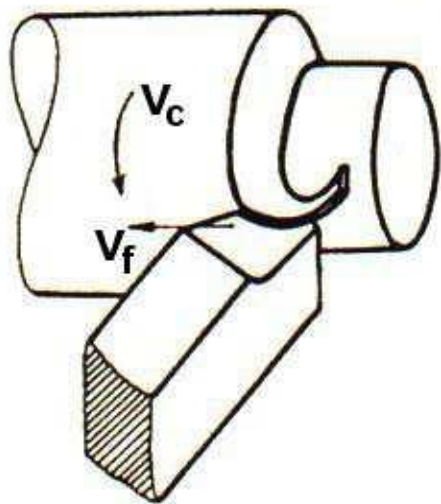
Řezání

- obrábění , při kterém se břitem řezného nástroje odebírají z hmoty obrobku částice materiálu ve tvaru třísek
- **Řezný pohyb** – relativní pohyb mezi nástrojem a obrobkem ⇒ uskutečňuje proces řezání
- **Hlavní pohyb** – složka řezného pohybu, která se shoduje se základním pohybem obráběcího stroje. Koná jej buď nástroj, nebo obrobek. Může být rotační, posuvný , nebo složený
- **Vedlejší pohyb** - sestává se zpravidla ze dvou pohybů
 - ❑ Posuvu
 - ❑ Přísuvu
- Tyto pohyby ovlivňují velikost třísek

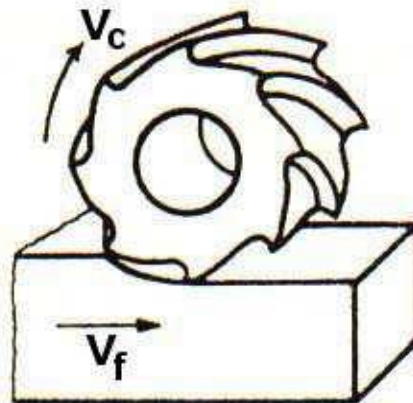


- **Řezná rychlost v_c** – je vyjádřena jako okamžitá rychlost hlavního řezného pohybu uvažovaného bodu ostří vzhledem k obrobku.
- **Posuvová rychlost v_f** – je určena jako okamžitá rychlost posuvového pohybu v uvažovaném bodě ostří vzhledem k obrobku.
- **Výsledný řezný pohyb** – vycházející pohyb ze současného hlavního a posuvového pohybu. Vznikne vektorovým součtem obou pohybů.

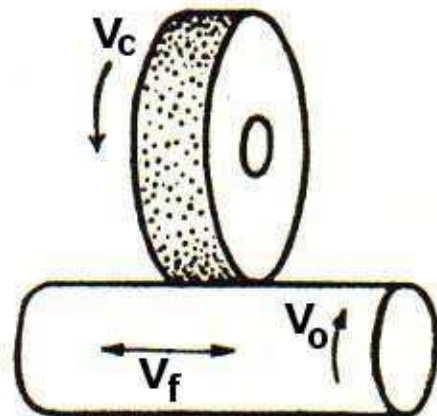
soustružení



vrtání

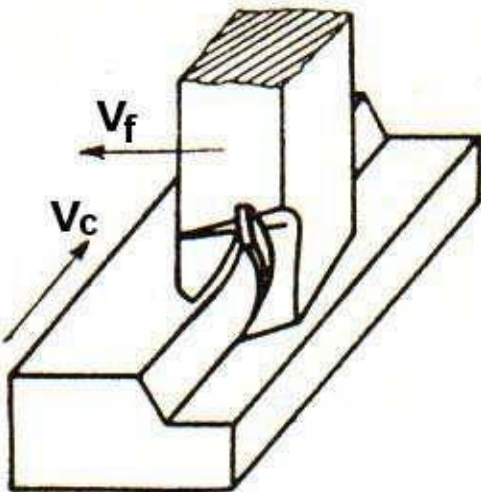


frézování

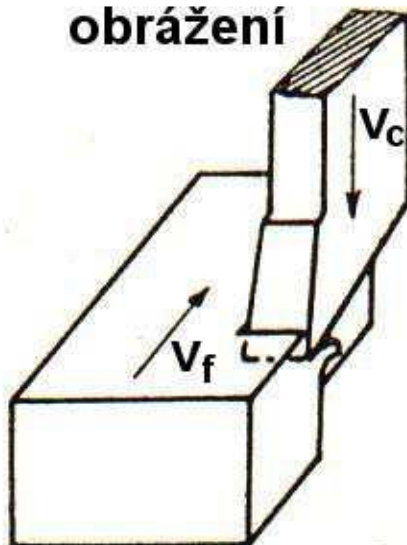


broušení

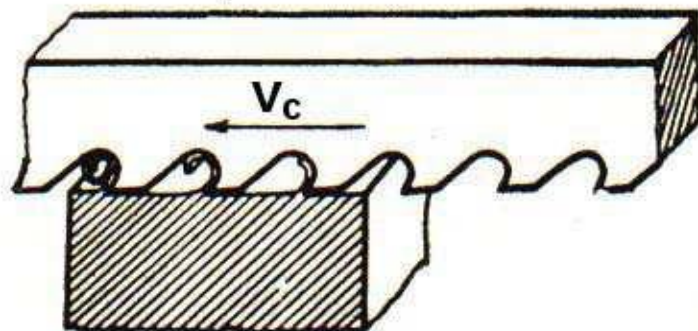
hoblování



obrážení



protahování



Hlavní a posuvový pohyb

Nekonenční metody obrábění

- ***nekonvenční metody obrábění*** zahrnují metody, u kterých je proces řezání nahrazen působením elektro- mechanicko–chemických jevů, jimiž se dosahuje úběru (částic) materiálu z obrobku
 - ❑ elektroerozivní obrábění
 - ❑ elektrochemické obrábění
 - ❑ obrábění ultrazvukem
 - ❑ obrábění laserem
 - ❑ chemické a tepelné obrábění

- nepoužívá se standardní řezný nástroj u kterého lze definovat pracovní části
- netvoří se tříska v pravém slova smyslu, protože k úběru dochází účinky tepelnými, chemickými nebo abrazivními, či jejich kombinací
- použití u materiálů, kde nelze konvenčními metodami hospodárně obrábět (titan, niklové superslitiny, karbidy, keramika, apod.)
- základní charakteristiky nekonvenčních technologií
 - ❑ rychlost a výkonnost nezávisí na mechanických vlastnostech obráběného materiálu
 - ❑ materiál nástroje nemusí být tvrdší a pevnější než obráběný materiál; možnost obrábění složitých tvarů
 - ❑ možnost zavedení do plné automatizace

➤ ***oddělování materiálu tepelným účinkem***

- ❑ elektroerozivní obrábění (Electro Discharge Machining - EDM),
- ❑ obrábění paprskem plazmy (Plasma Beam Machining - PBM),
- ❑ obrábění paprskem laseru (Laser Beam Machining - LBM),
- ❑ obrábění paprskem elektronů (Electron Beam Machining - EBM)

➤ ***oddělování materiálu elektrochemickým nebo chemickým účinkem***

- ❑ elektrochemické obrábění (Electro Chemical Machining - ECM),
- ❑ chemické obrábění (Chemical Machining - CM, CHM)

➤ ***oddělování materiálu mechanickým účinkem***

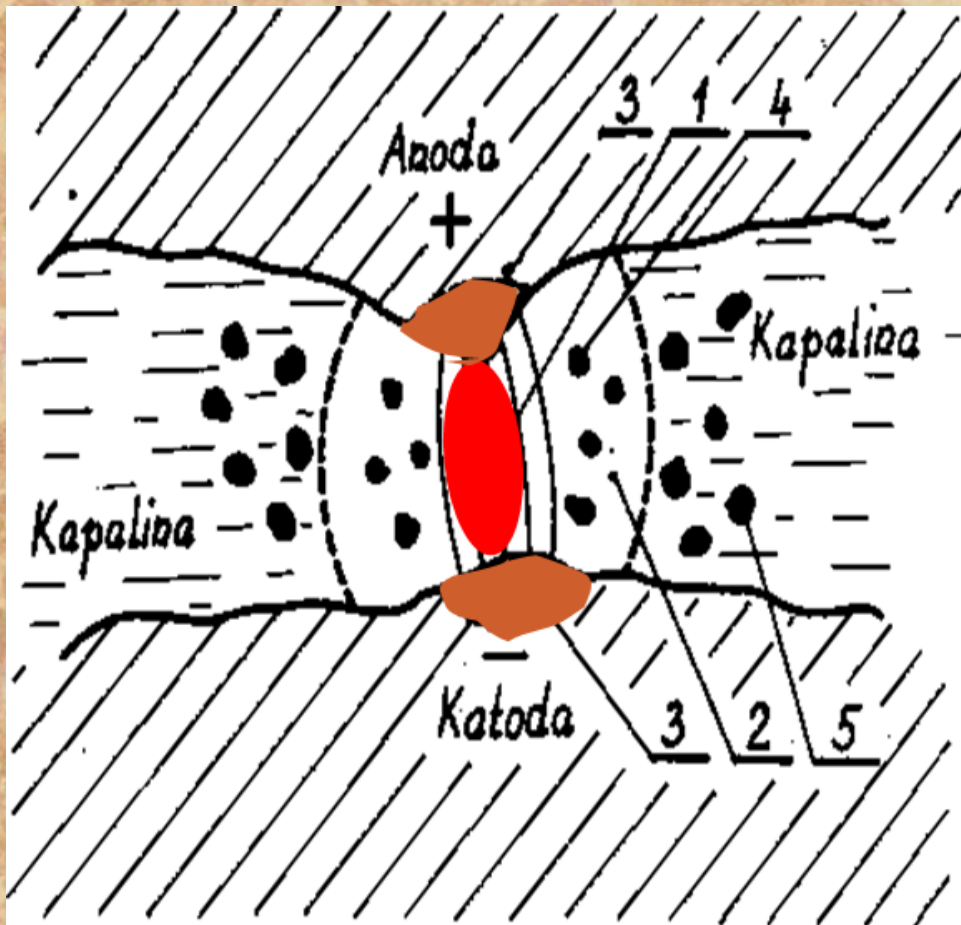
□ ultrazvukové obrábění (Ultrasonic Machining - USMJ)

□ obrábění paprskem vody (Water Jet Machining - WJM, Abrasive Water Jet Machining - AWJM).

➤ běžně využití CNC ⇒ vyšší přesnost, produktivita

Elektro-erozivní metody obrábění

- úběr materiálu vzniká důsledkem elektrických výbojů mezi elektrodami, které jsou ponořené do kapalného dielektrika
- dielektrikum – velmi čistá voda, petrolej (oleje)
- výbojem se odstraňují malé objemy materiálu obrobku vlivem vysoké koncentrace energie (tavení, odpařování)
- část energie spotřebuje i nástrojová elektroda ⇒ opotřebovávání nástroje
- opotřebení nástroje při obrábění ⇒ menší přesnost obrábění, nízká rychlost obrábění



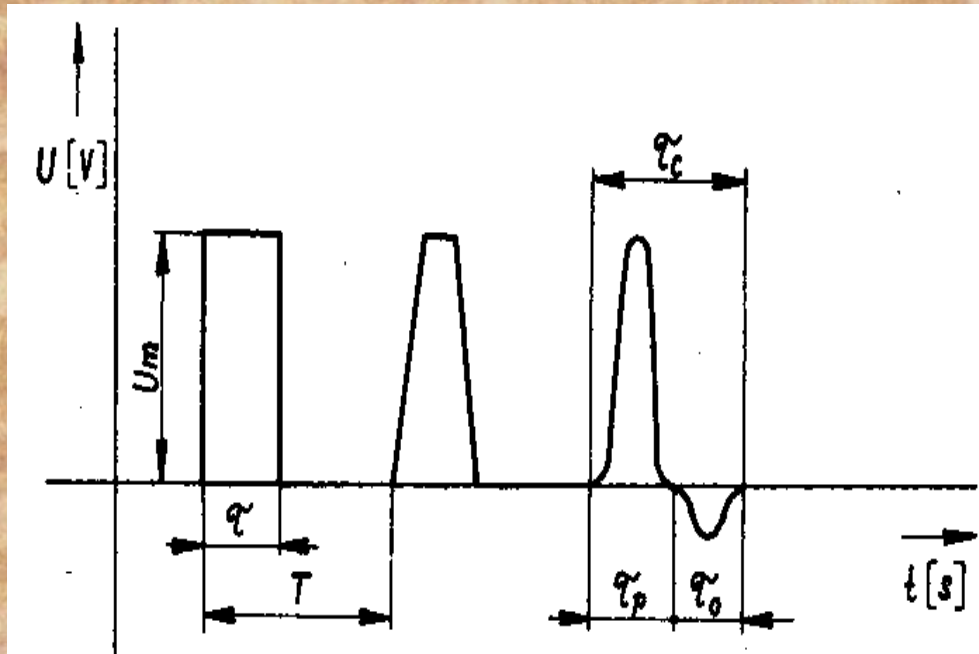
- 1 – výbojový kanál,
- 2 – plynová zóna,
- 3 – roztavená oblast na elektrodách,
- 4 – roztavené částice kovu,
- 5 – částice ochlazeného kovu v kapalině

- elektro-termické (-erozivní) obrábění
 - ❑ elektrojiskrové - roztavení a odpaření mikroskopického objemu kovu v důsledku vysoké teploty elektrické jiskry
 - ❑ elektroimpulsové- zdrojem tepla obloukový výboj
 - ❑ elektrokontaktní (elektromechanické) - ohřev kovu způsoben teplem vzniklým průchodem proudu o vysoké proudové hustotě malou plochou dotýkajících se nerovností povrchu nástroje a obráběného materiálu
 - ❑ anodově-mechanické
- charakteristika procesu
 - ❑ vždy přítomno dielektrikum mezi elektrodami
 - ❑ přivedení energie formou krátkých impulsů
 - ❑ vznik výbojů v zóně obrábění

- teplota kanálu výboje dosahuje až 40 000°C
- teplota povrchu elektrody v místě výboje až 10000°C

- funkce kapaliny v procesu elektroeroze
 1. zvyšuje elektrickou pevnost prostředí mezi elektrodami
 2. zachycuje částice roztaveného kovu i kovové páry, které byly vyvrženy z povrchu elektrody při výboji
⇒ prudké ochlazení; vznik disperze granulí
 3. umožní odstranění produktů eroze z obráběné zóny
 4. ochlazuje elektrody

➤ charakter elektrických impulzů



Daný impuls je charakterizován:

- polarita
- amplituda U_m
- délka τ
- doba periody T

- délka přímého impulsu τ_p
- délka obráceného impulsu τ_o

➤ frekvence impulzů 100 Hz až 2 MHz

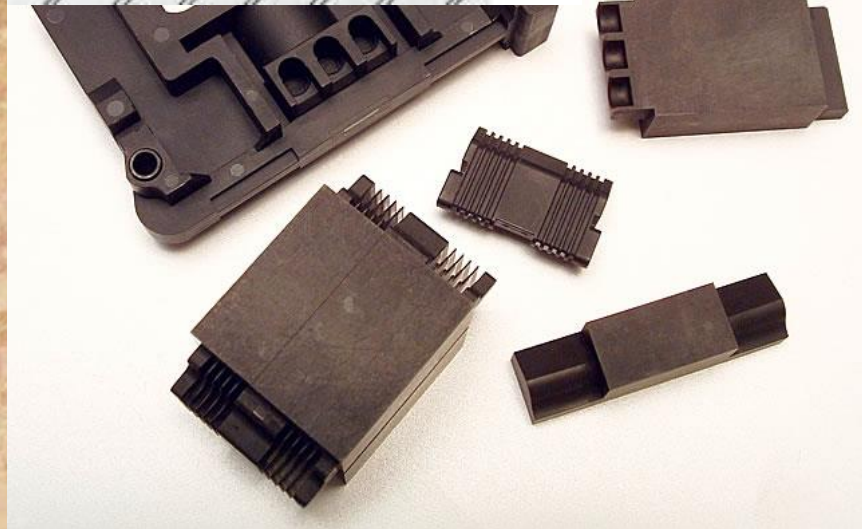
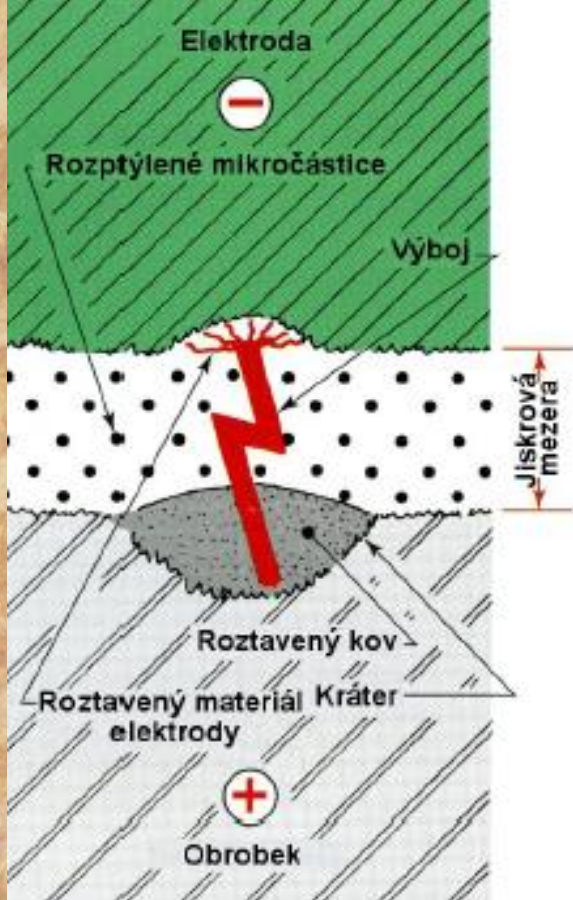
- stejné elektrody - efekt eroze neprobíhá na obou elektrodách stejně, je ovlivněn délkou impulzů
- u impulzů s malou délkou τ je větší eroze anody než katody
- u impulzů s velkou délkou τ je tomu naopak

důsledek

- ***při elektrojiskrovém obrábění je obráběná součást anodou a pracovní nástroj katodou***
- ***při elektroimpulzním obrábění je tomu naopak***

Elektrojiskrové obrábění

- krátké asymetrické elektricky buzené impulsy
- generátory velmi krátkých pulsů s velkou amplitudou
- impulzy s délkou 10^{-7} až 10^{-4} s \Rightarrow jiskrový výboj
- hovoříme o elektroimpulsním obrábění
- pracovní cyklus \rightarrow výboj \rightarrow tepelné působení \rightarrow vymrštění materiálu
- stopy po obrábění mají tvar kráteru, které připomínají stopy po pískování
- povrchové vrstvy výrazně tepelně ovlivněny
- použití: hloubení, vrtání otvorů malých průměrů a tvarových otvorů



➤ výhody

- ❑ možnost obrábění vodivých materiálů s libovolnými vlastnostmi
 - ❑ možnost výroby součástí složitých tvarů
 - ❑ na obrobek nepůsobí žádné mechanické zatížení
 - ❑ možnost výroby ploch složitých tvarů
 - ❑ poměrně jednoduchá výroba nástrojových elektrod
 - ❑ na hranách obrobku nezůstávají otřepy
 - ❑ výrobní proces lze snadno automatizovat
- typické hodnoty odběru materiálu (produktivita)
- ❑ hrubé opracování více než $3 \text{ mm}^3\text{s}^{-1}$
 - ❑ jemné opracování od 0,5 do $3 \text{ mm}^3\text{s}^{-1}$
 - ❑ dokončovací opracování méně než $0,5 \text{ mm}^3\text{s}^{-1}$

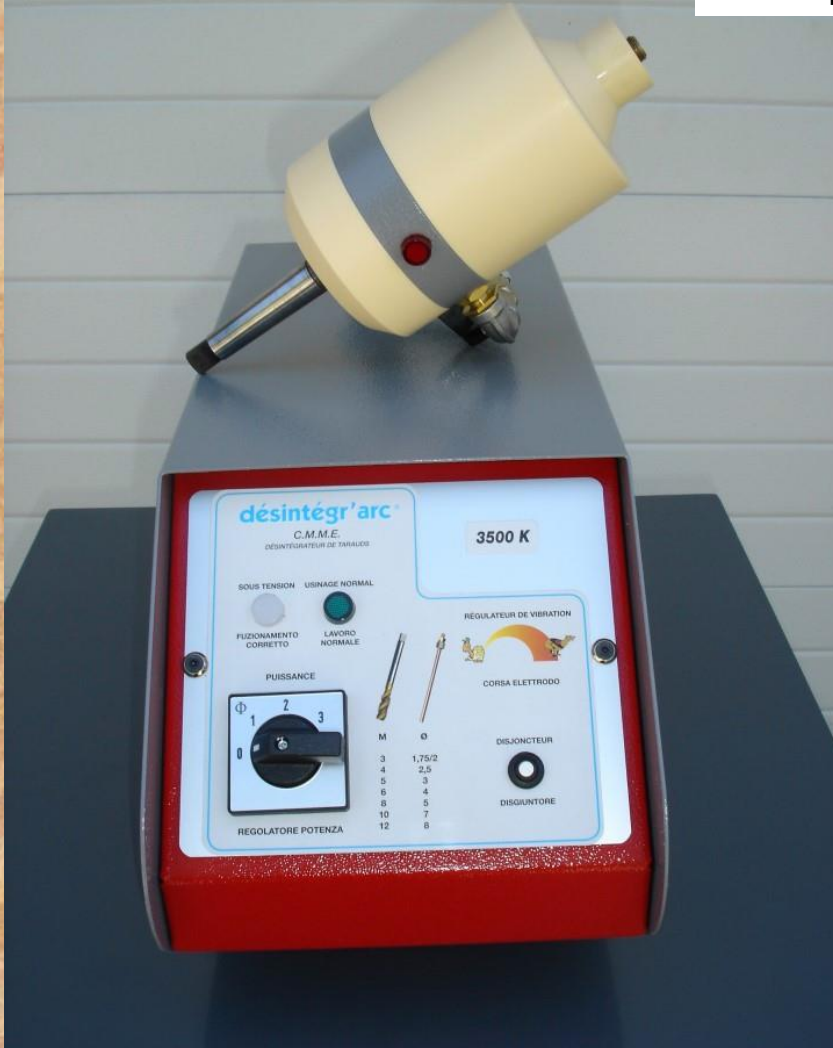
➤ nevýhody

- ❑ nutnost ponoření obrobku do kapaliny v průběhu obrábění
- ❑ nepřímá úměra mezi produktivitou obrábění a jakostí povrchu obrobené plochy
- ❑ jakost obrobeného povrchu závisí na mnoha faktorech, které nelze předem spolehlivě určit
- ❑ poměrně nízká produktivita při obrábění měkkých materiálů

Elektroimpulsové obrábění

- jedna z nejvýkonnějších a nejehospodárnějších z elektro-termických metod obrábění
- zvětšení odběru materiálu oproti elektrojiskrové metodě 6 až 10x, pokles opotřebení nástrojové elektrody 3 až 5x a snížení spotřeby energie 2 až 3x
- použití zdrojů nepolárních impulsů s vhodnými parametry
- impulzy s délkou 10^{-4} až 10^{-1} s \Rightarrow obloukový výboj
- nástroje - hliníkové, měděné a wolframové elektrody
- **použití** - hloubení hlubokých průběžných a slepých otvorů a dutin, opracování zápustek a různých složitých tvarů součástek; nahrazuje klasické způsoby broušení a ostření nástrojů
- většinou na dokončovací práce

- odběr materiálu až $500 \text{ mm}^3\text{s}^{-1}$
- **výhody** elektroimpulzní metody
 - ❑ vysoká produktivita
 - ❑ široký rozsah změny režimů
 - ❑ možnost automatizace procesu
 - ❑ malé opotřebování elektrody - nástroje
- **nevýhody**
 - ❑ nevelká přesnost obrábění
 - ❑ relativně malá obráběná plocha
 - ❑ velká hloubka poškození povrchu výboji



Generátor

- M3 až M12
- Polointenzivní nasazení
- Napájení 220V / 20A
- Výkon 4.5kVA
- Molybdenové elektrody

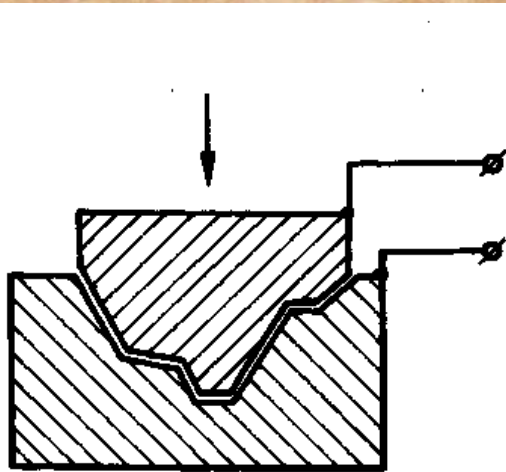
Generátor

- M3 až M30
- Intenzivní nasazení
- Napájení 400V třífázové/ 50Hz
- Výkon 8/10/12kVA, dle modelu

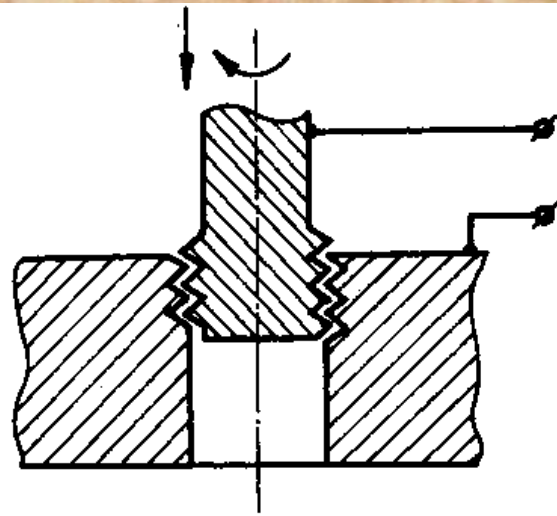
Elektrokontaktní obrábění

- využití symetrických střídavých impulsů velké délky
- buzení impulsů je mechanické
- nahrazuje frézování a povrchové broušení
- nástrojem je otáčející se ocelový anebo litinový kotouč, ekvivalentní fréze anebo brusnému kotouči
- ***elektrokontaktní mechanické obrábění*** → elektrická energie se při obrábění mění na teplo roztavující materiál, který se z místa řezu odstraňuje otáčejícím se kotoučem
- ***elektrokontaktní obrábění***
- ***elektrokontaktní obloukové obrábění***

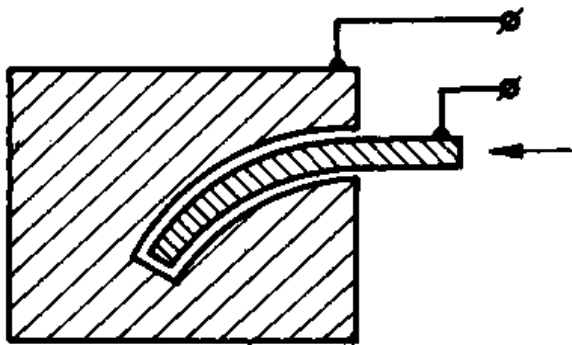
- tavení a odběr materiálu teplem vzniklým průchodem proudu o vysoké proudové hustotě v důsledku malé plochy dotýkajících se mikronerovností povrchu nástroje a obráběného materiálu
- proudová hustota až 10^6 A.mm^{-2}
- obloukový výboj vzniká při napětí mezi elektrodami 10 až 20 V
- **použití** - čištění odlitků, obrábění kuliček na ložiska, elektro-kontaktní soustružení a ostření nástrojů
- operace s vysokou produktivitou



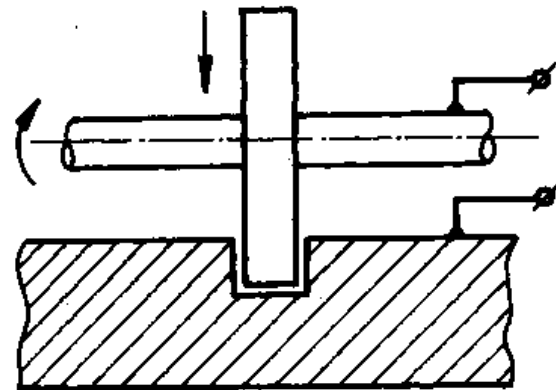
a)



b)



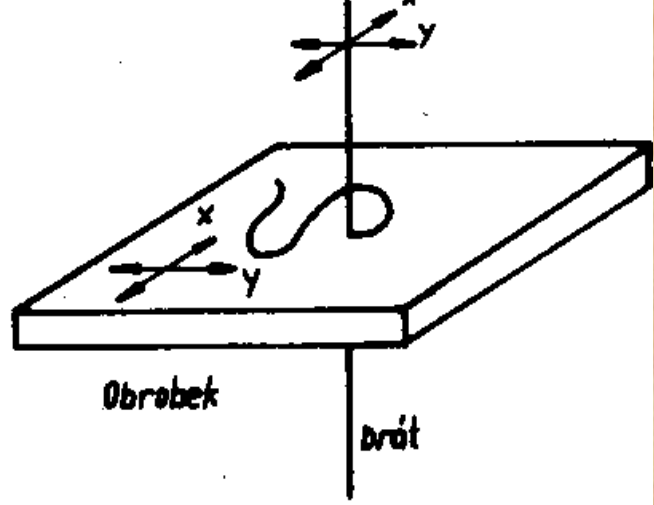
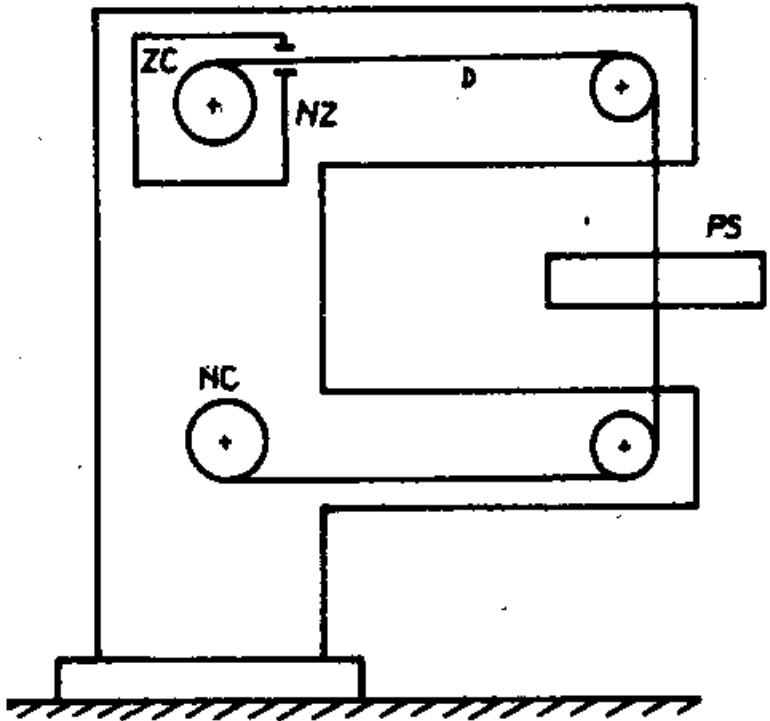
c)




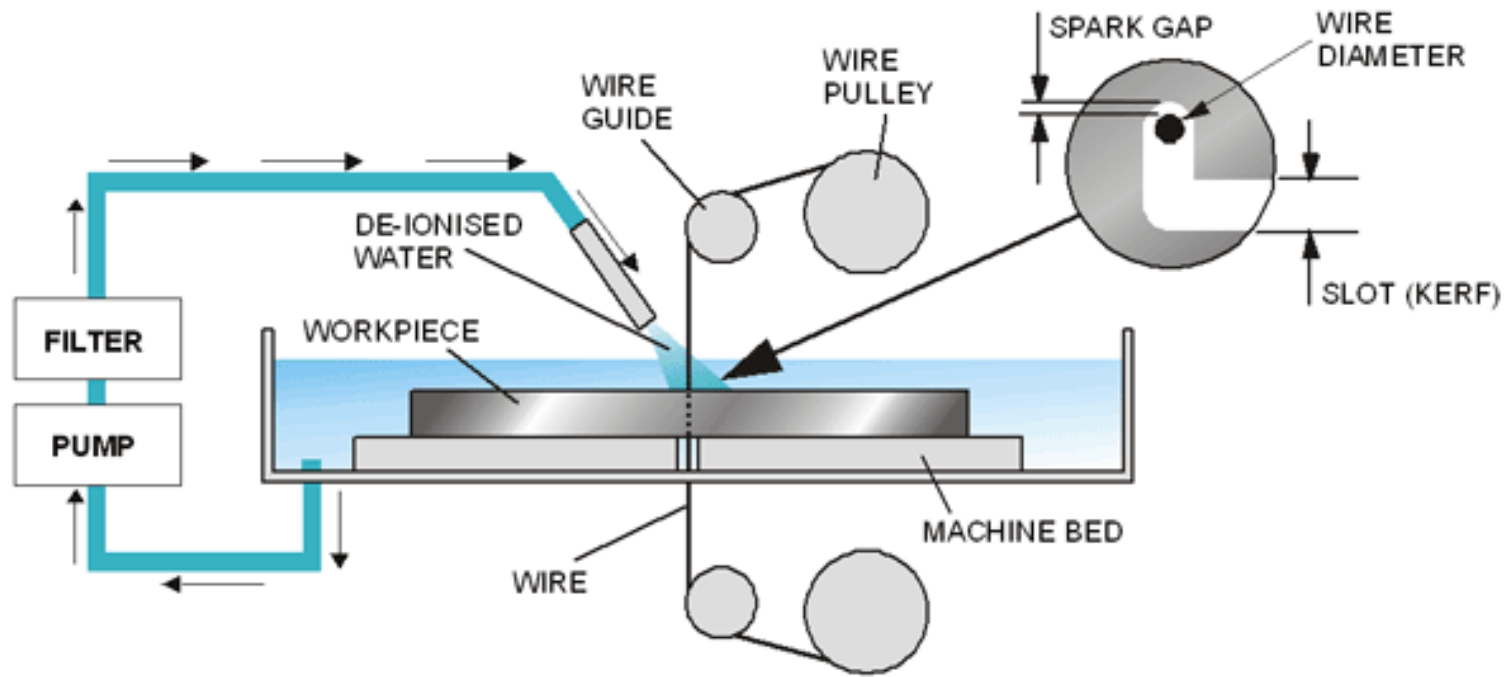
d)

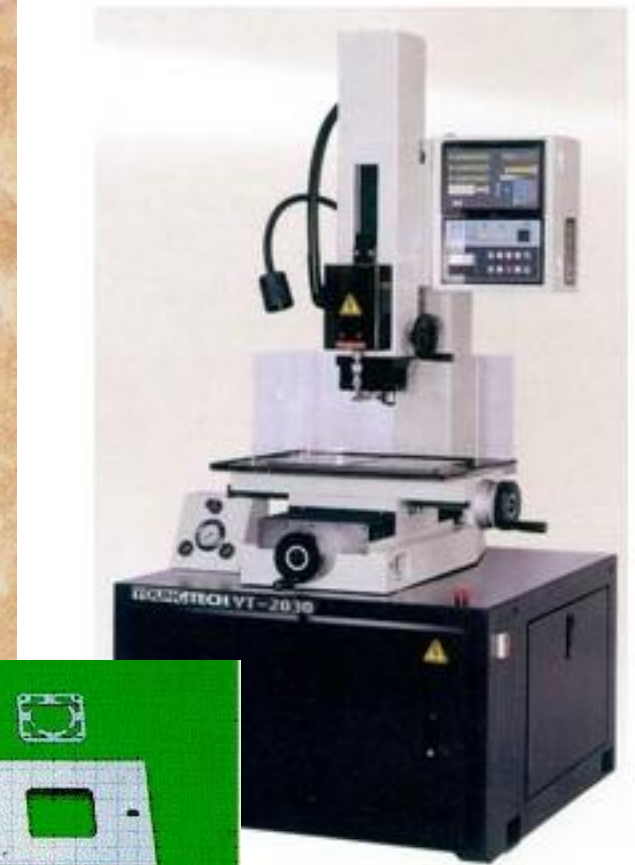
Elektrojiskrové řezání

- minimální šířka řezu
- výroba střížných a lisovacích nástrojů, dělení velmi tvrdých a pevných materiálů
- **elektroda** - tenký drát, který se průběžně odvíjí z cívky a přes vodící zařízení prochází místem řezu
- drát je napínán konstantní silou
- prostor mezi obrobkem a drátem je zaplněn dielektrickou kapalinou
- elektrody - měď a její slitiny, molybden, povlakované dráty obsahující vysoké procento zinku

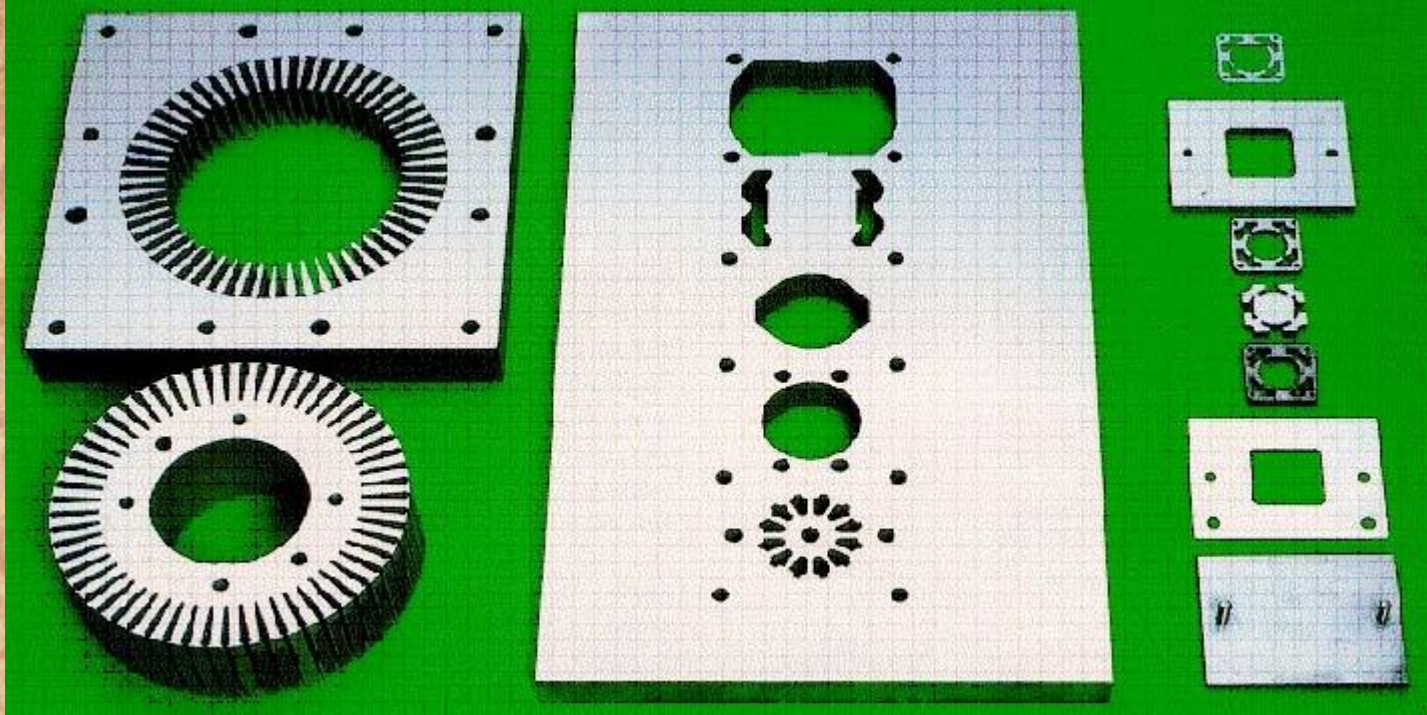



 Pesuv drôtu
 resp. obrabku





30





Elektrochemické obrábění

- řízený proces oddělování materiálu prostřednictvím anodického rozpouštění v elektrolytu, který proudí mezerou mezi elektrodami (anoda – obrobek, katoda – nástroj)
- metoda beztržiskového (bezsilového) řízeného obrábění elektricky vodivých materiálů ⇒ Faradayův zákon
- **použití** - tvarově složité součásti (zápustky, lisovací formy, apod.), obrábění materiálů s vysokou tvrdostí a pevností
- frézování, vrtání, řezání, broušení
- nástroj má tvar negativu oběné součásti
- elektrody z mosazi, bronzů, titanů, SK, apod.

- 4 základní způsoby
 - ❑ v proudícím elektrolytu
 - ❑ rotující elektroda
 - ❑ leštění
 - ❑ odstraňování ostrin
- měrný úběr materiálu závisí na minimální pracovní mezeře mezi elektrodami (cca 0,05 až 1 mm),
- vliv teploty, rychlosti proudění a složení elektrolytu
- elektrolyty - NaCl, NaNO₃, NaClO₃, HCl, H₂SO₄, NaOH
- materiály špatně obrobitelné = patří šedá litina (téměř neobrobitelná), slitiny s velkým obsahem uhlíku a duraly obsahující křemík

- pro přesný tvar obráběné plochy je nutné provést korekci tvaru nástroje, případně na místa, kde by došlo k nežádoucímu úběru materiálu, nanést na boky nástroje izolační vrstvu

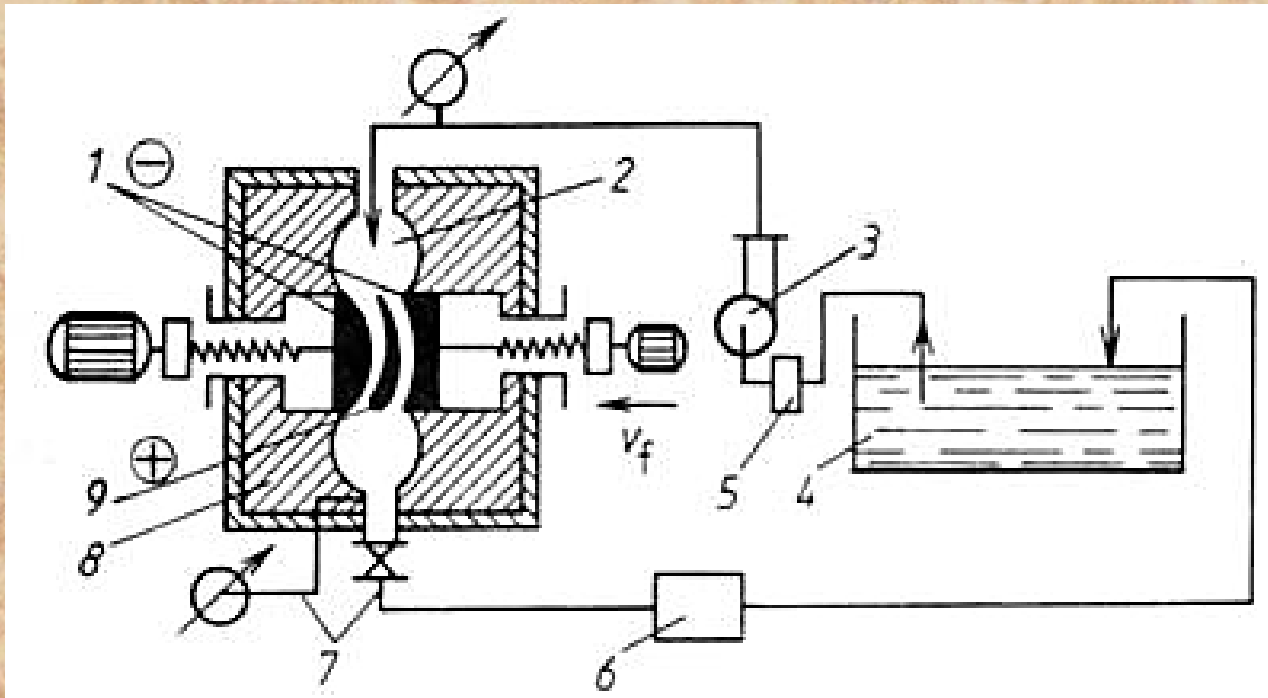
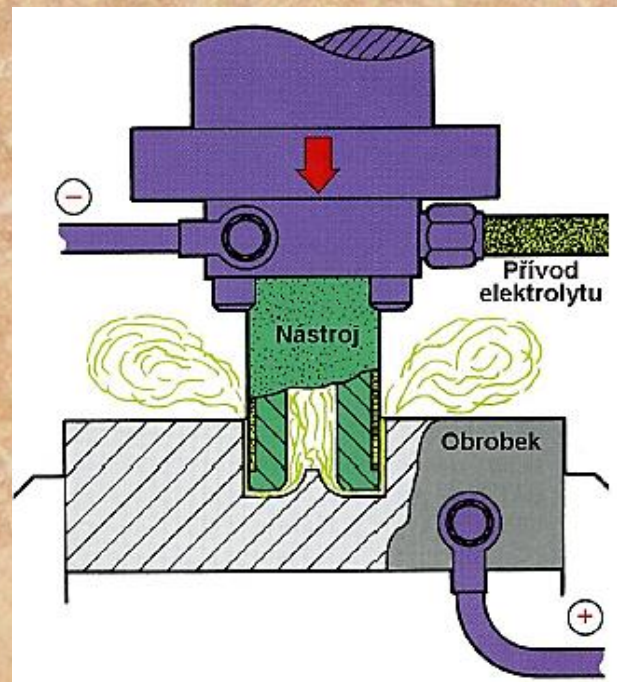


Schéma zařízení pro elektrochemické obrábění vnějších tvarových ploch
1 – nástroj (katoda), 2 – rozvod elektrolytu, 3 – čerpadlo, 4 – nádrž s elektrolytem, 5 – chladič, 6 – filtr, 7 – regulátor tlaku, 8 – pracovní komora, 9 – obrobek (anoda)

- přesnost tvaru obrobenej plochy závisí na pracovním napětí, přísuvové rychlosti, úběru materiálu, teplotě a viskozitě elektrolytu a na velikosti pracovní mezery
- dosahované parametry
 - přesnost jednoduchých tvarů: $\pm 0,01$ mm
 - přesnost složitých tvarů: $\pm 0,05$ až $0,2$ mm
 - jakost obrobeneho povrchu: $R_a = 0,2$ až $2\mu\text{m}$



Chemické obrábění

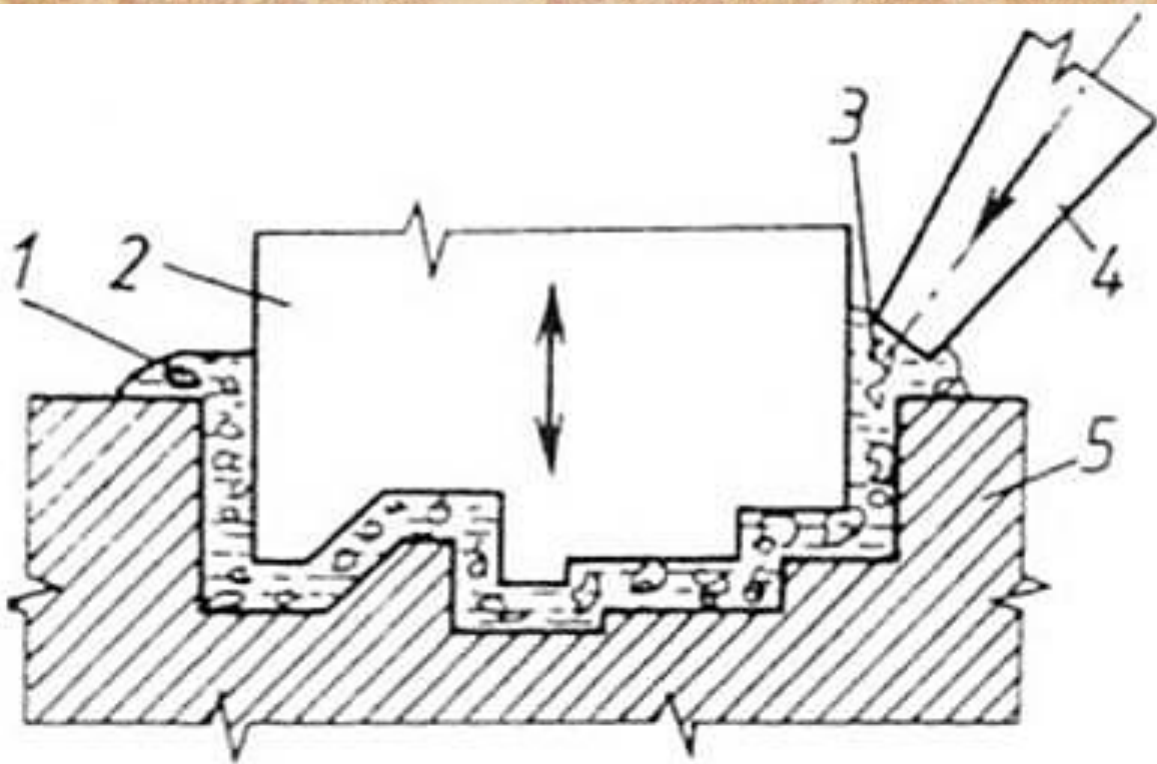
- chemická reakce mezi obrobkem a leptající kapalinou
- neleptané plochy maskovány
- odebírání tenkých vrstev (maximálně několik milimetrů)
- pro velmi velké (velká spotř. proudu při elchem) nebo velmi malé obrobky (el. kontaktování)
- anizotropní leptání - rychlost leptání závisí na krystalografické orientaci monokrystalického křemíku ⇒ tvar díry určuje krystalická orientace povrchové vrstvy křemíku

Ultrazvukové obrábění

- obrábění probíhá společným účinkem abrazivních zrn, které jsou mezi obrobkem a nástrojem
- obrábění v důsledku chemického a kavitačního účinku kapaliny
- nevýhodou je abrazivní účinek zrn nejen na obrobek, ale i na nástroj
- pro tvrdé a křehké materiály (nad 40 HRC; např. sklo, křemen, diamant, karbidy, polovodičové materiály, grafit atd.)
- výroba grafitových elektrod
- čištění povrchu
- dělení a sváření materiálů

- vysokofrekvenční generátor (20 až 100 kHz, 0,1 až 40 kW) napájí magnetostrikční nebo piezoelektrický měnič (nástroj) ⇒ mechanické vibrace
- mezi obrobkem a nástrojem je suspenze s brusnými částicemi ⇒ koncentrace, velikost zrn a jejich tvrdost určují odběr materiálu, drsnost a kvalitu povrchu
- důležitá i frekvence a amplituda ultrazvukových vln
- amplituda kmitání se pohybuje od 10 do 100 μm.
- *mechanická teorie* - odběr materiálu mechanickým účinkem brusných součástí v suspenzi; zrychlení částic na čele nástroje řádově 10^4g
- abrazivum v brusných suspenzích – diamant, karbid bóru, elektrokorund, karbid křemičitý

- **kapalina** - voda, petrolej, líh nebo strojní olej; má též kavitační účinek
- nutný dokonalý přívod nových zrn a odvod opotřebených zrn do a z pracovní mezery
- koncentrace zrn v kapalině 30 až 40 %
- zrna se při obrábění opotřebovávají ⇒ nutné zajistit jejich dokonalou výměnu



1 – kapalina, 2 – nástroj, 3 – brousící zrna, 4 – přívod brousících zrn a kapaliny, 5 – obrobek

- nástroje - z konstrukční oceli, korozivzdorné oceli, mědi nebo mosazi
- činná část má tvar obráběné plochy ⇒ nutné kontrolovat
- ***použití metody***
 - řezání – křemene, rubínu a dalších tvrdých materiálů o tloušťce do 5 mm, tloušťka nástroje je 0,1 až 0,8 mm
 - hloubení průchozích otvorů – nástroj má tvar trubky, tloušťka obrobku maximálně 8 až 10 mm
 - hloubení dutin – obrábění skla a keramiky, probíhá při vertikálním posuvu nástroje, maximální hloubka dutiny 4 až 6 mm;
 - broušení rovinných ploch – s volným brusivem (nástroj z měkké konstrukční oceli), s vázaným brusivem (diamantový kotouč s kovovou vazbou).

svařování plastů ultrazvukem

- zejména pro sériovou výrobu
- vysoká stabilita, čistý svar, krátké výrobní časy, malý odpad a nízká spotřeba energie
- tepla vzniká z vysokofrekvenčních mechanických kmitů ⇒ frikční teplo na rozhraní spojovaných součástí

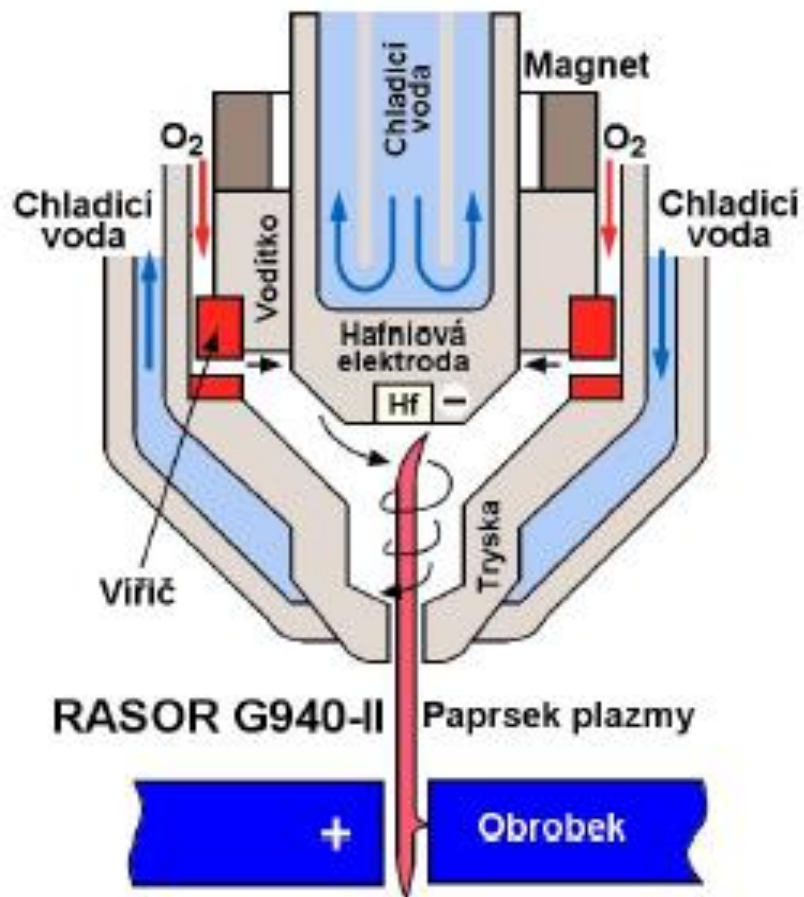
svařování kovů ultrazvukem

- pro neželezné kovy - velmi krátké výrobní časy, velmi nízký kontaktní elektrický odpor
- svařování bez předehřevu
- povrchová oxidační vrstva je narušena a intenzivním třením ohřáta → části stlačeny k sobě
- teplota pod bodem tavení ⇒ malá TOO

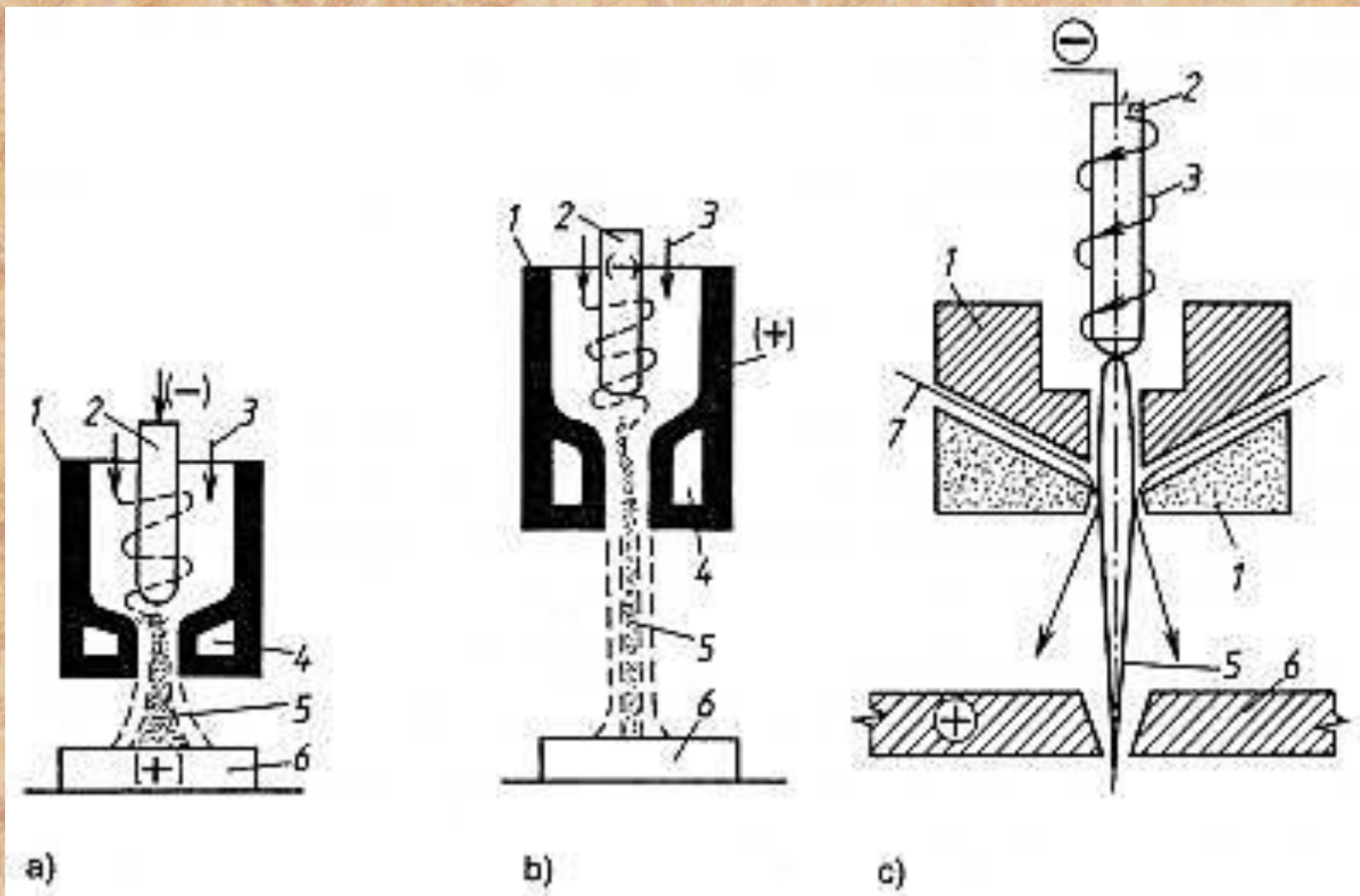
Obrábění plazmou

- plazma je čtvrtým skupenstvím
- kontakt plazma – pevný povrch \Rightarrow tavení, odtékání, odstříkávání, odpařování, sublimace nebo rozprašování materiálu tuhé fáze
- použití plazmy - tavení, svařování, řezání materiálu, navařování, tavení v peci, rozklad škodlivých průmyslových odpadů
- plazmové řezání = tavení řezaného materiálu extrémně vysokou teplotou (\times řezání kyslíkem)
- vznikem plazmy – elektrický oblouk ve vhodném plynu (Ar, N₂, H₂O, ...)
- oblouk obvykle hoří mezi netavicí se elektrodou a řezaným materiálem

- poměrně malá TOO
- lze obrábět i materiály s vysokou $T_{tá}$



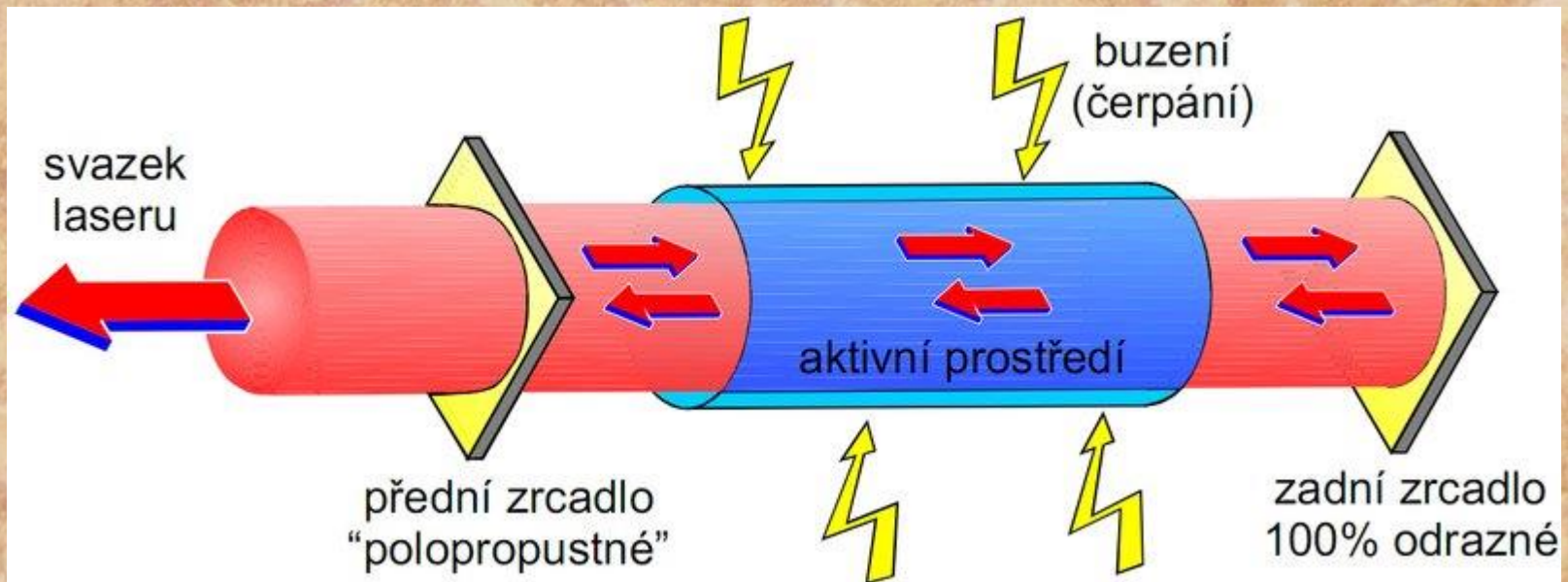
Plazmové hořáky s plynovou stabilizací: a) s transferovým obloukem, b) s plynovou stabilizací s netransferovým obloukem, c) s vodní stabilizací (1 – těleso hořáku, 2 – katoda, 3 – přívod plynu (argon), 4 – chlazení hořáku, 5 – paprsek plazmatu, 6 – obrobek, 7 – přívod vody)

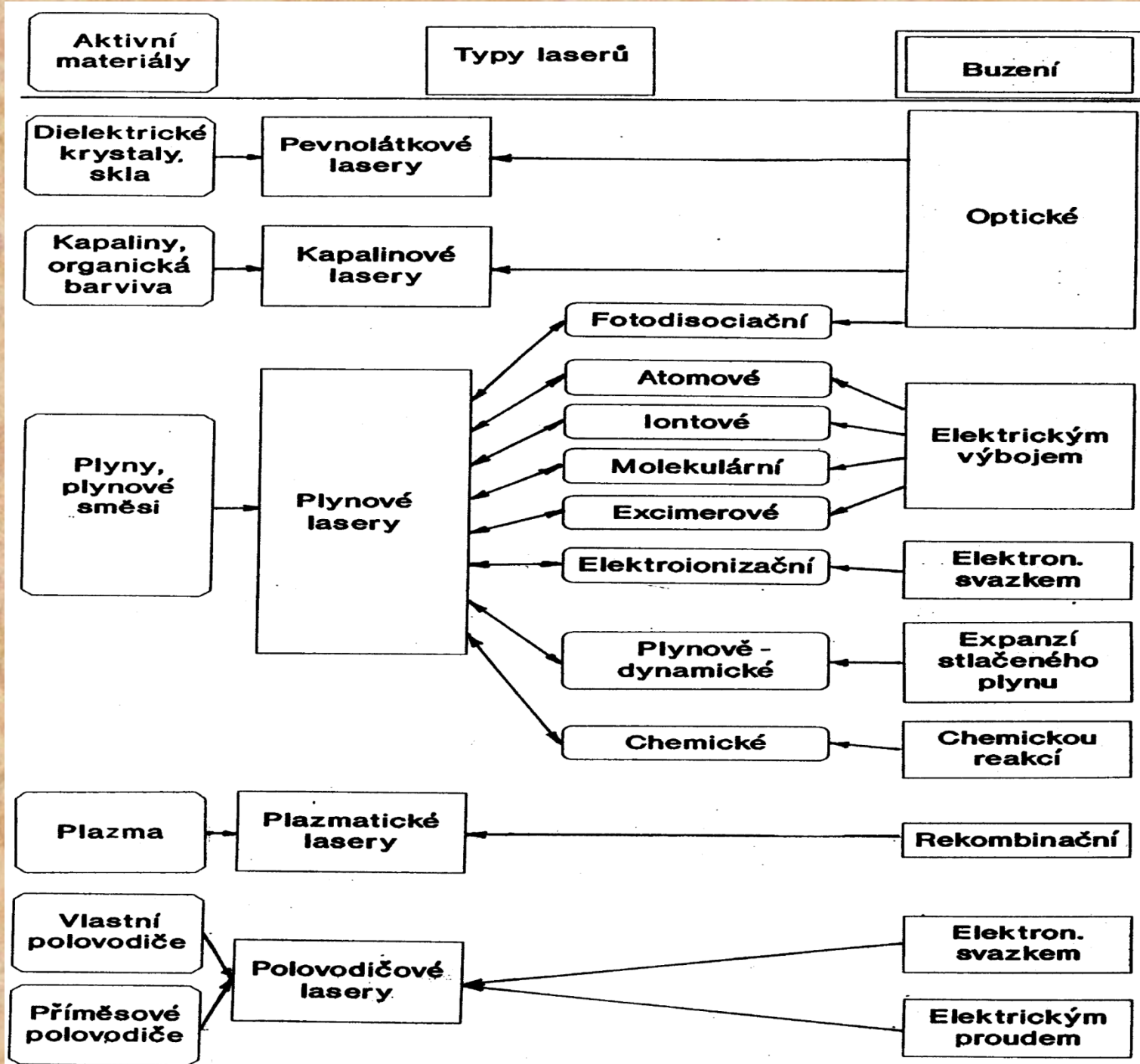


- proti laseru má plazmový oblouk nižší koncentraci energie, ale vyšší energetickou účinnost a nižší celkové provozní náklady
- dynamický účinek oblouku vytváří otvor na přední straně tavné lázně („klíčová dírka“) ⇒ svařování tupých svarů do tloušťky 8 mm bez úpravy svarového úkosu a na jeden průchod
- nízká spotřeba přídavného - až na 1/10
- nízká citlivost na změny délky oblouku

Obrábění laserem

- Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation
- laser = optický zesilovač
- základem laseru je **aktivní prostředí**, které je způsobem buzeno (opticky, elektricky apod.)
- **optický rezonátor**

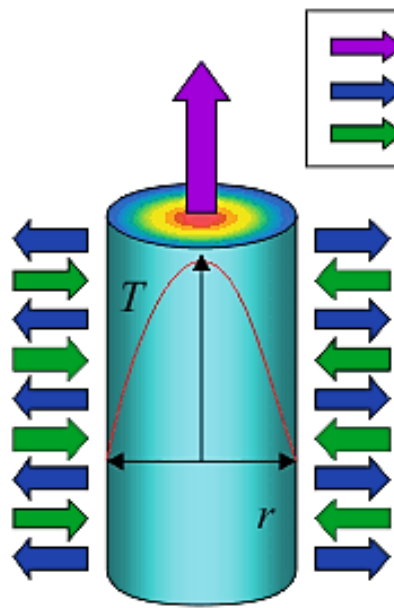




- paprsek laseru je
 - ❑ kolimovaný (tj. nerozsbíhá se)
 - ❑ monochromatický
 - ❑ koherentní (fotony ve fázi jak časové tak prostorové)
- rozdělení laserů nejčastěji podle typu aktivního prostředí
- **plynové lasery** - aktivním prostředím je zde plyn buzený různými způsoby (elektricky, radiofrekvenčně, opticky)
- HeNe a CO₂ – průmyslové řezací lasery
- **pevnolátkové lasery** - aktivní prostředí nejčastěji monokrystal; buzení je nejčastěji optické (výbojky nebo laserové diody)
- Nd:YAG (ytrium aluminium granát dopovaný Nd) - řezání, značení a svařování

- **vláknové lasery** - speciální typ pevnolátkových laserů; aktivní prostředí tvoří optické vlákno dopované obv. erbiem (Er) nebo yterbiem (Yr)
- buzení pomocí laserových diod, záření do aktivního vlákna přivedeno opět optickým vláknem (tzv. architektura vlákno-vlákno); neobsahuje opto-mechanické prvky jako zrcadla apod
- výkon až 40kW
- dnes nejmodernější technologie pro průmyslové řezání, svařování a značení a podíl vláknových laseru na trhu neustále stoupá

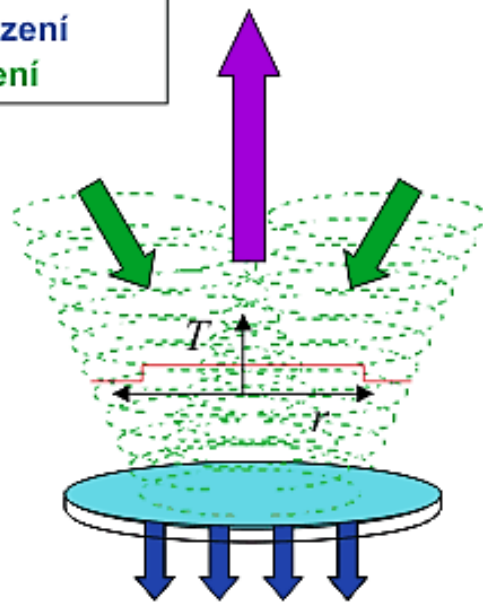
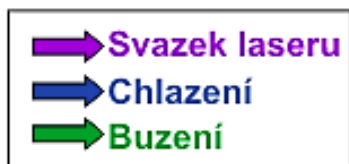
- **polovodičové (diodové) lasery** - aktivní prostředí = elektricky čerpaná polovodičová dioda
- výkon mW až kW; vysoká účinnost, ale nízká kvalita výstupního svazku
- CD/DVD přehrávače, laserové tiskárny ⇒ malý výkon; svařování (kovů i plastů) a kalení ⇒ vysoký výkon



**Parabolický
teplotní profil**

Chlazení a Buzení
přes laterální povrch

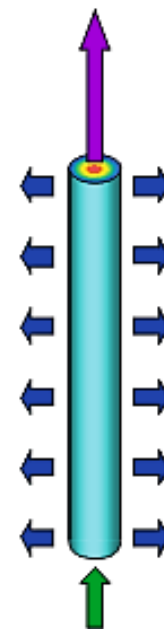
Nd:YAG



Rovný teplotní profil

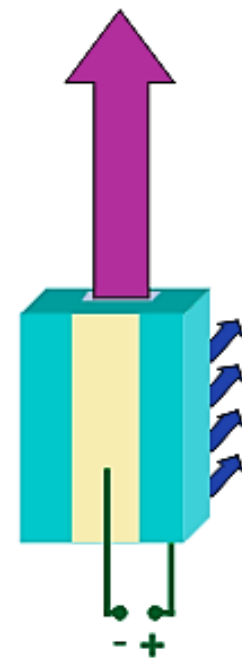
Chlazení přes
spodní část

Diskový



Chlazení přes
laterální povrch

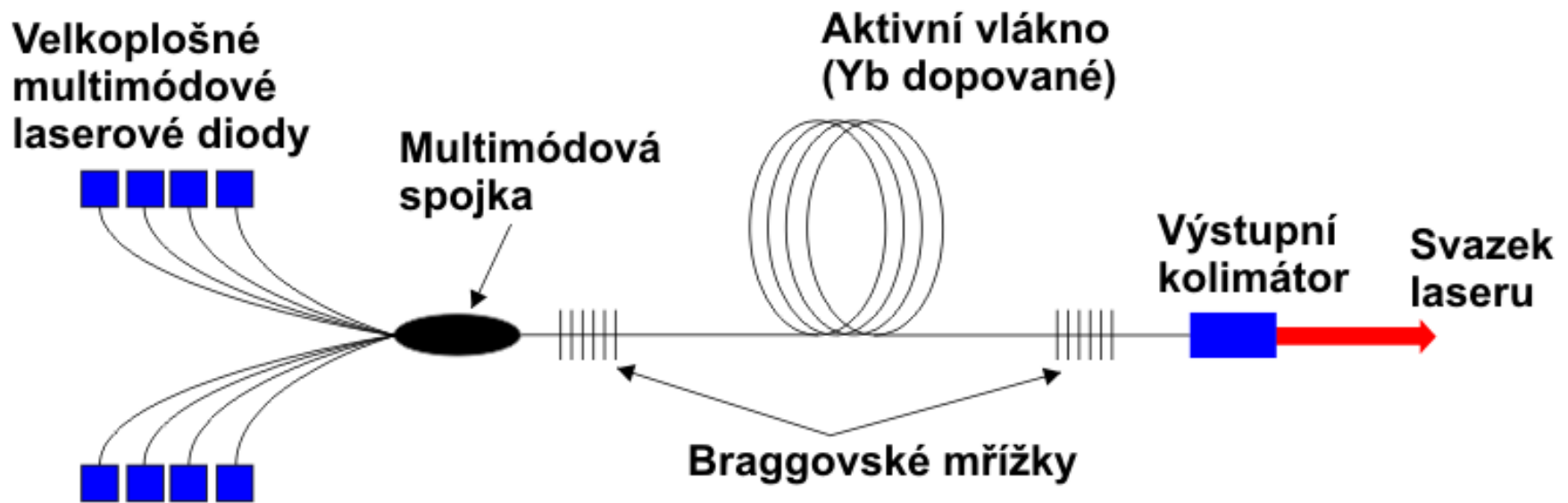
Vláknový



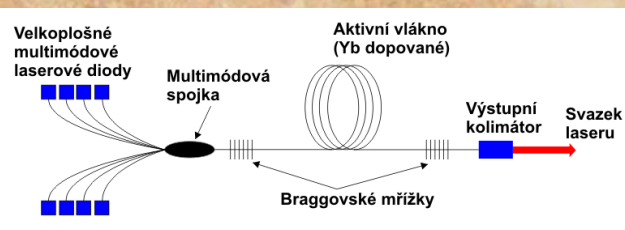
Přímá konverze
el. proudu na záření

Diodový

- *vláknový (fibre či fiber) laser* - technologicky nejmodernější typ pevnolátkového laseru; aktivní prostředí je dlouhé optické
- buzení z laserových diod je vedeno přes optickou



laserového svazku, nejnižší provozní náklady ze všech uvedených typů a téměř nulové nároky na údržbu





*Taktické bojové vozidlo s
60 kW vláknovým
laserem. Kredit:
Lockheed Martin.*

[<http://www.osel.cz/9311-bojov-stroje-u-s-army-dostanou-rekordn-laserovou-zbra.html>]

Podle Afzala je výkon tohoto laseru blízko fyzikálních limitů, které omezují možnosti soustředit energii do jednoho malého bodu. Testy rovněž prokázaly, že laser od Lockheed Martin velmi efektivně využívá elektřinu. Na laserový paprsek přemění více než 43 procent dodané elektrické energie.

Laser	Vlnová délka (nm)	Buzení	Efek. ^a	Režim ^b	Výkon / Energie	Typické aplikace ^c	Údržba	Život. (h)
Nd:YAG	1064	LD	~7%	CW	až 6kW	Ř,S	ano	~10 000
				pulsní*	~ mJ@ns (~100W)	Z,G		
		lampy	~3%	pulsní*	~ J@ms (~600W)	S,V		~1000
CO ₂	10 600	RF	~10%	CW / pulsní	10-250W	Z,G, Ř nk.	ano	~20 000
		El.	~25%		až 20kW (průtočné)	Ř,S		--
Diskový	1070	LD	~15%	CW	až 16 kW	Ř,S	ano	~10 000
Vláknový	1070	LD	~30%	CW	až 80 kW	Ř,S	ne	~100 000
				QCW	~ J@ms (~1,2kW)	Z,G,M		
				Pulsní	~ mJ@ns (~100W)	Z,G,M		
Diodový	808-980	El.	~60%	CW	až 10kW	S,K,N	ne	~15 000

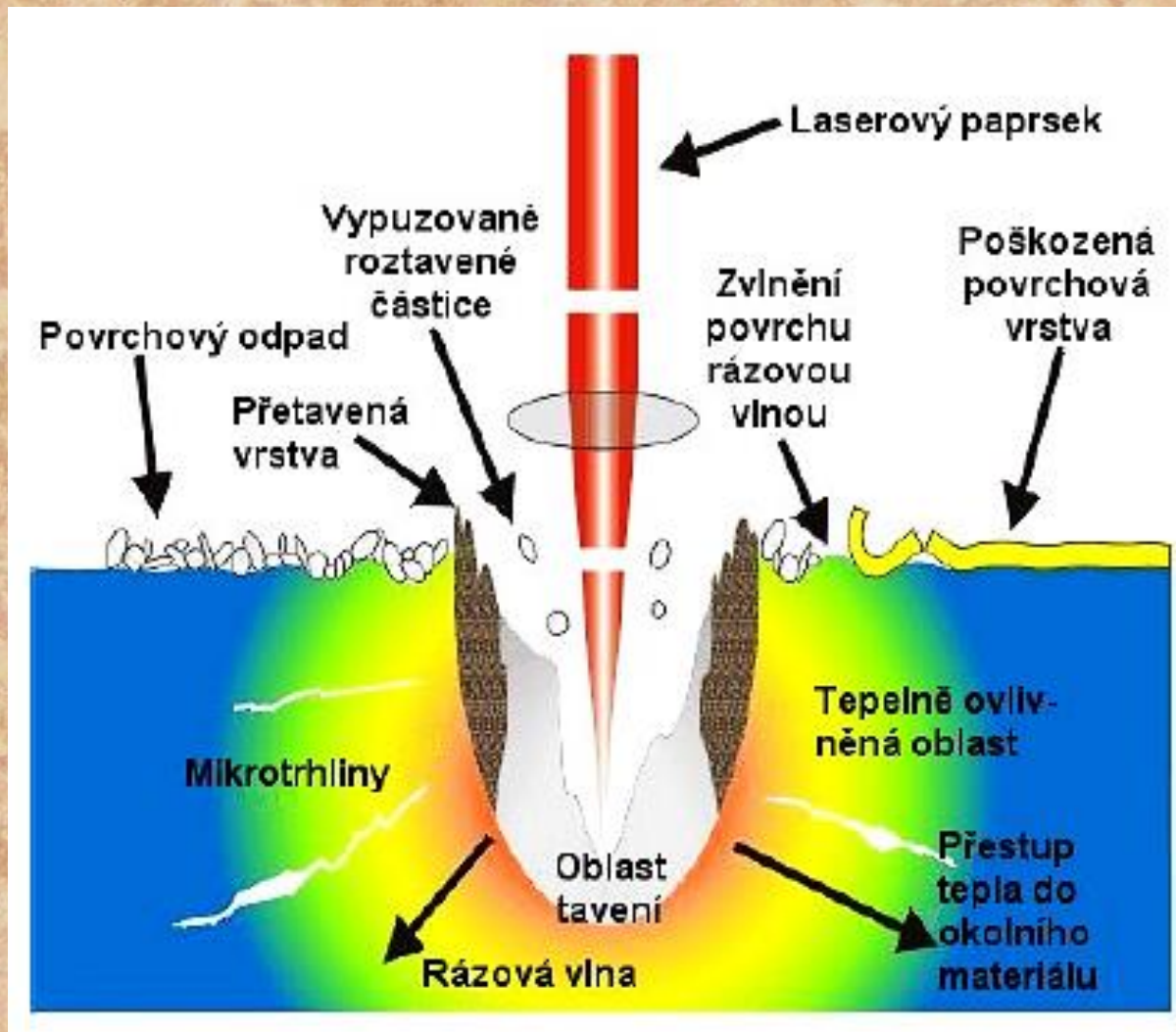
^a Efektivita (účinnost) přeměny elektrické energie na světelnou (optickou)

^b U pulsních laserů se udává energie v pulsu a doba pulsu, případně střední výkon (v závorce). CW - kontinuální, QCW - kvazi kontinuální.

^c Ř – řezání, S - svařování, Z – značení, G – gravírování, K – kalení, N – nanášení vrstev, M-mikro-obrábění, nk – nekovů.

Buzení: LD - laserové diody, RF - radio frekvenčně, El. - elektricky (výboj, proud).

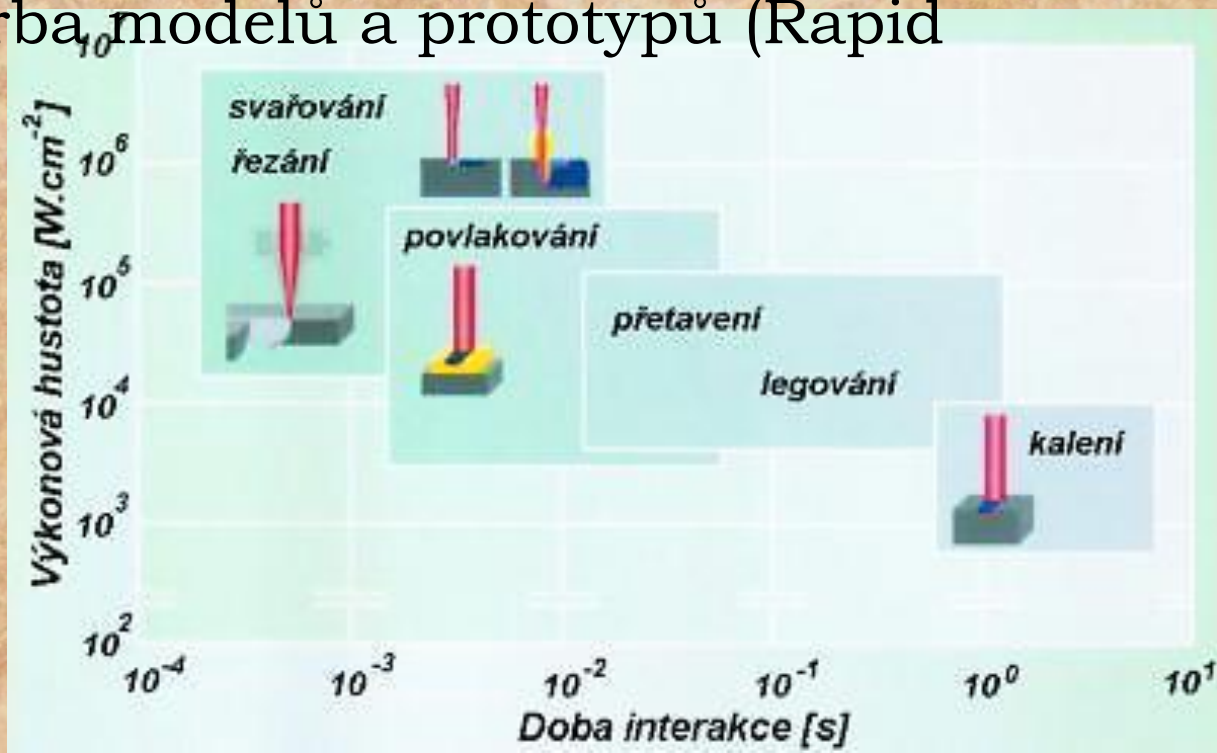
- obrábění laserem – extrémně rychlý proces (mikrosekundy) při složitých termodynamických jevech



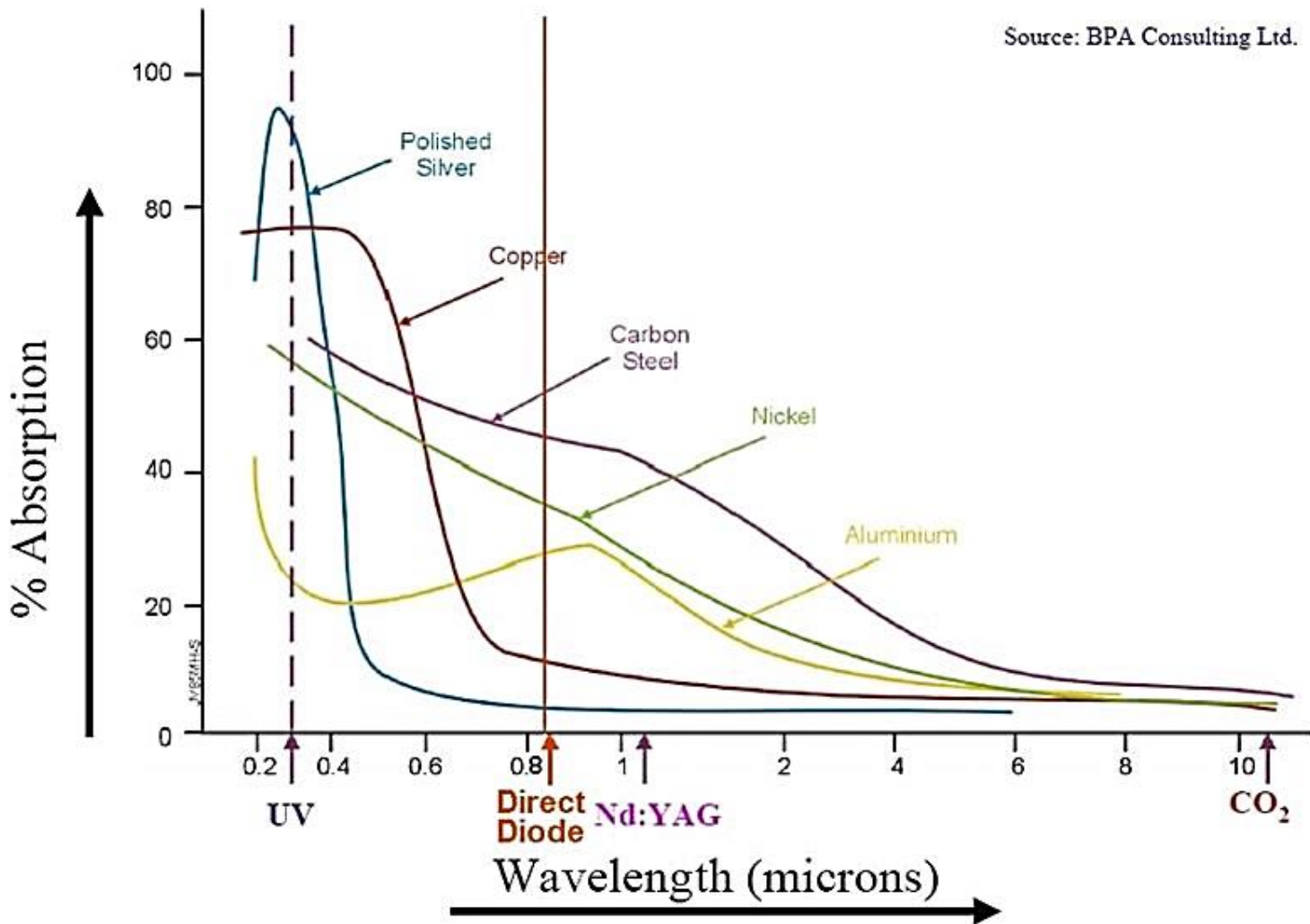
➤ výhody laserových technologií

- ❑ opracování bez mechanického kontaktu s výrobkem
- ❑ možnost opracování obtížně přístupných částí
- ❑ zpracování těžko obrobitelných materiálů

➤ svařování, vrtání, řezání, tepelné zpracování, značení a gravírování, povrchové úpravy, povlakování, tvorba modelů a prototypů (Rapid Prototyping)



- absorpce často řezaných materiálů ⇒ absorpce v oblasti vlnových délek pevnolátkových laserů (kolem 1 μm) je výrazně vyšší než absorpce v oblasti vlnových délek CO₂ laserů (10,6 μm)

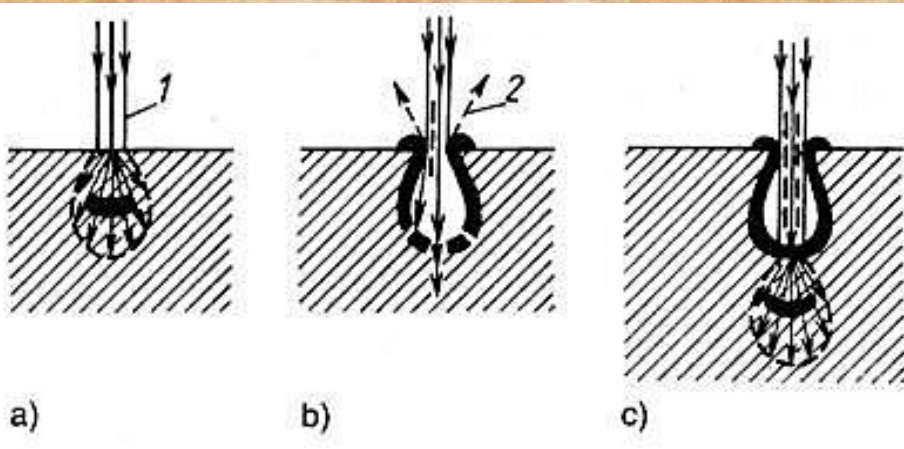


- **dekorační skla laserem** - modifikace řezání laserem
- v místě dopadu fokusovaného záření laseru na povrch skla dojde k částečnému odpaření skloviny a k jejímu povrchovému popraskání.
- záření musí být sklem dobře absorbováno, např. CO₂ laser
- prostorový popis do skla - trojrozměrné objekty ve skle vytváří pulzní Nd:YAG laser o výkonu v pulzu až 1 MW; fokusace paprsku dovnitř odlitku



Obrábění elektronovým paprskem

- založeno na využití kinetické energie proudu urychlených elektronů
- v místě dopadu paprsku elektronů se jejich kinetická energie mění v energii tepelnou ⇒ tavení a odpařování
- vnik elektronů do určité hloubky → zastavení elektronů → tepelná energie pod povrchem způsobuje erupční odpařování materiálu



- a) *vnik elektronů do materiálu,*
- b) *erupční odpařování materiálu,*
- c) *opětný vnik elektronů do materiálu*

1 – *elektronový paprsek,*
2 – *páry odpařeného kovu*

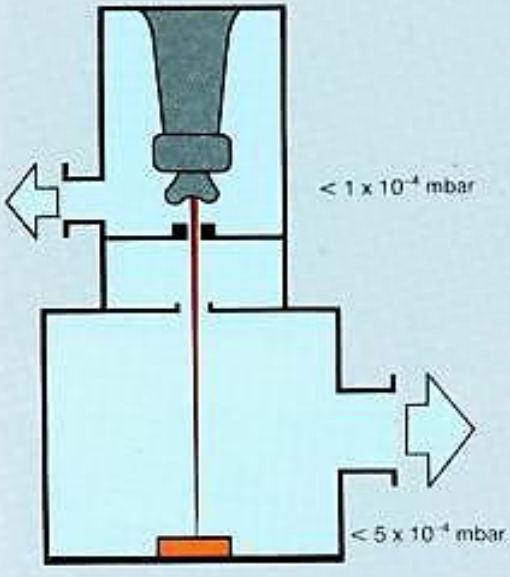
Vrtání malých děr paprskem elektronů

- od průměru 0,015 mm; hluboké díry s poměrem délky k průměru až 100 (průměr paprsku 2x až 4x menší než je průměr vrtané díry)
- rychlost až 4 000 děr za sekundu

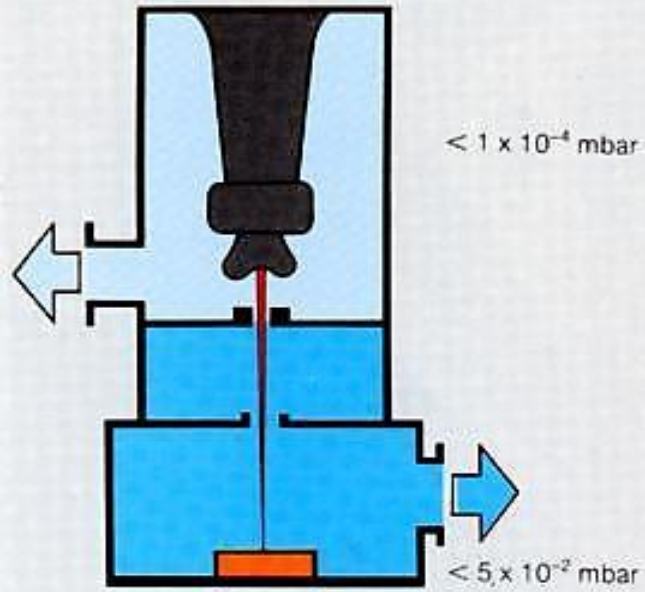
Svařování paprskem elektronů

- vhodné pro svařování obtížně svařitelných nebo vůbec nesvařitelných materiálů
- svary jsou bez trhlinek, málo porézní a metalurgicky čisté
- možno svařovat jak tenké výrobky o tloušťce 1 mm, tak provádět i svary hluboké až 40 mm

1,32 mbar = 1 Torr



$< 1 \times 10^{-4}$ mbar



$< 1 \times 10^{-4}$ mbar

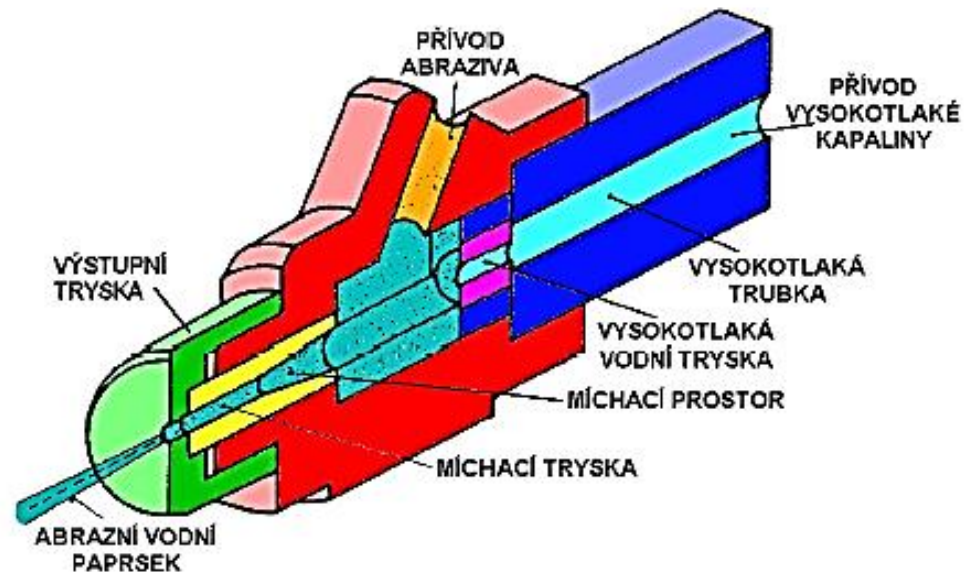
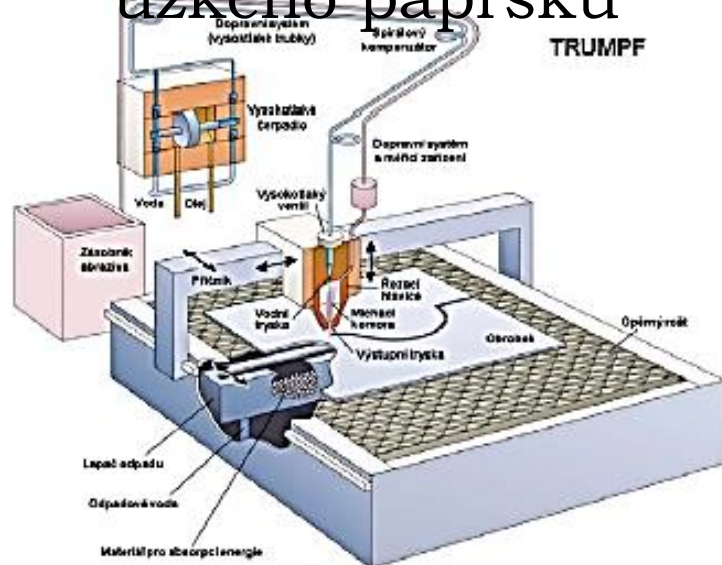
$\sim 10^{-1}$ mbar

~ 1 mbar

a) svařování pod vysokým vakuem, b) svařování pod částečným vakuem, c) svařování bez vakuu

Obrábění vodním paprskem

- oddělování materiálu využívá kinetické energie vysokotlakého a vysokorychlostního vodního proudění (rychlost $600-900 \text{ m.s}^{-1}$); příp. kombinované s kinetickou energií abrazivních částic
- úběr materiálu erozivním procesem v důsledku působení rezného média (částic) usměrněného do úzkého paprsku



- tlak vody z čerpadla 300 až 400 MPa
- důležitá je konstrukce a geometrie trysky – významně ovlivňuje profil proudu a opotřebení trysky
- aplikuje se na čištění, odstraňování otřepů v kompozitech a kovových třískách, na řezání titanových a kompozitních materiálů a kosmickém průmyslu
- **řezná rychlost a kvalitu povrchu**
 - tlak proudu
 - průměr trysky
 - počet a typ laminátových vrstev a orientaci vlákna

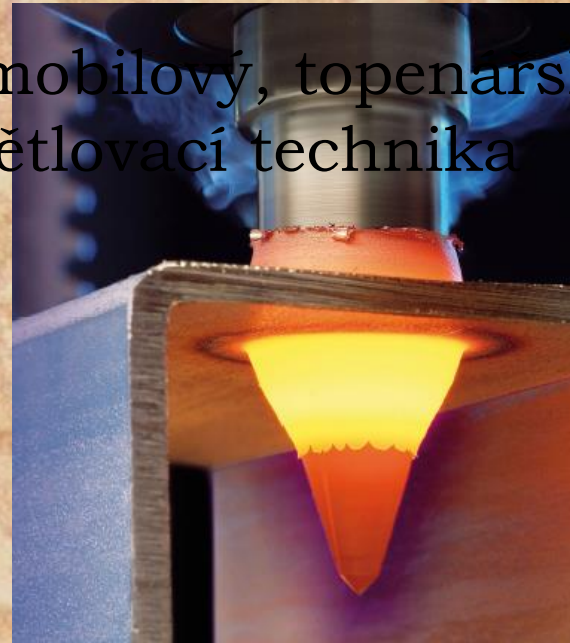
- zvyšování efektivity - přidávání brusných přísad do vodního proudu, hladší řezný povrch
- žádaný průřez proudu má mít průměr 0,1 až 0,15 mm
- vodní proud nesmí mít otěrový účinek na materiál trysky a nemá poškozovat řezaný materiál
- voda nebo nízkoviskózní kapaliny nevyvolává s obráběným materiálem vysoké tření
- řezná hloubka až 200 mm

➤ **nevýhody**

- ❑ vodní proud má v kolmém směru na svoji osu omezenou stabilitu a může se lehko deformovat ⇒ při větších hloubkách řezu v místech výstupu z materiálu může poškodit materiál
 - ❑ energetický pokles proudu směrem do hloubky ⇒ snižuje se řezná schopnost proudu (užší řez)
 - ❑ v místě výstupu proudu z materiálu vznikají trhliny a částičky obrobeného materiálu se vylamují
-
- opotřebení trysky při abrazivních vodních prouděch je výraznější, náklady na řezání jsou vyšší
 - tryska při práci se opotřebovává zvyšováním průtokových výkonů

Termální vrtání

- progresivní metoda tváření otvorů
- vrták z karbidu wolframu generuje při tváření otvorů třecí teplo \Rightarrow lokální ohřev \Rightarrow formování pouzdra z přemísťovaného materiálu
- nutná správná geometrie nástroje
- vrták je polygonový kuželový nástroj vyrobený z karbidu wolframu
- použití technologie - automobilový, topenářský a nábytkářský průmysl, osvětlovací technika



➤ vliv na kvalitu otvoru

- ❑ výkon stroje a jeho technický stav
- ❑ počet otáček
- ❑ axiální síla
- ❑ vhodný nástroj
- ❑ použití mazací pasty



➤ **tváření závitů**

- možno vyrobit konvenčním způsobem (řezáním)
- přednostně tvářením za studena pomocí tvářecího závitníku (pracovní teplota je o mnoho nižší) oproti řezání nevznikají třísky
- vyšší pevnost v porovnání se závitem řezaným

- lze použít libovolný stroj s dostatečným výkonem a počtem otáček ⇒ včetně „normálních“ stojanových vrtaček
- 6mm otvor vyžaduje 2500-3100 RPM a 1.2kW
- životnost nástroje přibližně 10 000 otvorů






- vhodné pro kovové materiály - konstrukční i ušlechtilé oceli, mosaz, hliník, měď
- pro tloušťky 1 – 10 mm (natavený materiál musí někam odejít)
- při tváření také dojde k vysokému zhutnění materiálu ⇒ vysoká pevnost závitu



Geometrie otvorů



Závit	průměr [mm]	Maximální doporučená tloušťka materiálu				Průměr upnutí [mm]	Délka [mm]	Délka [mm]	Doporučené otáčky			Otáčky pro závitování
		typ FORM		typ CUT					min.	optimální	>	
							vrtací část	vrtací část	Ocel	Mosaz, měď, hliník		
		krátký	dlouhý	krátký	dlouhý		krátký	dlouhý	ot./min			ot./min
M3	2,7	1,5	2,0	1,5	3,0	6,0	6,4	7,6	2600	3000	4000	1350
M4	3,7	1,5	2,5	2,0	4,0	6,0	7,6	10,1	2300	2600	3800	1000
M5	4,5	2,0	3,0	3,0	4,5	6,0	9,1	12,0	2200	2500	3700	800
M6	5,4	2,0	3,5	3,0	5,0	6,0	10,1	14,4	2000	2400	3600	650
M8	7,3/7,4	2,5	4,0	4,0	6,0	8,0	13,5	18,2	1600	2200	3200	500
M10	9,2/9,3	2,5	4,5	4,0	6,5	10,0	16,2	21,7	1500	2000	3000	400
M12	10,9/11,0	3,0	5,0	4,5	7,0	12,0	19,3	25,8	1400	1800	2800	350
M14	13,0/13,1	3,0	5,0	4,5	7,0	14,0	22,7	31,5	1400	1600	2500	250
M16	14,8/14,9	3,5	6,0	5,0	8,0	16,0	26,2	35,7	1200	1400	2200	250
M18	16,7/16,8	3,5	6,0	5,0	8,0	18,0	29,4	39,5	1100	1300	2000	230
M20	18,7/18,8	4,0	8,0	6,0	10,0	20,0	33,1	43,4	1000	1200	1900	200
1/8"							16,2	21,7	1500	2000	3000	400
1/4"							21,3	26,4	1400	1600	2600	350
3/8"							27,0	31,0	1200	1400	2200	300
1/2"							-	36,3	1000	1200	1800	250
3/4"							-	43,6	900	1000	1600	200
1"							-	52,3	900	1000	1500	150



Základní sada Standard M6
15 000,-Kč
Vrták M6 2 000,-Kč