

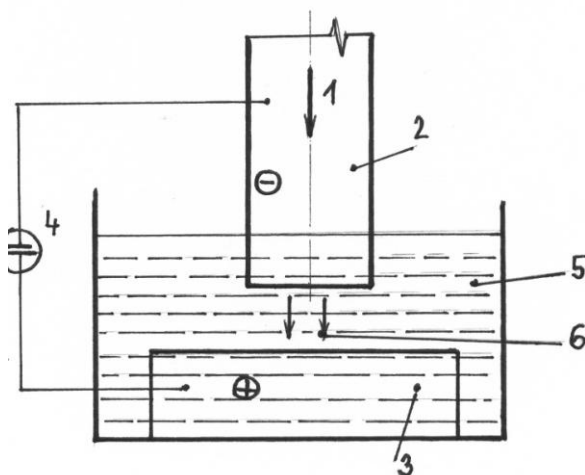
Nekonvenční způsoby obrábění

Tyto technologie se používají při obrábění součástí těžkoobrobitelných (kalené oceli, slinuté karbidy ...) a tvarově složitých (formy, zápustky, ...), u kterých by klasické obrábění nebylo možné. Obrobitelnost u těchto technologií není dána mechanickými vlastnostmi (pevnost, tvrdost, ...), ale fyzikálními vlastnostmi (teplota tavení, elektrická vodivost, ...). Při úběru nepůsobí na obrobek žádná síla. Při užití těchto technologií dochází k daleko menším úběrům materiálu obrobku než u klasických metod obrábění.

1.1 Elektroerozivní obrábění

1.1.1 Princip a základní pojmy

Elektroerozivní obrábění je elektrotepelný proces, u kterého úběru dosahujeme periodicky se opakujícími elektrickými jiskrovými, či obloukovými výboji mezi dvěma elektrodami (nástroj, obrobek) ponořenými do kapalného dielektrika, což je kapalina s vysokým elektrickým odporem.



Princip elektroerozivního obrábění

- 1 - posuv nástroje
- 2 - nástrojová elektroda
- 3 - obrobek
- 4 - generátor
- 5 - dielektrikum
- 6 - elektrické výboje

Při určité vzdálenosti dvou elektrod, zapojených do obvodu elektrického proudu dojde v místě nejsilnějšího elektrického napěťového pole k překonání odporu

dielektrika a k výboji elektrického oblouku, či jiskry. V místě výboje vzniká teplota 3000°C až 12000°C, dojde k tavení a částečně i k odpaření materiálu elektrod. Přerušením elektrického obvodu dojde ke snížení teploty a roztavený materiál je pomocí dielektrika odstraněn ve formě spalin a mikročástic z místa výboje. Vznikne kráter, jehož objem je 0,001 až 0,00001 mm³.

K úběru dochází na obou elektrodách. Cílem procesu je maximalizovat úběr na elektrodě, kterou tvoří obrobek a minimalizovat na elektrodě, kterou tvoří nástroj. Toto ovlivňuje:

- Správná polarita elektrického obvodu
- Správné elektrické parametry elektrického výboje
- Četnost výbojů
- Vhodný materiál nástrojové elektrody
- Vhodné dielektrikum

Charakteristické parametry elektroeroze

- Tvar a velikost energie impulsu (jiskra, oblouk)
- Velikost mezery mezi nástrojem a obrobkem
- Vhodné dielektrikum

Při výboji se zpočátku uvolňuje větší část energie v oblasti anody (elektronová vodivost), později v oblasti katody (iontová vodivost). Z toho důvodu při krátkých výbojích zapojujeme obrobek jako anodu a při dlouhých jako katodu.

Jako zdroje elektrické energie se používají generátory.

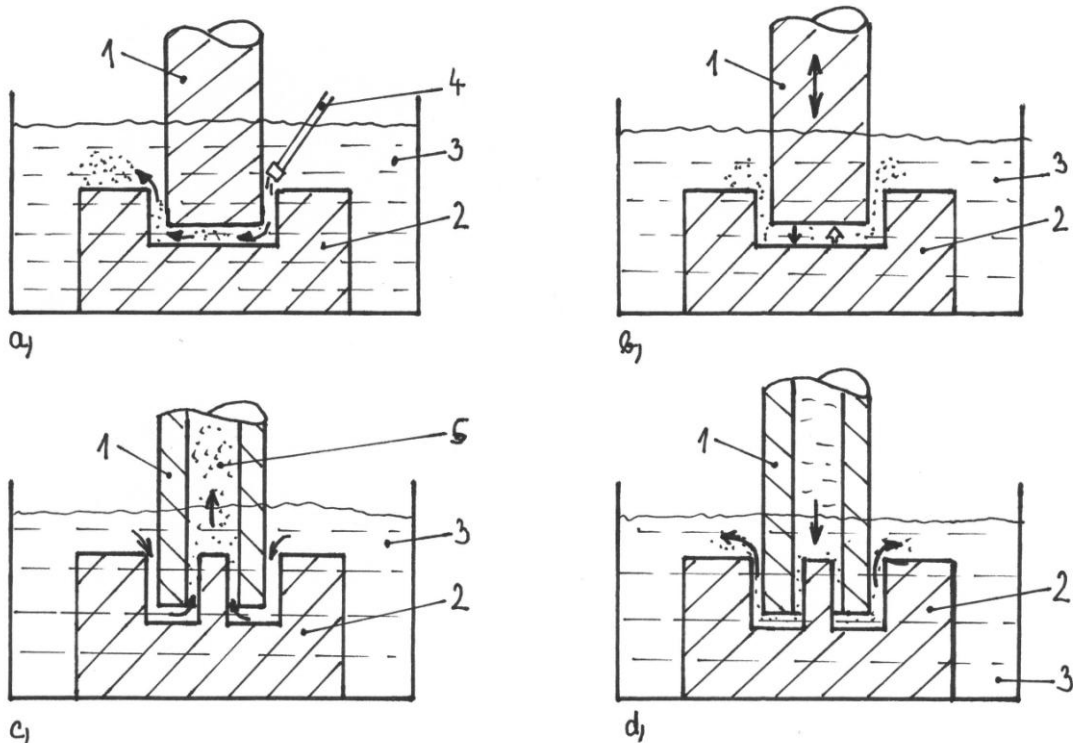
Závislé generátory – mají dobu, výkon a frekvenci výboje závislou na mezeře mezi elektrodami. Jsou založeny na opakovaném nabíjení a vybíjení kondenzátoru ze zdroje stejnosměrného napájení. Nevýhoda – velký odběr materiálu nástroje.

Nezávislé generátory – je možné řídit sled i délku impulsů. Výhodou je malé opotřebení nástrojové elektrody. Tyto generátory se staví jako rotační a polovodičové.

Dielektrikum zajišťuje tyto funkce – působí jako izolátor mezi elektrodami, odvádí teplo pracovní mezery, odvádí spaliny a mikročástice z místa výboje, zabraňuje usazování mikročástic na nástrojové elektrodě. Dielektrikum musí mít dostatečný elektrický odpor, dostatečný bod vzplanutí, hygienickou nezávadnost, co nejnižší cenu. Jako dielektrikum se používá petrolej, lehké strojní a transformátorové oleje, destilovaná voda, neionizovaná voda, ...

Způsoby vyplachování pracovní mezery

- Vnější vyplachování
- Tlakové vnitřní vyplachování
- Vyplachování odsáváním
- Pulzní vyplachování



Způsoby přivodu dielektrika

a, vnější

b, pulzní

c, odsávacím

d, tlakově vnitřní

1- nástrojová elektroda

2- obrobek

3- dielektrikum

4- přívod dielektrika

5- odsávání

Nástrojové elektrody

Materiál nástrojové elektrody se volí dle materiálu obrobku, elektrických parametrech výboje, polarity generátoru, fyzikálních vlastností materiálu elektrody.

Materiál nástroje musí splňovat

- Dobrou elektrickou a tepelnou vodivost
- Vysoký bod tání a bod varu
- Odolnost proti elektrické erozi
- Stálost tvarů a minimální tepelnou roztažnost

- Dobrou obrobiteľnosť

Tyto parametry splňuje elektrolytická měď slitiny wolframu a mědi, slitiny hliníku, mosaz hliník, grafit.

1.1.2 Technologické aplikace elektroerozivního obrábění

- Hloubení dutin, zápustek a forem, vyjiskřování ulomených nástrojů
- Elektroerozivní drátové řezání
- Výroba malých otvorů (mikroděrování)
- Elektrokotaktní obrábění

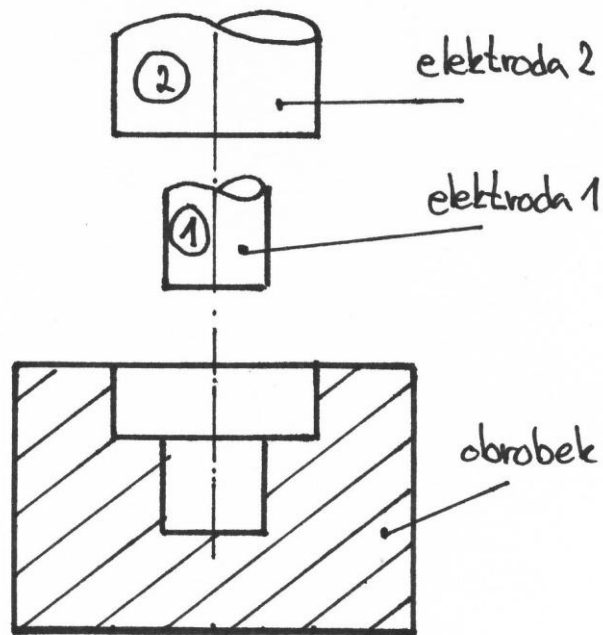
Hloubení dutin, zápustek a forem, vyjiskřování ulomených nástrojů

Elektroerozivní obrábění se využívá při výrobě zápustek, tvářecích nástrojů, forem pro tlakové lití výrobu střížných nástrojů. Toto obrábění se z ekonomického hlediska vyplatí při výrobě složitých dutin. Časté použití je také při odstraňování ulomených nástrojů (vrtáky, závitníky, ...) z obrobků. Tímto způsobem se zachraňují obrobky velké hodnoty. Jádro nástroje se vyjiskří a zbytek nástroje se vyjme

Parametry elektroerozivního hloubení

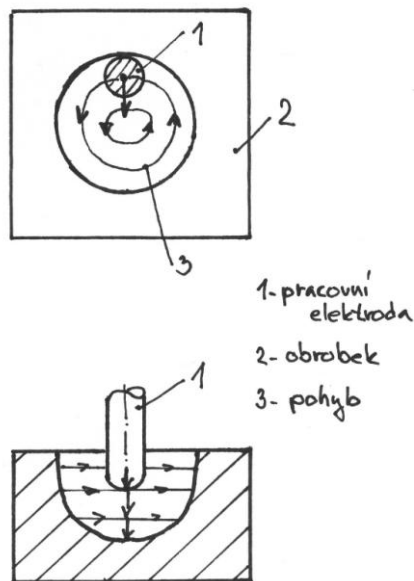
Pracovní napětí až 50 V, proud 0,5 až 320 A, frekvence 50 až 500000 Hz, úbělovost 100 až 25000mm³min⁻¹, přesnost +-0,12 až 0,05 mm, drsnost povrchu Ra až 0,5 μm.

Nástrojová elektroda se navrhuje a konstruuje pro každý obrobek samostatně. Z důvodu vysokých nákladů na výrobu se u elektroerizivních strojů s automatickou výměnou nástrojů může celkový tvar obráběné dutiny rozdělit na jednodušší tvary.



Složení nástrojové elektrody

Klasický způsob hloubení je založen na přenášení tvaru nástrojové elektrody ve směru svislé osy. Dalším vývojem bylo zavedeno tzv. planetové obrábění, tj. řízené vychylování nástrojové elektrody ve všech směrech roviny x-y



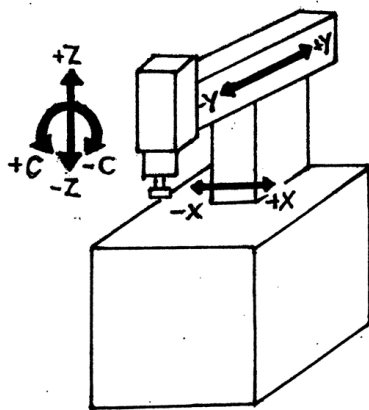
- 1- pracovní elektroda
- 2- obrobek
- 3- pohyb

Výroba dutiny pohybem elektrody

Výhody planetového obrábění

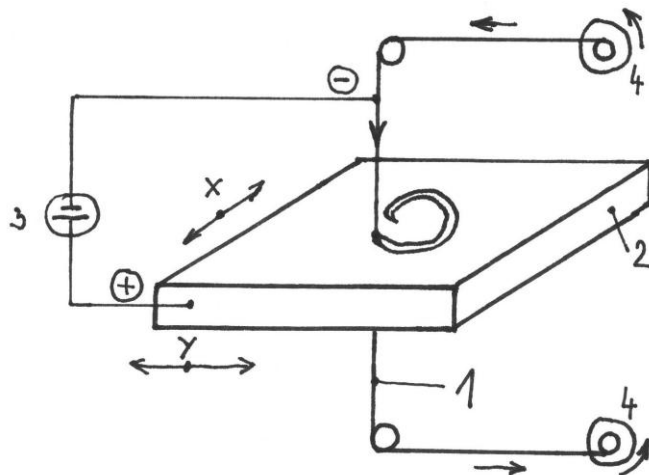
- Pro výrobu složité součásti lze použít jednoduchý nástroj
- Zkvalitnění obrobku – lepší výplach a odstranění odebraných částic, které v oblasti výbojů zhoršují jakost povrchu a přesnosti

Další pokrok přineslo zavedení CNC řízení elektroerozivního obrábění ve čtyřech osách současně, kdy vhodnou kombinací tvaru a pohybu elektrody lze vyrobit velmi složité obrobky.



Elektroerozivní drátové řezání

Tato metoda je využívána zejména při výrobě střížných a lisovacích nástrojů, šablon a dalších plochých součástí z kovových materiálů. Lze vyrábět tvarové přímkové plochy (tvořící čarou těchto ploch je přímka)



- 1- drátová elektroda
- 2- obrobek
- 3- generátor
- 4- navíjecí cívky

Elektroeroze probíhá mezi nástrojovou elektrodou tvořená tenkým drátem, který je z důvodu opotřebení převíjený pomocí odvíjecího zařízení a obráběnou součástí, která je připojená ke generátoru jako opačná elektroda. Elektrickými výboji mezi odvíjející se elektrodou a obrobkem pohybující se ve vodorovné rovině, vzniká pracovní řez požadovaného tvaru. Nástrojová drátová elektroda je nástroj, který může odebírat materiál v jakémkoli směru, což ve spojení s CNC řízením umožňuje vyrábět velmi složité tvary obrobků. Drát se používá měděný, na větší průměr mosazný a na řezy malými průměry (0,03 až 0,07mm) molybdenový.

Požadavky na drátovou elektrodu

- Vysoká elektrická vodivost – přívod el. energie malým průměrem elektrody
- Dostatečná mechanická pevnost a odolnost proti přetržení
- Vysoká přesnost průměru a kruhovitosti – ovlivňuje přesnost řezání

Přesnost vyřezávaných tvarů je dána vlastnostmi stroje, přesností CNC řídicího systému, stabilitou nastavených pracovních parametrů generátoru, kvalitou přívodu a čištění dielektrika, tepelnou stabilitou stroje.

Drát musí vstupovat do místa řezu dokonale napnut a vyrovnán, proto je před vstupem kalibrován diamantovým průvlakem systémem podávání a vedení veden a napínán. Tento systém umožňuje naklopení nástrojové elektrody vzhledem ke kolmé ose až o $\pm 30^\circ$.

Technologické parametry

Úběr 35 až 200 $\text{mm}^3\text{min}^{-1}$, jakost Ra 0,15 ž 0,3 μm , přesnost řezání až 0,01mm, maximální tloušťka až 400, dielektrikum – deionizovaná voda

Možnosti moderních elektrojiskrových drátových center

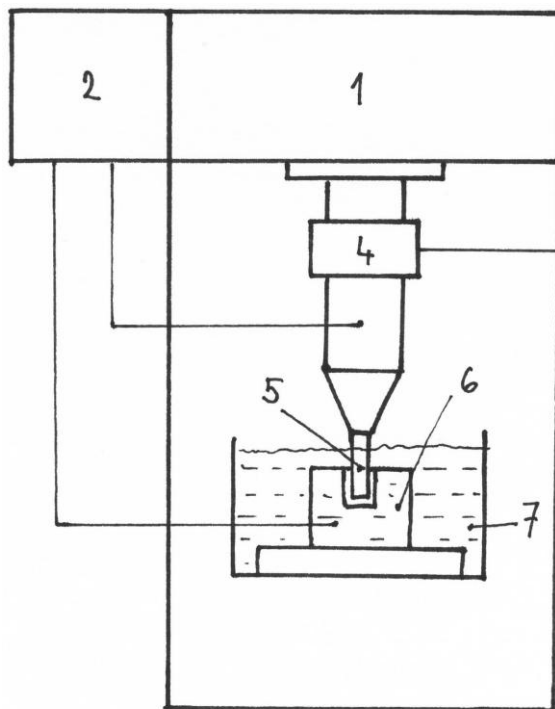
- Automatické navlékání drátu – pomocí proudu dielektrika, mechanicky
- Automatické vyjiskření technologických otvorů
- Automatické zjištění polohy obrobku pomocí drátové elektrody
- Automatické zjištění středu startovacího otvoru

Tyto automatizační prvky umožňují až 80 hodin bezobslužný provoz

S rozvojem výpočetní techniky se zavádějí nové metody vyřezávání třírozměrných tvarů tvarovou drátovou elektrodou. Vyrábí se z mědi a má tvar trubky obdélníkového průřezu. Lze vytvořit dutinu či vyřezat materiál. Tvar elektrody i její pohyb vůči obrobku se počítá na počítači.

Mikroděrování

Při elektroerozivním hloubení lze při vhodně zvolených technologických parametrech (speciální generátory pulsů o malé energie a krátké době trvání 3 až 5 μs) zhotovovat malé otvory kruhových i nekruhových otvorů o průměru 0,02 až 5 mm do hloubky až 100 mm (průvlaky, trysky karburátorů, ...). Nástrojová elektroda je z materiálu o vysoké teplotě tavení – wolframu.



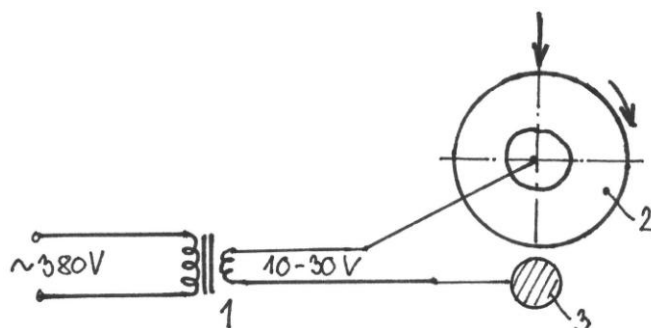
Princip mikroděrování

- 1 - elektroerozivní stroj
- 2 - generátor
- 3 - ultrazvukový generátor
- 4 - převodník el. kmitů na mechanické
- 5 - nástrojová elektroda
- 6 - obrobek
- 7 - dielektrikum

Na zařízeních se používají přípravky pro vedení elektrody (skleněné kapiláry) a optická zařízení pro polohování nástroje. Pro zajištění dobrého výplachu dielektrika vykonává nástrojová elektroda kmitavý pohyb.

Elektrokontaktní obrábění

Jedná se o odporové odtavování materiálu stykem elektrody a obrobku. Zdrojem proudu bývá jednofázový transformátor, pracovní napětí 6 až 30 V, kotoučová elektroda průměr 300 až 500 mm, tloušťka 1 až 3 mm, obvodová rychlost 7 až 15 ms⁻¹



Princip elektrokontaktního dělení materiálu

- 1 - transformátor
- 2 - nástrojová elektroda
- 3 - obrobek

Kotoučová elektroda přichází do kontaktu s obrobkem. V místech styku probíhá proud o vysoké proudové hustotě. Tam se začíná kov odtavovat a částečně odpařovat. Otáčením elektrody se vytvořené můstky přerušují, na okamžik se zapálí oblouk, čím se tavení a odpařování zesiluje. Roztavený kov se odstraňuje tlakem par a unášením kotoučem. Odvod roztaveného kovu se zesiluje proudem vzduchu či vody, to je využito současně k chlazení elektrod.

Výhody – vysoká úběrovost, jednoduchost, malé opotřebení nástroje

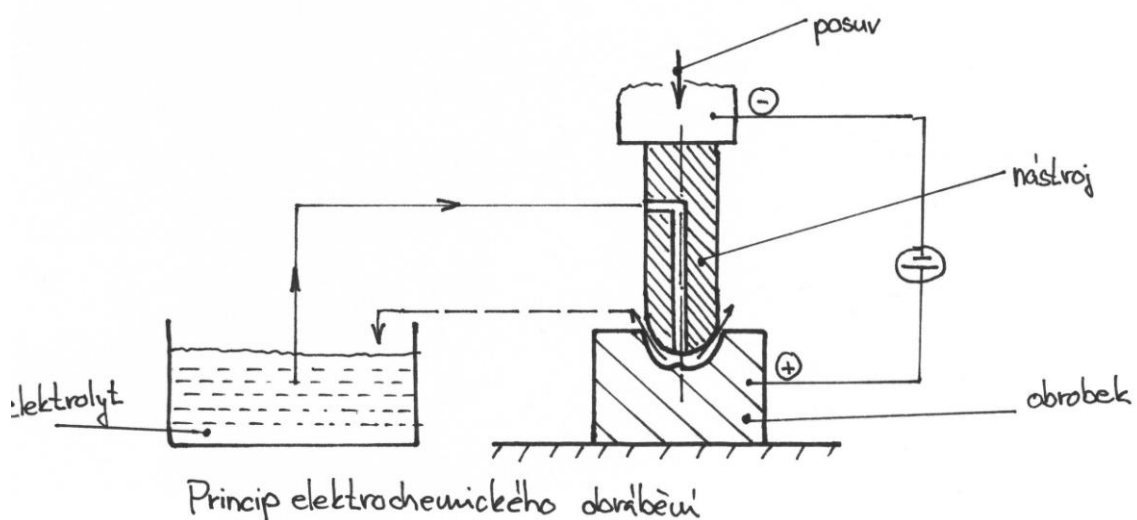
Nevýhody – nízká kvalita obrobeného povrchu, hloubka tepelného ovlivnění až 10 mm, vysoká energetická náročnost, hlučnost

1.2 Elektrochemické obrábění

1.2.1 Princip elektrochemického obrábění

Elektrochemické obrábění je beztržkové obrábění elektricky vodivých materiálů. Podstatou obrábění je řízená elektrolýza mezi obrobkem a nástrojovou elektrodou.

Řízená elektrolýza se od elektrolýzy používané při pokovování liší relativním posuvem elektrod, malou vzdáleností mezi elektrodami (0,05 až 1mm), velkým tlakem a prouděním elektrolytu, vysokou proudovou hustotou (až 1000 Acm^{-2}), členitým tvarem nástrojových elektrod.



Obr.č.12

Nástroj se zapojuje na záporný pól tj. katodu, obrobek na anodu. Mezera mezi obrobkem a nástrojem se plynule udržuje (0,05 – 1 mm). Touto mezerou proudí elektrolyt o tlaku 0,4 až 2 MPa. V okamžiku zapojení elektrického proudu nastává v elektrickém poli mezi elektrodami pohyb kationtů elektrolytu k anodě a aniontů ke katodě. Na anodě dohází k reakci, při níž se kationty slučují s anionty kovu na povrchu anody a vytvářejí novou sloučeninu. Tím se postupně kov anody rozpouští. Elektrochemickou reakcí dochází k vytváření negativního tvaru nástroje (katody) v obrobku (anodě). Nástroj se neopotřebovává a obrobená plocha není tepelně zatěžována.

Množství odebraného materiálu závisí podle Faradayova zákona na elektrochemickém ekvivalentu k a intenzitě protékajícího proudu.

$$G_{\text{teor}} = k \cdot I \cdot t \text{ [g]}$$

Elektrochemický ekvivalent k je množství látky vyloučené proudem za sekundu k [$\text{gA}^{-1}\text{s}^{-1}$] a bývá pro určitý elektrolyt a materiál konstantní.

Teoretický úběr materiálu

$$Q_{\text{vt}} = \frac{k}{\rho} \left[\text{mm}^3 \text{A}^{-1} \text{s}^{-1} \right] \quad \rho - \text{měrná hmotnost} \left[\text{gmm}^{-3} \right]$$

Rychlost elektrochemického rozpouštění

$$v_a = Q_{\text{vt}} \cdot J \left[\text{mm s}^{-1} \right] \quad J - \text{proudová hustota} \left[\text{Amm}^{-2} \right]$$

Při určitých proudových hustotách se tvoří na anodě nežádoucí produkt z oxidů, plynů a solí tzv. pasivační vrstvička. Ta omezuje průchodnost proudu a zpomaluje difuzi iontů kovu. Proto se musí tato vrstvička odstraňovat.

Elektrolyt

- Zajišťuje vedení elektrického proudu
- Složení elektrolytu určuje podmínky rozpouštění anody
- Odvádí z pracovního prostoru teplo

- Odvádí produkty chemické reakce

Jako elektrolyt se používá chlorid sodný, dusičnan sodný, chloristan sodný, kyselina sírová, kyselina chlorovodíková, hydroxid sodný.

1.2.2 Rozdělení metod elektrochemického obrábění

Obrábění s nuceným odstraňováním produktů elektrochemických reakcí

- a. Proudícím elektrolytem
 - Hloubení tvarů a dutin
 - Odstraňování otřepů
 - Soustružení
- b. S mechanickým odstraňováním

- Broušení a lapování
- Honování

Povrchové obrábění bez odstraňování produktů elektrochemických reakcí

- Leštění
- Značení

Hloubení tvarů a dutin

Tato metoda se používá při hloubení dutin tvarových zápustek, forem pro tlakové lití, lisování tvarových otvorů v těžkoobrobitelných kovových materiálech a obrábění vnějších tvarových ploch.

Odstraňování pasivační vrstvičky je zde docilováno rychlým prouděním elektrolytu (10 až 60 ms^{-1}) pod tlakem až $2,5 \text{ MPa}$. Rychlost proudění elektrolytu musí být tak veliká, aby stačil odstraňovat uvolňující se částice kovu anody. Přívod elektrolytu musí být stálý a elektrolyt musí rovnoměrně vyplňovat celou pracovní dutinu.

Obrobek je odizolován od kostry stroje a nástrojová elektroda, která má negativní tvar vyráběného povrchu, postupně vytváří tvar v obráběném materiálu.

Parametry obrábění

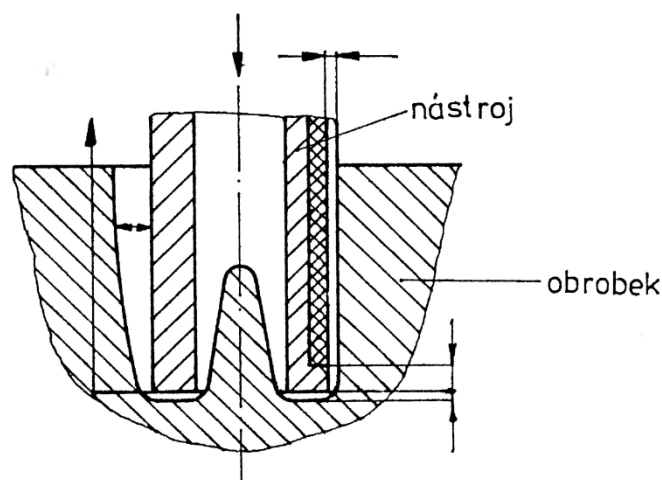
Proudová hustota – až 1000 Acm^{-2} Pracovní napětí – 5 až 30 V

Rychlost posuvu - 0,2 až 15 mm min^{-1} Pracovní mezera – 0,05 až 1 mm

Přesnost - 0,01 až 0,2 mm Drsnost R_a – 0,5 až $2 \mu\text{m}$

Konstrukce a výroba elektrod je značně obtížná. Elektrody musí mít dobrou elektrickou a tepelnou vodivost, odolnost proti výbojům a korozi, dostatečnou pevnost, možnost dosažení hladkého povrchu

Zkonstruovaný tvar nástrojové elektrody je nutné experimentálně ověřit a provést korekce tvaru nástroje nebo izolačním nátěrem k zabránění nežádoucího úběru materiálu



Nástroj se vyrábí z mosazi, mědi, korozivzdorné oceli, grafitu.

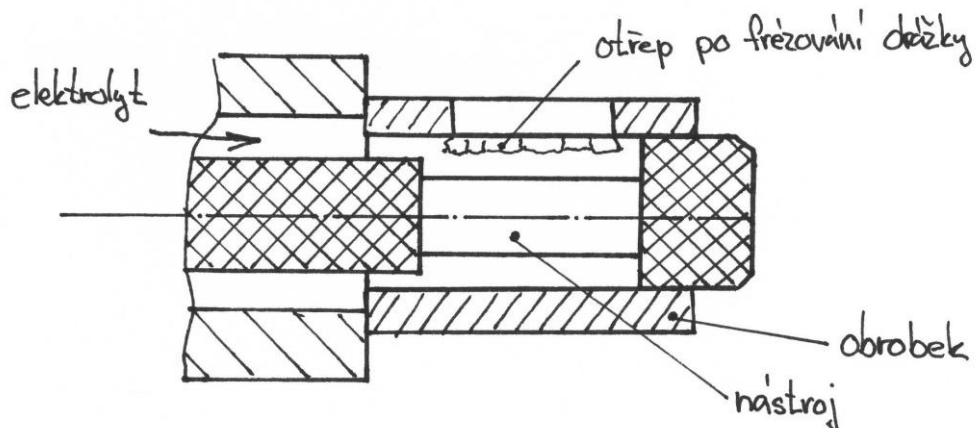
Touto metodou lze hloubit i otvory menší než 1 mm. Jako nástrojové elektrody se používá kovová trubička nebo skleněná trubička ve které je drát ze ušlechtilého kovu a v této trubičce proudí elektrolyt.

Odstraňování otřepů

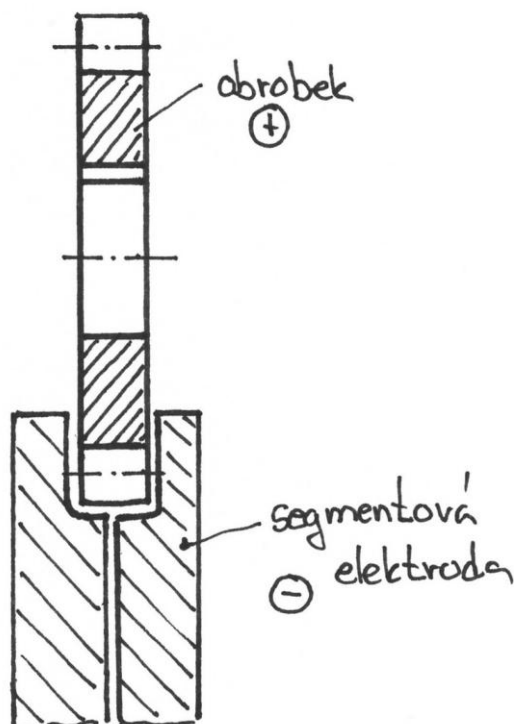
Tuto metodu používáme ke zproduktivnění práce při odstraňování otřepů v málo přístupných místech a nenahrazení náročné ruční práce.

Otřep na hraně obrobku zmenšuje pracovní mezeru, tím se zvýší proudová hustota a dojde k rozpuštění materiálu otřepu.

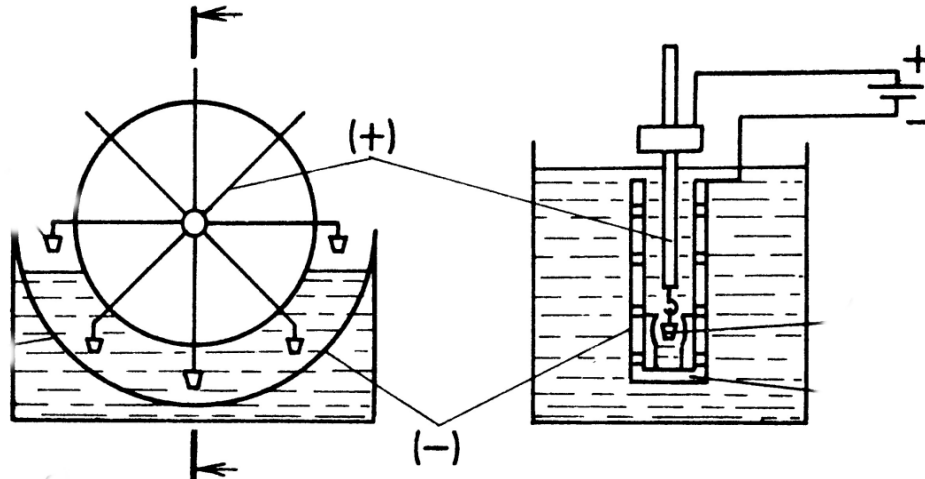
- Tvarovou elektrodou – odstranění otřepů v dírách a jejich prunicích



- Segmentovou elektrodou – u rotačních součástí (ozubená kola)



- V lázni

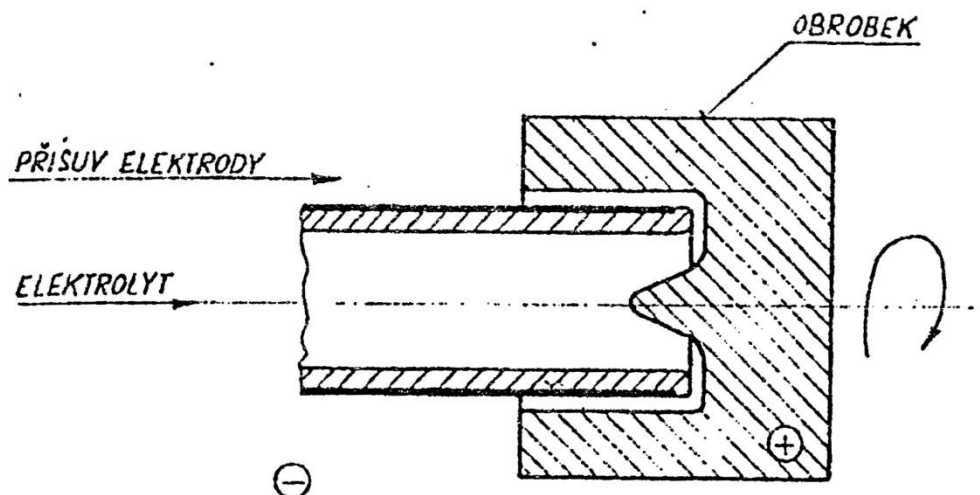


Soustružení

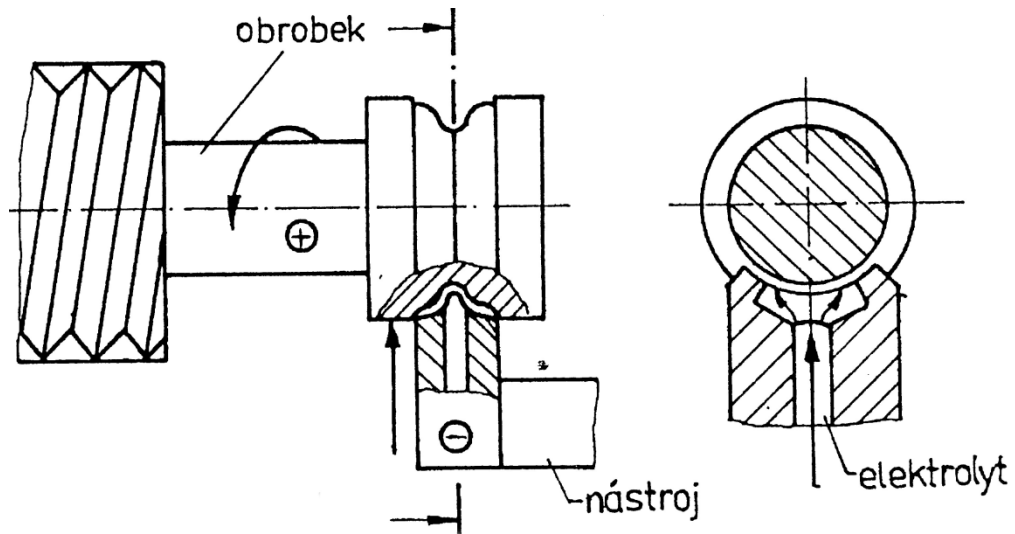
K odstranění pasivační vrstvičky se využívá rotačního pohybu obrobku. Lze použít na každém stroji pomocí přídatného rotačního přípravku umístěném na pracovním stole.

Dle způsobu soustružení můžeme dělit na :

Čelní způsob



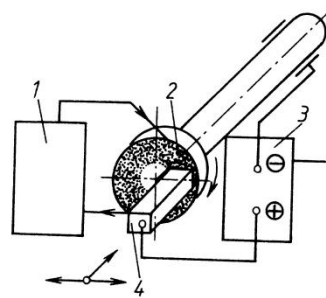
Zapichovací způsob – často tvarová elektroda



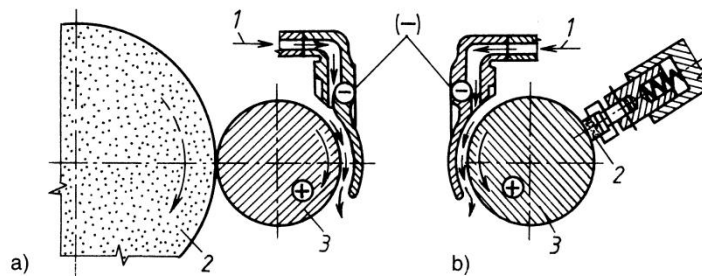
Broušení a lapování

Obrobek je až z 90% odebrán anodickým rozpouštěním. Pomocí brusného zrna se odstraňuje oxidační vrstva. Nástroj je diamantový kotouč s kovovou vazbou či kovový kotouč (u lapování). Pracovní mezera je určována u diamantového kotouče vyčnívajícími zrny diamantu u kovového kotouče brusivem rozptýleném v elektrolytu.

Princip elektrochemického broušení
s vodivým brousícím nástrojem
1 – zásobník elektrolytu, 2 – nástroj (brousící
kotouč), 3 – napájecí zdroj, 4 – obrobek



Princip elektrochemického broušení
s nevodivým brousícím nástrojem
a) brousící kotouč, b) brousící lišta
1 – přívod elektrolytu, 2 – brousící nástroj,
3 – obrobek



Výhodou metody je vysoká úbělovost, obrábění bez silových a tepelných účinků, malé opotřebení brousícího nástroje.

Dosahovaná přesnost je až $\pm 0,05$ mm, drsnost R_a 0,1 až 0,5 μm .

Honování

Princip elektrochemického honování je shodný s klasickým honováním.

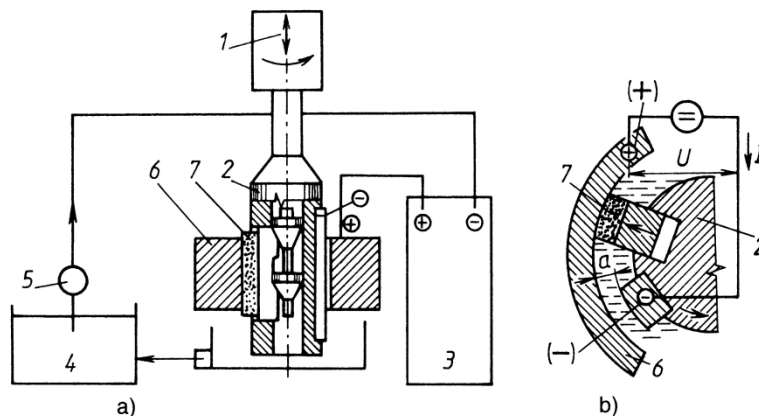


Schéma elektrochemického honovacího stroje (s vyznačením kombinace mechanického a elektrochemického úběru)

a) schéma stroje, b) detail pracovního místa

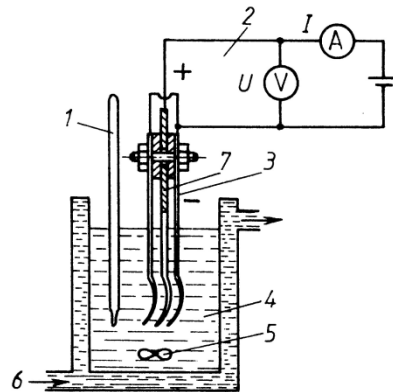
1 – pohon, 2 – nástroj, 3 – napájecí zdroj, 4 – zásobník elektrolytu,
5 – čerpadlo, 6 – obrobek, 7 – honovací lišta

Dochází zde ke kombinaci elektrochemického a mechanického obrábění a tím ke zvýšení produktivity práce. Honovací hlava je osazena nevodivými honovacími kameny. Jako brusivo pro kamen se používá korund, karbid křemíku nebo diamant v keramické vazbě. Mezi vodivou plochou honovací hlavy (katodou) a obrobkem (anodou) proudí v mezeře (0,15 až 0,3 mm) elektrolyt a dochází k anodickému rozpouštění. Obráběná součást je odizolována od stroje.

Leštění

Je založeno na anodickém rozpouštění vrcholků nerovností. Na vrcholcích nerovností je větší proudová hustota a dochází tam k většímu úběru materiálu, než v prohlubeninách. V prohlubeninách se také usazují více produkty elektrolýzy než na vrcholcích. Nerovnosti se postupně vyrovnávají a vzniká hladký a lesklý povrch. Nástroj (katoda) tvoří kov, který se v elektrolytu nerozpouští (většinou olovo), musí mít větší plochu než obrobek a má tvar negativu anody.

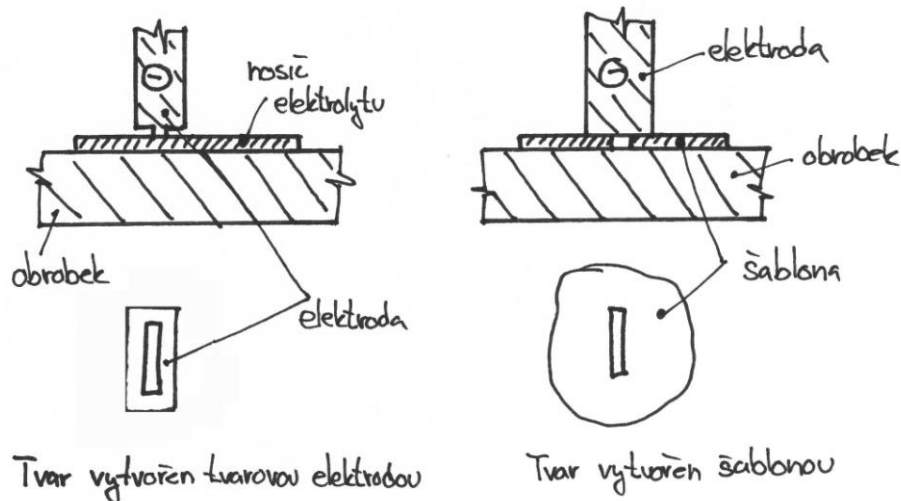
Princip zařízení pro elektrochemické leštění
1 – teplotní stabilizace, 2 – napájecí zdroj,
3 – nástroj, 4 - elektrolyt, 5 – zařízení pro zajištění proudění elektrolytu, 6 – chlazení, 7 – obrobek



Obrobek musí být před leštěním opracován mechanicky – broušení, omílání. Dosahovaná drsnost povrch R_a je až 0,2 μm . Jako elektrolytu se dle materiálu obrobku používá kyselina chlorovodíková, sírová apod.

Značení

Jedná se o místní usměrněné anodické rozpouštění povrchu značené součásti pomocí nástrojové elektrody. Pracovní mezera je docílena pomocí nosiče elektrolytu nebo šablony. Šablony se vyrábí z plastů o tloušťce 0,1 až 3 mm, jako nosiče se používá např. cigaretový papír.



Hloubka znaku je pouze několik tisícín mm. Značení lze provádět pouze na čistý povrch o drsnosti menší než $R_a 12 \mu\text{m}$. Značení je bezsilové, bez vzniku tepla.