



Kód modulu:

STROJÍRENSKÁ TECHNOLOGIE

PŘEDNÁŠKA 3

Obrábění

- Základní pojmy
- Ruční obrábění, strojní obrábění
- Soustružení
- Vrtání a vyvrtávání
- Frézování
- Hoblování a obrážení
- Broušení

Základní pojmy

▶ **OBRÁBĚNÍ –**

technologický proces, kterým vytváříme povrchy obrobku určitého tvaru, rozměrů a jakostí. A to odebráním částic materiálu pomocí účinků mechanických, elektrických, chemických, případně jejich kombinací.

• **POLOTOVAR –**

předmět, který se teprve bude obrábět;

• **OBROBEK–**

obráběný nebo již obrobený předmět;

- **Obrábění se uskutečňuje v soustavě**
 - Obráběcí stroj;
 - Řezný nástroj;
 - Obrobek;
- **ŘEZÁNÍ –**
obrábění, při kterém dochází k odbírání části materiálu ve tvaru třísky břitem řezného nástroje.
- **PŘÍDAVEK –**
část materiálu obrobku, kterou je potřeba odstranit obráběním.
- **ODEBÍRANÁ VRSTVA –**
část přídavku, odřezávaná ve formě třísky.
- **TŘÍSKA -**
odříznutá a deformovaná vrstva materiálu obrobku.

Rozdělení metod obrábění

▶ Podle charakteru práce:

- ruční;
- strojní;

▶ Podle charakteristických znaků:

- Obrábění pomocí nástrojů s definovanou geometrií (soustružení, frézování, vrtání, obrážení, ...);
- Obrábění pomocí nástrojů s nedefinovanou geometrií (broušení, honování, lapování a jiné dokončovací operace);
- Nekonenční metody obrábění (elektro-erozivní, chemické, ultrazvuk, laser, soustředěným paprskem...);
- Úpravy obrobených ploch (válečkování, leštění, hlazení, ...);

Rozdělení obrábění podle hlavního řezného pohybu

- ▶ rotační pohyb – obrobek
soustružení
- ▶ rotační pohyb – nástroj
**vrtání, vyhrubování, vystružování,
zahlubování, frézování, broušení, řezání
kotoučovou pilou**
- ▶ přímočarý vratný – obrobek
hoblování
- ▶ přímočarý vratný – nástroj
**obrážení, protlačování, protahování,
řezání rámovou pilou, řezání pásovou
pilou, pilování**

Ruční obrábění, strojní obrábění

- **Ruční obrábění** nelze z výrobního procesu vyloučit; vyžaduje celkovou manuální zručnost a fyzickou sílu; (řezání, pilování, vrtání, řezání závitů, stříhání, ohýbání atd.)
- **Strojní obrábění** patří mezi nejužívanější způsoby výroby přesných součástí;

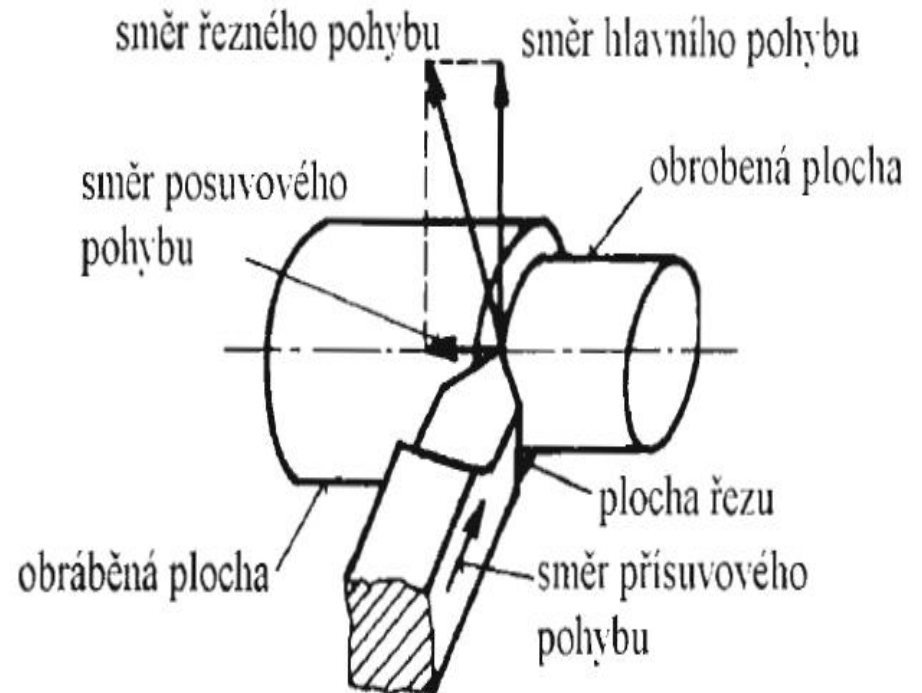
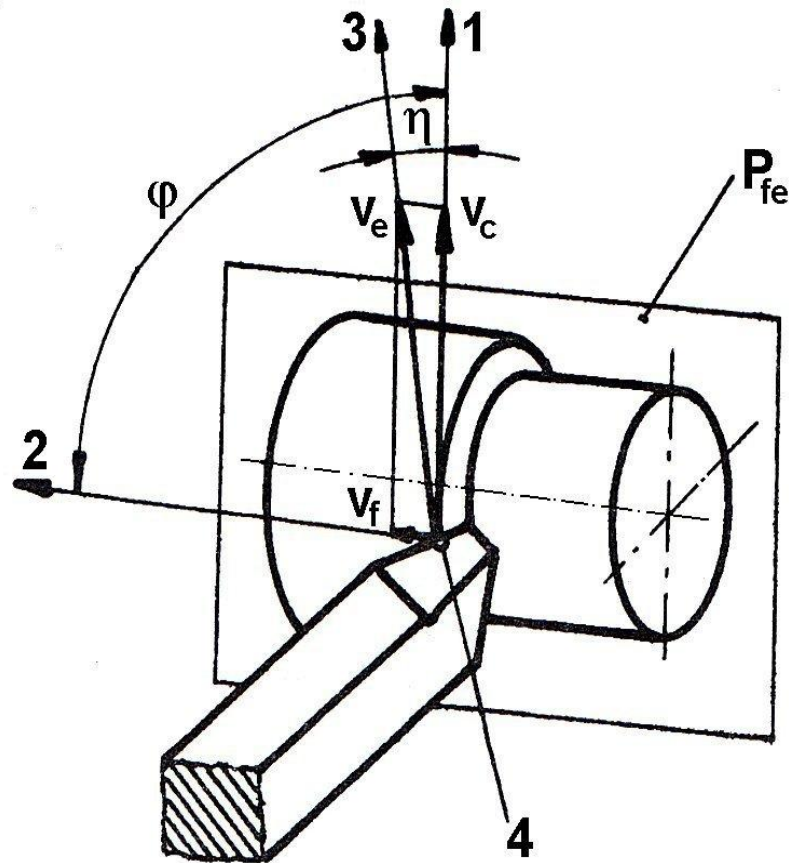
Obrábění pomocí nástrojů s definovanou geometrií - soustružení

- Nejčastější způsoby obrábění (většina součástek rotačního tvaru kruhového průřezu; lze však také obrábět rovinné plochy tzv. čelní soustružení).
- Obrobek upnutý ve skličidle nebo mezi hroty vykonává hlavní (řezný) pohyb rotační a nástroj (soustružnický nůž), upnutý v nožové hlavě, vykonává vedlejší pohyb přímočarý (posuv a přísuv).
- Rychlost hlavního (řezného) pohybu, tzv. řezná rychlost:

$$v = (\pi \cdot D \cdot n) / 1\,000 \text{ (m/min)}$$

Kde v je řezná rychlost v (m/min), π - Ludolfovo číslo, D – průměr obrobku (který právě obrábíme) v (mm), n – počet otáček obrobku za minutu;

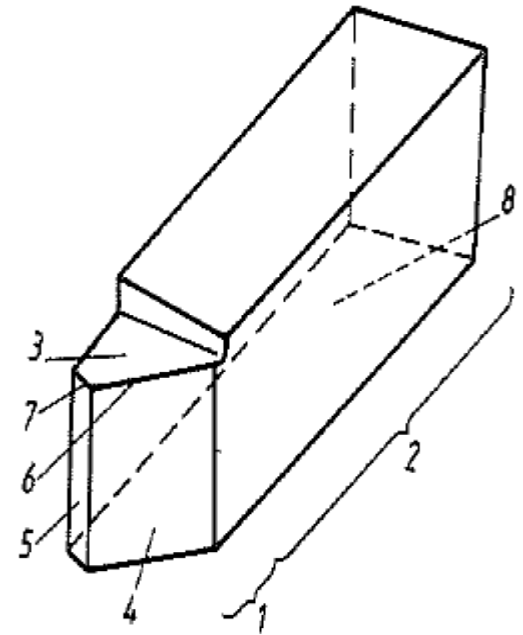
Pohyby při obrábění



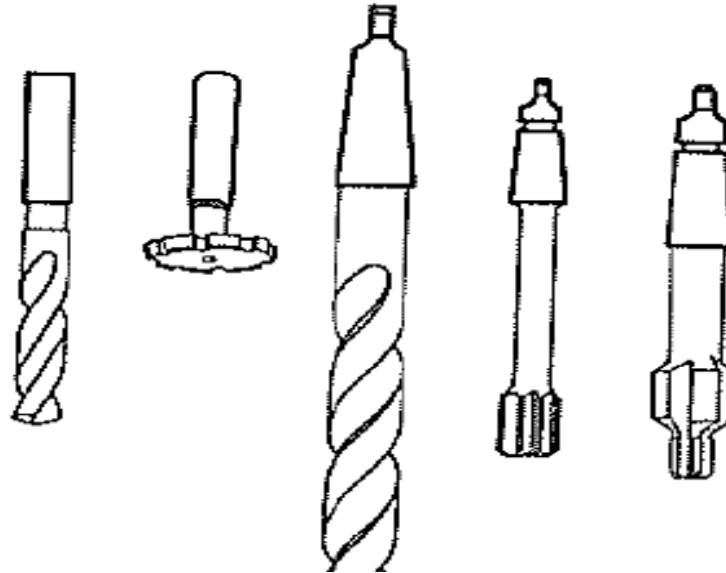
SOUSTRUŽENÍ

Nástroj - předmět, kterým se obrábění uskutečňuje;

- 1 - řezná část (břit);
- 2 – upínací část (stopka);
- 3 - plocha čela (čelo);
- 4 – plocha hlavního hřbetu;
- 5 – plocha vedlejšího hřbetu;
- 6 - hlavní ostří;
- 7 – vedlejší ostří;
- 8 – ustavovací plocha nože;



- Upínací část (stopka) – podle druhu nástroje má různý tvar;

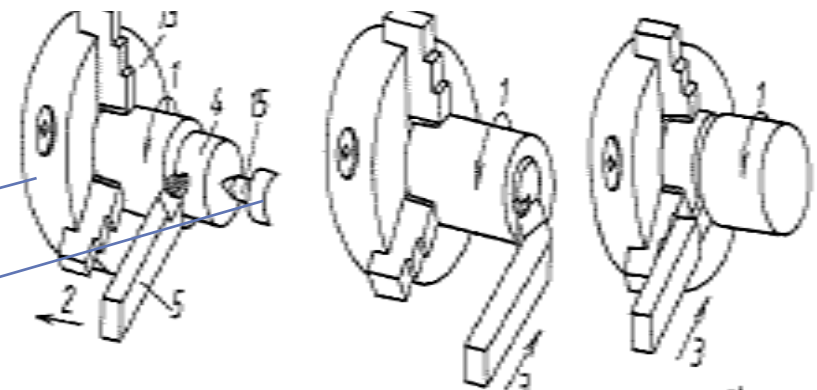


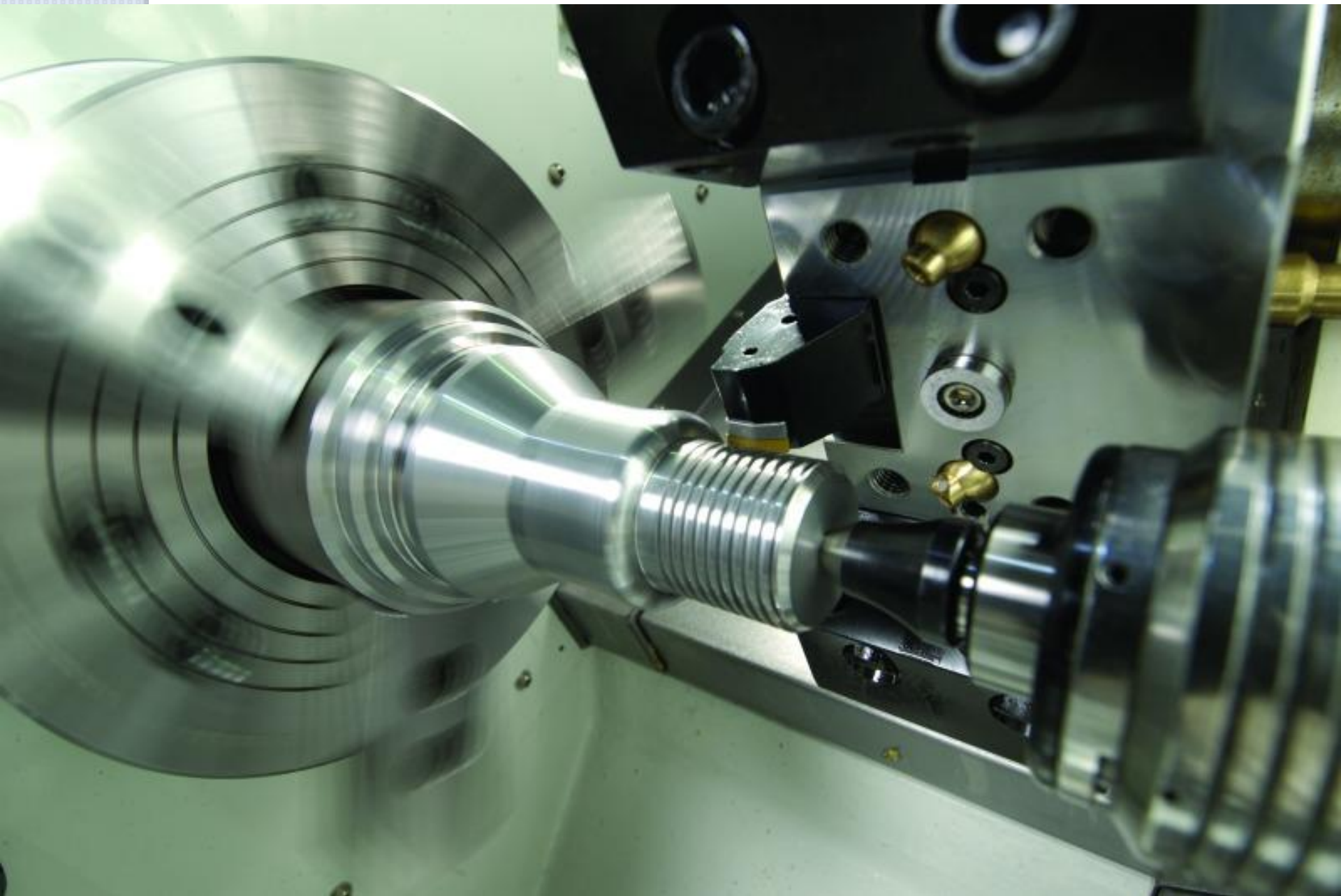
- Řezná část (břit) – má většinou tvar klínu, který je ohraničený plochou čela (po které odchází třísky) a plochou hlavního a vedlejšího hřbetu;
- Průsečnice čela a hřbetu je ostří, které vniká do materiálu a odděluje z něho třísku;
- Nástroj spolu s obrobkem vytváří **tzv. geometrii břitu**; vhodnou volbou úhlů ovlivňujeme obrábění, tj. velikost řezných sil, drsnost a přesnost obrobené plochy, trvanlivost ostří a ekonomii obrábění;

Obráběcí stroje

- Obráběcím strojem je **soustruh**, nejčastěji **hrotový**. Používá se zejména v kusové a malosériové výrobě. Obrobek se upíná mezi dva hroty. Má široké uplatnění vzhledem k univerzálnosti příslušenství. Velikost hrotových soustruhů je dána jejich největší vzdáleností hrotů, tzv. točnou délkou a největším možným průměrem, který se dá na soustruhu obrábět, tzv. oběžným, točným průměrem.
- Základní práce, které se na soustruhu provádějí jsou – soustružení válcových ploch (podélné), soustružení rovinných ploch (příčné) a upichování.

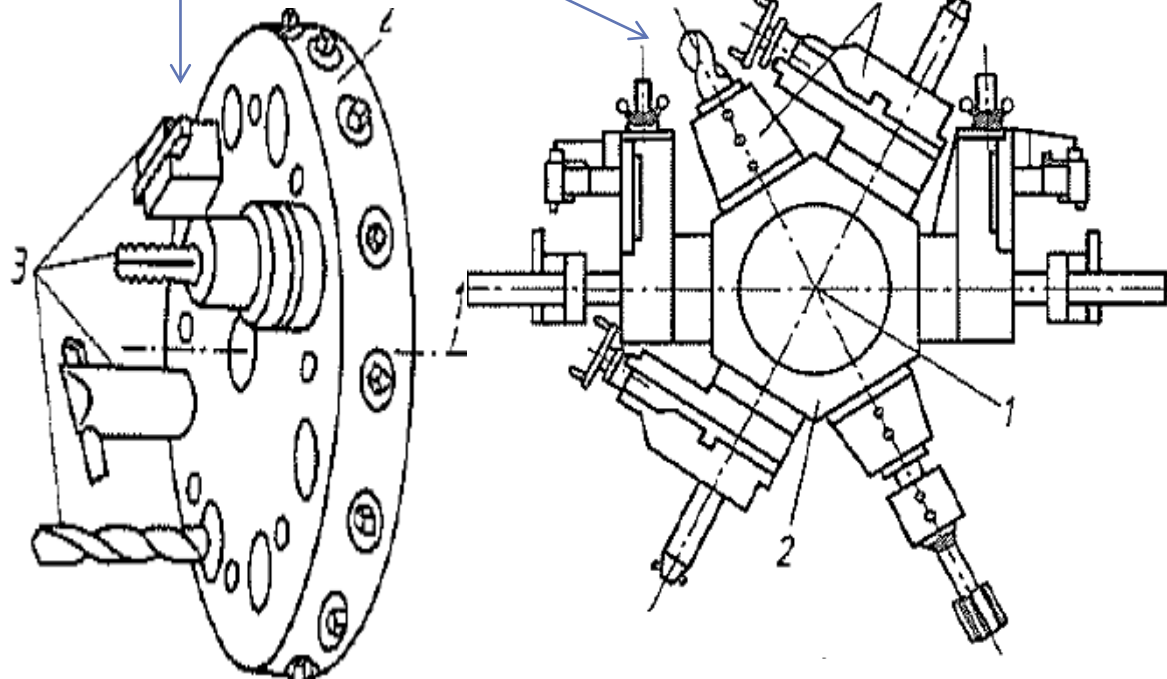
- 1 – hlavní (řezný) pohyb,
- 2 – vedlejší pohyb (posuv),
- 3 – vedlejší pohyb (přisuv);
sklíčidlo ←
- pinola s upínacím hrotem ←

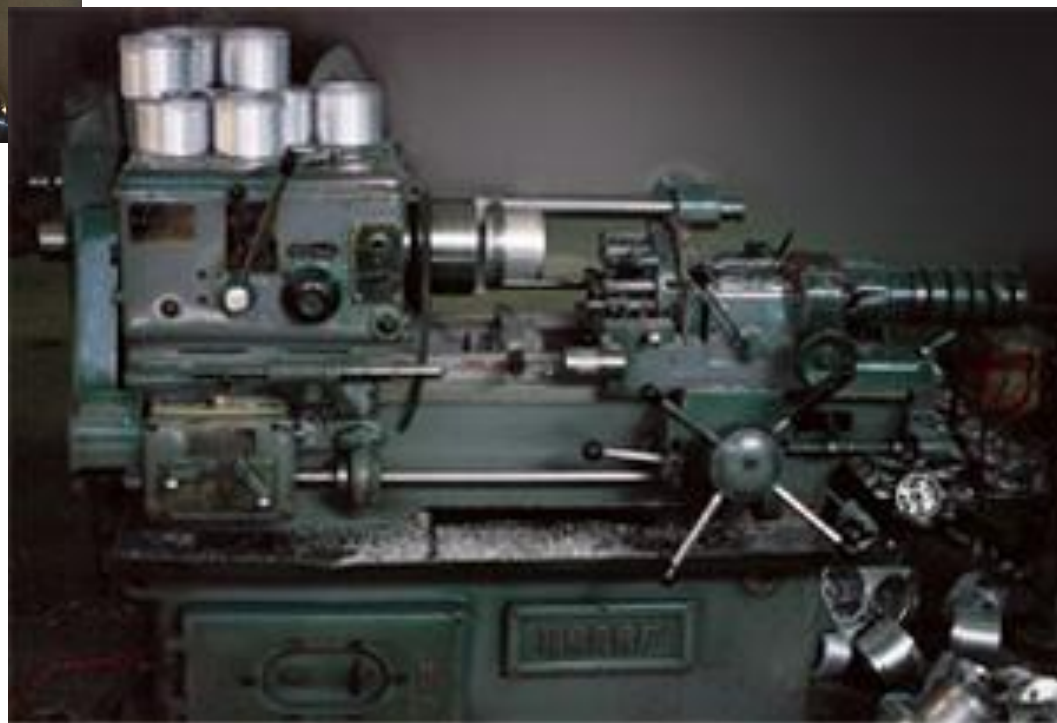


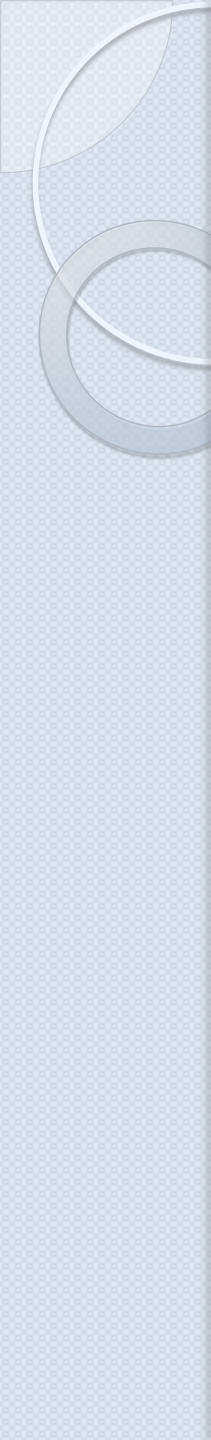


- K výrobě většího počtu rotačních součástí, u kterých výrobní postup umožňuje provedení více úkonů na jedno upnutí (tj. soustružení, vrtání, řezání atd.) používáme **revolverové soustruhy**.
- Tzv. revolverová hlava umožňuje upnutí více nástrojů. Podle polohy r. hlavy:
 - revolverový soustruh s vodorovnou osou r. hlavy;
 - revolverový soustruh se svislou osou r. hlavy;

- 1 – vodorovná (svislá)
- 2 – tělo hlavy,
- 3 – držáky s nástroji;

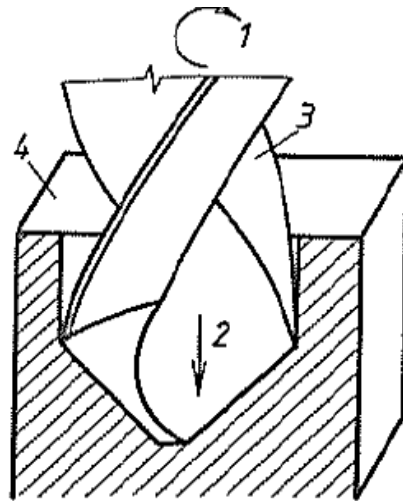




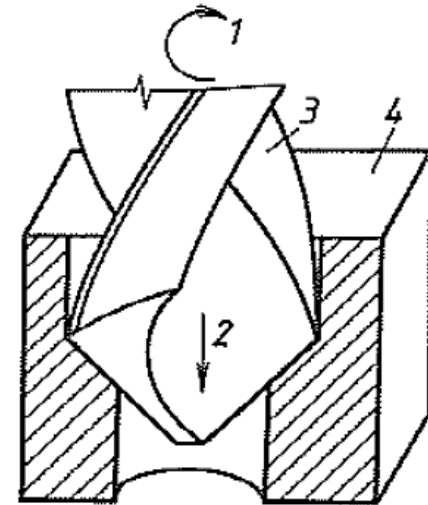
- 
- Pro velkosériovou a hromadnou výrobu – poloautomaty a automaty. Kromě těchto obráběcích strojů se používá ještě zvláštních obráběcích strojů (karusel, soustruh na klikové hřídele atd.).

Vrtání a vyvrtávání

- **Vrtání** – vyhotovování díry do plného materiálu.
- **Vyvrtávání** – rozšiřování již předvrtané, předlité nebo předkované díry.



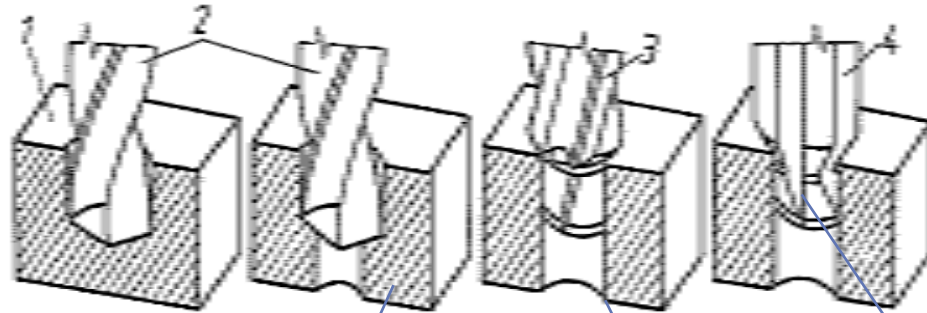
- 1 – hlavní (řezný) otáčivý pohyb,
2 – vedlejší pohyb (posuv),
3 – nástroj (šroubovitý vrták),
4 – obrobek.



- Měřítkem hlavního (řezného) pohybu je řezná rychlost. Posuv nástroje se udává v mm za jednu otáčku a odpovídá tloušťce třísky. Řezná rychlost nástroje je na jeho obvodě nejvyšší a směrem k ose klesá až k nule.
- Velikost vrtaček se určuje max. průměrem vrtáku, kterým lze na vrtačce vrtat do plné oceli. Řezný pohyb u vyvrtávaček koná nástroj – vyvrtávací nůž upnutý ve vyvrtávací tyči.
- Orýsované obrobky (označené středy děr) se zpravidla upínají do strojních svěráků, nebo upínkami a šrouby na stůl nebo základovou desku stroje (křížový stůl, doplněn otočným stolem – umožňuje obrábět obrobek při jednom upnutí ze čtyř stran). Při sériové a hromadné výrobě lze rychle a přesně vyvrtat díry bez předchozího orýsování tak, že obrobek upínáme do přípravků.
- Posuv koná buď nástroj vysouváním pinoly s vrtacím vřetenem nebo obrobek upnutý na pracovním stole.
- Obráběcím strojem je **vrtačka** nebo **vyvrtávačka** (např. vrtačky stolní, stojanové, sloupové, radiální, vyvrtávačky vodorovné – horizontálky aj.).

Pro obrábění nerotačních, velkých, obtížně přemístitelných obrobků, součástí s větším počtem rovnoběžných, ne sebe kolmých děr (průměr nad 40 mm).

Základními pracemi na vrtačkách je výroba neprůchozích a průchozích děr atd.



vrtání do plného materiálu

vyvrtávání do předvrtaného, předlitého materiálu

zahlubování pro šroub s válcovou hlavou

zahlubování pro šroub s kuželovou hlavou

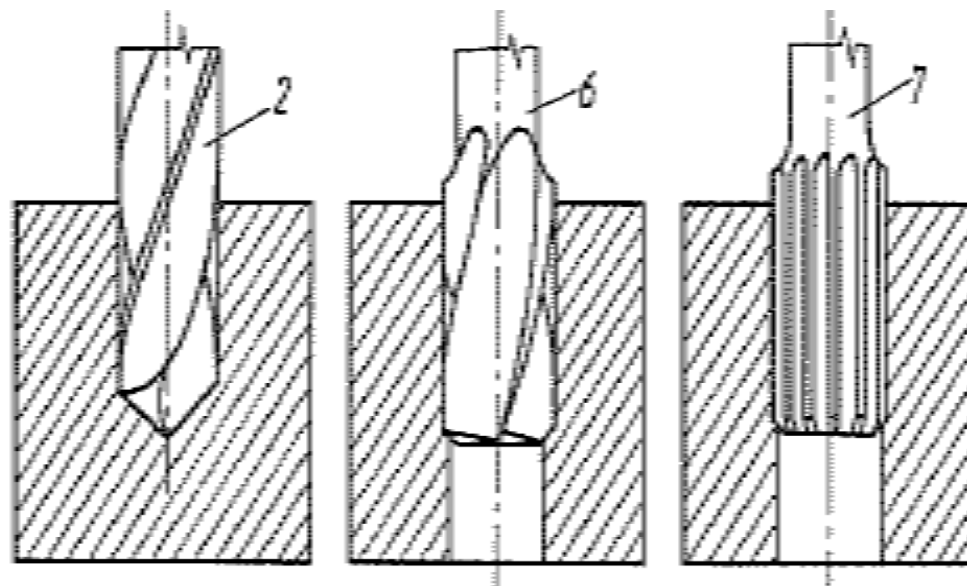
1 – obrobek,

2 – šroubovitý vrták,

3 – válcový záhlubník,

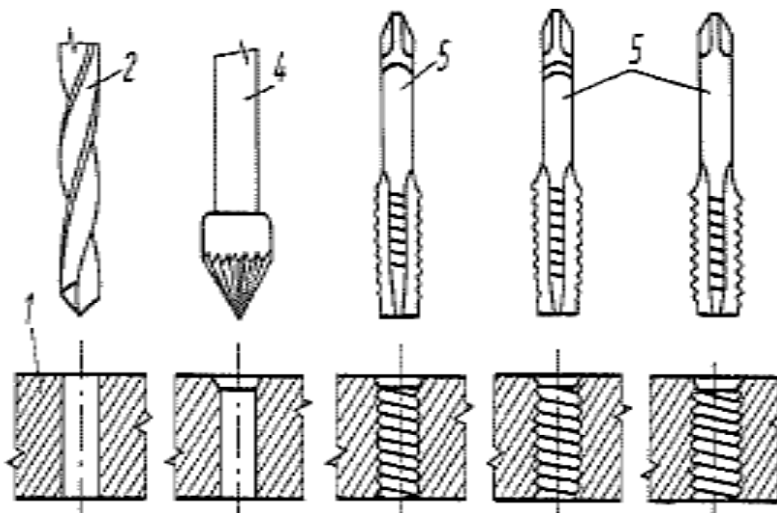
4 – kuželový záhlubník.

Postup výroby přesné válcové díry: vrtání, vyhrubování, vystružování.



- 2 – šroubovitý vrták,
- 6 – výhrubník,
- 7 – výstružník.

Postup při řezání vnitřního závitu: vrtání díry, zkosení, řezání závitu prvním, druhým a třetím závitníkem.



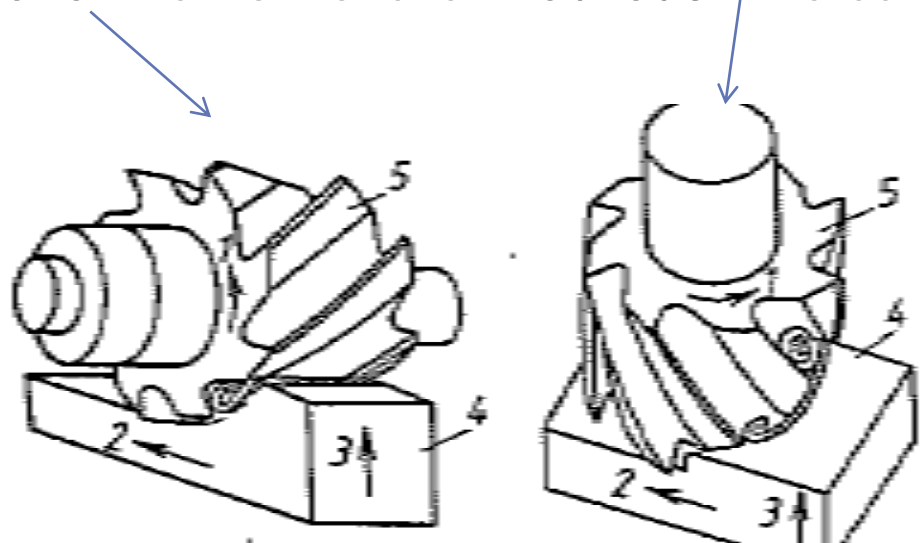
- 1 – obrobek,
- 2 – šroubovitý vrták,
- 4 – kuželový záhlubník,
- 5 – sadový závitník.



Frézování

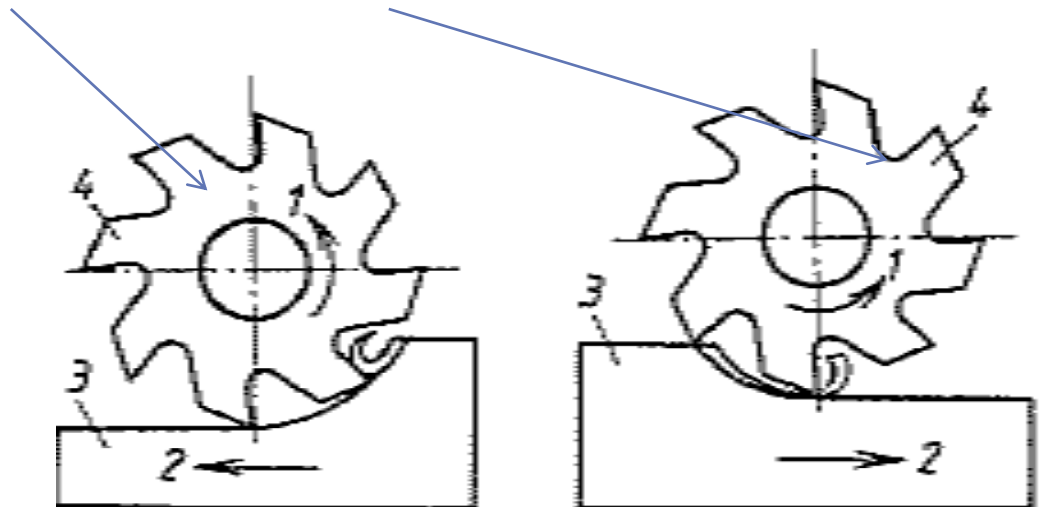
- Způsob obrábění různých tvarů – drážky, závity, ozubená kola atd., jak vnitřní, tak vnější.
- Řezný (hlavní) pohyb vykonává nástroj tzv. fréza, vedlejší pohyb (posuv) vykonává obrobek upnutý na stole frézky.
- Frézka je nástroj s mnoha břity (zuby), které jsou vytvořeny drážkami buď na jejich obvodě (válcová fréza), nebo na obvodě a čele (čelní fréza). Podle toho známe frézování obvodem válcové frézy a čelem čelní frézy.

- 1 – hlavní (řezný) pohyb,
- 2 – vedlejší pohyb (posuv),
- 3 – vedlejší pohyb (přísuv),
- 4 – obrobek,
- 5 – fréza.



- Frézování je proces přerušovaný, jednotlivé zuby frézy postupně vcházejí a vycházejí z materiálu a odebírají třísku proměnlivého průměru. Podle směru otáčení nástroje vůči směru posuvu známe frézování nesousledné a sousledné.

- 1 – řezný pohyb,
- 2 – posuv,
- 3 – obrobek,
- 4 – fréza.



- Obráběcím strojem je frézka, která podle tvaru a velikosti obrobku a druhu práce má různou konstrukci. Frézky vertikální a horizontální.
- Frézováním obrábíme hlavně rovinné a tvarové plochy – ozubená kola, závity. Složitě tvary frézujeme skládanými frézami tzv. soupravami fréz.



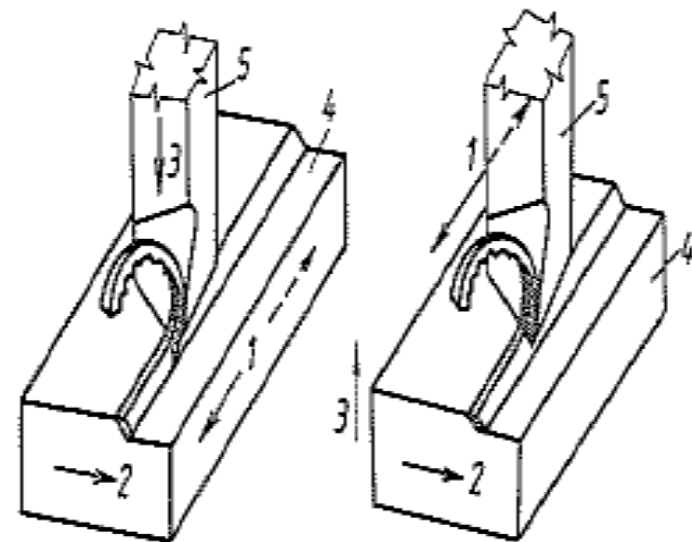
Hoblování a obrážení

- Těmito metodami se obrábějí rovinné nebo tvarové přímkové plochy. Nástrojem jsou hoblovací a obrážecí nože, podobné nožům soustružnickým.

- 1 – přímočarý (vratný) hlavní (řezný) pohyb,
- 2 – posuv (přerušovaný),
- 3 – přísuв,
- 4 – obrobek,
- 5 – nástroj (nůž).

hoblování

obrážení

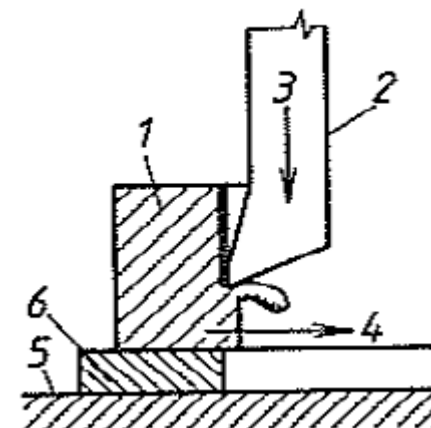


- **Hoblováním** se vyrábějí dlouhé, většinou úzké, plochy. **Hlavní (řezný) pohyb přímočarý vratný, koná jej obrobek a je rovnoměrný.** Posuv koná nástroj upnutý v nožovém držáku suportu (je to pohyb nástroje v úvrati vratného pohybu stolu na konci jeho zpětného pohybu) a je přerušovaný.
- **Obrážením** se vyrábějí krátké plochy, většinou širší. **Hlavní (řezný) pohyb je přímočarý vratný, koná ho nástroj upnutý ve smýkadle stroje a je nerovnoměrný.** Posuv koná obrobek upevněný na pracovním stole a je přerušovaný. Obrázení může být vodorovné nebo svislé.
- Stůl hoblovky (nebo smýkadlo obrážečky) koná tzv. dvojzdvih, který se skládá ze zdvihu do řezu (pracovního – obrábí) a ze zdvihu zpětného (naprázdno – neobrábí) – tím je snížena produktivita obrábění → zpětná rychlost bývá 1,5 až 4 krát větší než rychlost pracovní. U hoblování i obrázení přebíhá nástroj přes okraje obrobku na obě strany. Posuv se koná právě v okamžiku, kdy nástroj není v záběru s obrobkem. Hlavně v kusové a malosériové výrobě.
- Obráběcím strojem je hoblovací stroj (hoblovka) a obrážecí stroj (obrážčka). Charakteristickým rozměrem u hoblovek je šířka pracovního stolu, u obrážeček maximální zdvih smýkadla.

Hoblování drážek

3 – řezný pohyb,

6 – podložka.



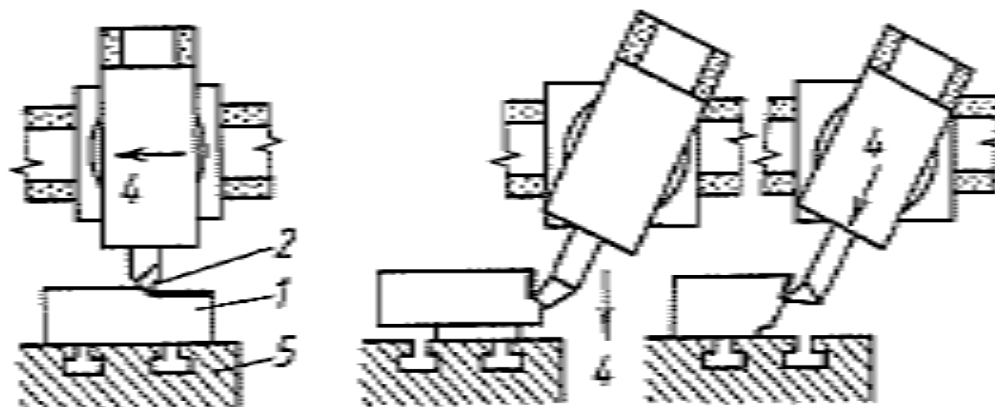
Hoblování ploch (vodorovné, svislé, šikmé)

1 – obrobek,


2 – nůž,

4 – posuv,

5 – pracovní stůl.

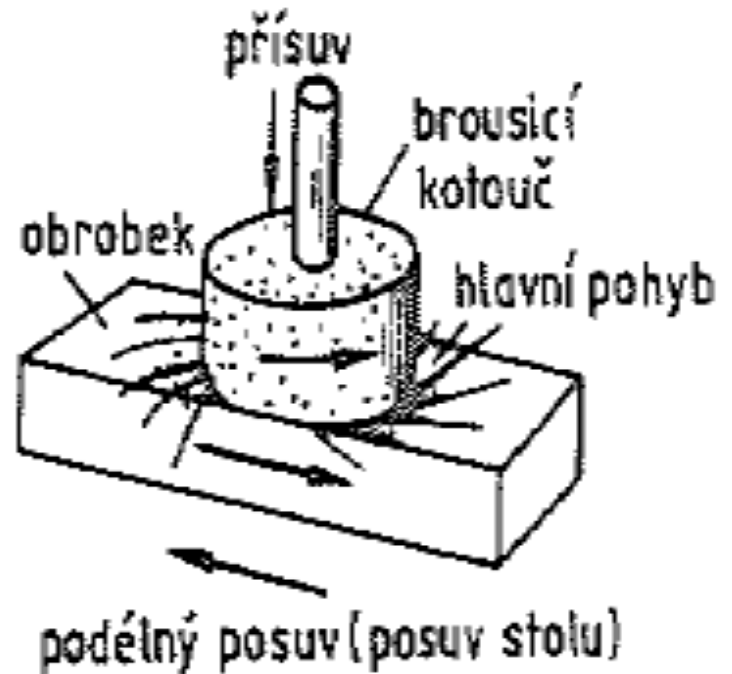


Obrábění pomocí nástrojů s nedefinovanou geometrií – broušení

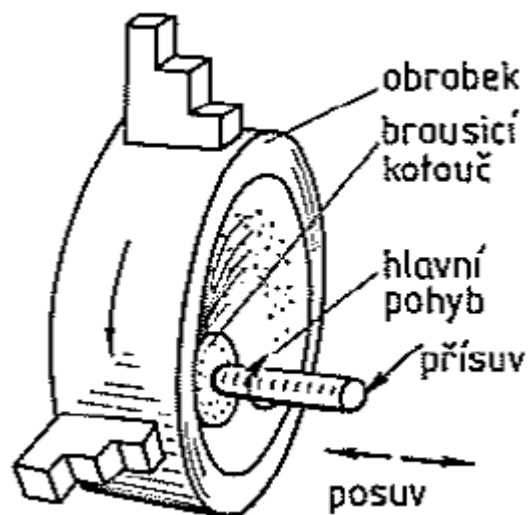
- Broušením se dokončují součásti, které byly vyrobeny některými předchozími způsoby obrábění. Součásti tak dostanou velmi přesné rozměry a hladký povrch. Broušení se též používá k ostření otupených nástrojů.
- Nástrojem je broušící kotouč, jehož brusná zrna jsou stmelena pojivem v pevný celek. Zrna mohou být přírodní (korund, smirek, diamant), ale nejčastěji umělá (umělý oxid hlinitý – umělý korund, karbid křemíku – karborundum, diamant). Broušící kotouče jsou normalizovány v rozmanitých tvarech.
- Hlavní (řezný) pohyb koná broušící kotouč, vedlejší obrobek, upevněný na brusce (mezi hroty, ve sklíčidle, pracovním stole atd.)
- Brusná (obvodová) rychlost broušícího kotouče se volí podle způsobu broušení a podle druhu pojiva 30 až 35 m/s (až 100 m/s). Rychlost obrobku se volí podle druhu broušeného materiálu 20 až 40 m/min. Broušením vzniká veliké teplo  chladicí kapalina při broušení (emulze, řezné oleje).

- Podle toho, za brousíme plochy rotační, rovinné nebo speciální, zda brousíme plochy vnější nebo vnitřní, rozeznáváme obráběcí brusky na brusky hrotové, na díry, bezhroté, rovinné; k ostření nástrojů používáme dovukotoučových brusek, univerzálních nástrojařských brusek a speciálních brusek pro určité druhy nástrojů (brusky na šroubovitě vrtáky, frézy atd.).

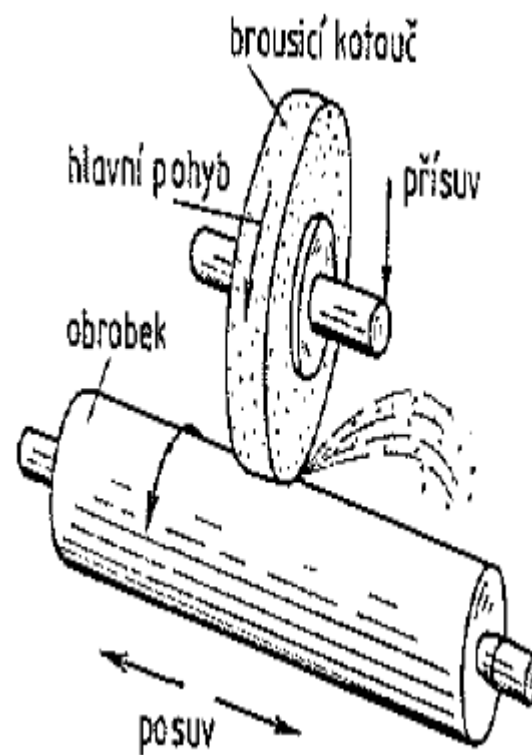
Princip rovinného broušení
čelem kotouče



Princip vnitřního broušení



Princip vnějšího broušení



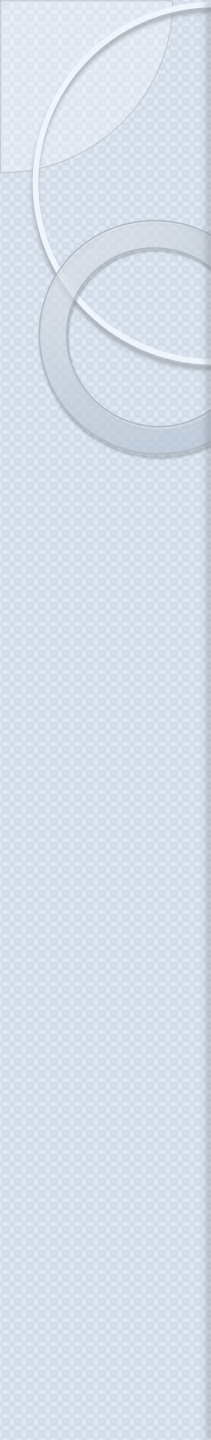
Dokončovací metody

- Konečné přesnosti rozměrů, tvarů a polohy (kruhovitost, rovinnost, kolmost atd.),
- Mikrogeometrie povrchu (různé parametry drsnosti a vlnitosti povrchu),
- Vlastnosti povrchové vrstvy – mechanických a fyzikálních (tvrdost, zpevnění, odolnost proti korozi a otěru, únavové vlastnosti, přestup tepla, třecí vlastnosti, odraz záření atd.),
- Konečnou kvalitu povrchové vrstvy (struktura, zbytkové pnutí, poruchy, vady atd.),
- Vzhled povrchu – morfologie (lesk, matný reliéf atd.).

➡ žádná z metoda nesplňuje tyto požadavky v plné míře, proto je nutno volit takovou kombinaci metod, která ovlivní povrchovou vrstvu s ohledem na předpokládanou funkci a provozní spolehlivost součásti;

➡ Odebírání přídavku na dokončovací operaci;

➡ Plastickou deformací (přetvářením materiálu povrchové vrstvy);

- 
- **Metody s úběrem materiálu** – hlazení, honování, superfinišování, lapování, leštění, tryskání, omílání;
 - **Metody bez úběru materiálu** - vyhlazování, válečkování, kalibrování, tryskání, vibrační zpevňování;

Nekonvenční 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.
- 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 plné automatizace;
 - Možnost zvýšení technologičnosti konstrukce, sériovosti výroby a snížení pracnosti výroby;
 - Současně s výrobou dochází někdy k cílené změně vlastností povrchové vrstvy (odolnost proti korozi, pevnosti, apod.)

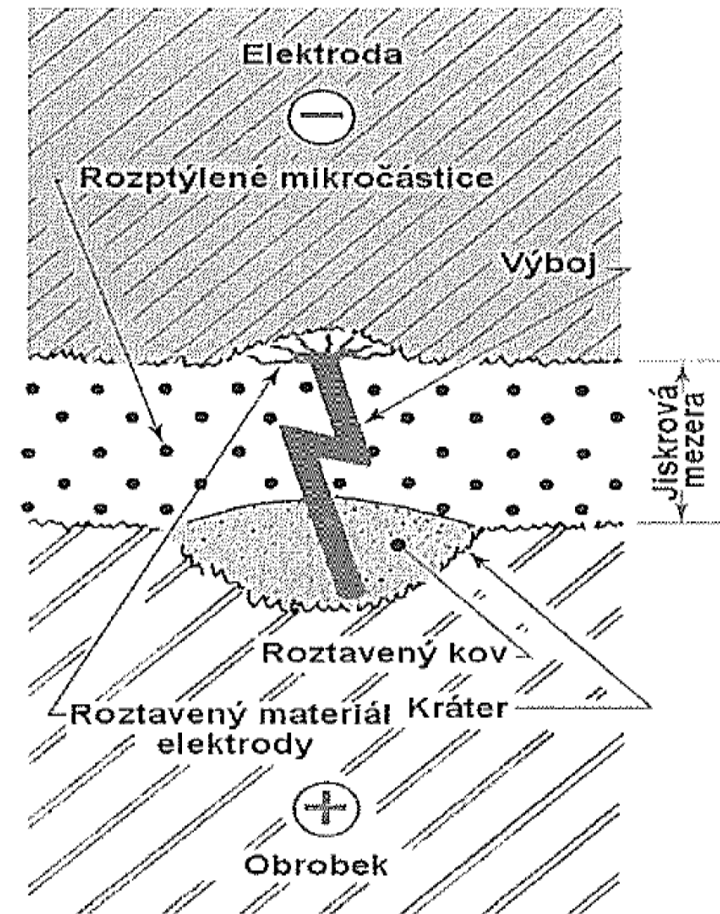
Dělení nekonvenčních metod podle převládajících účinků oddělování materiálu:

- Oddělování materiálu **tepelným účinkem** – elektroerozivní obrábění, obrábění paprskem plazmy, obrábění paprskem laseru, obrábění paprskem elektronů;
- Oddělování materiálu **elektrochemickým nebo chemickým účinkem** – elektrochemické obrábění, chemické obrábění;
- Oddělování materiálu **mechanickým účinkem** – ultrazvukové obrábění, obrábění paprskem vody;

Pro tyto technologie se používají CNC řízené stroje, které výrazně rozšiřují možnosti aplikace.

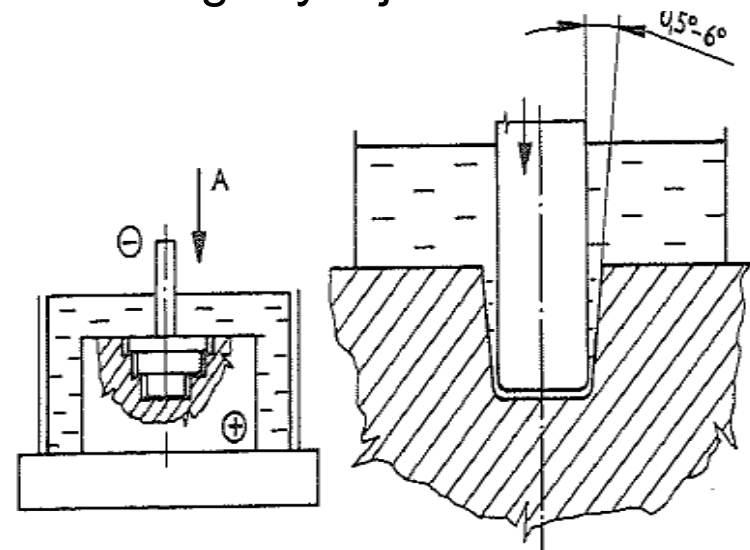
Elektroerozivní obrábění

- Úběr materiálu je vyvolán periodicky se opakujícími elektrickými výboji mezi nástrojem a obrobkem.
- Z obráběného materiálu jsou tavením a odpařováním oddělovány velmi malé částice ve tvaru dutých kuliček a jsou odplavovány dielektrickou kapalinou (petrolej, vodní sklo, solné roztoky, atd.).
- Obrábění je založeno na principu dvou elektrod (z vodivého materiálu), oddělených jiskrovou mezerou (0,01 – 0,5 mm) a ponořených v dielektrické kapalině. Celkový proces se skládá ze střídavých výbojů rozložených po celé aktivní ploše nástroje.



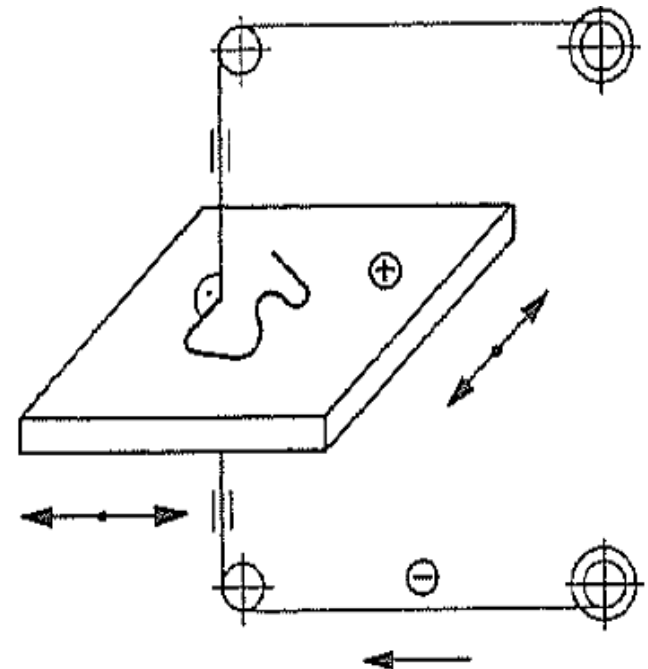
Elektrojiskrové hloubení

- Tvar nástroje je negativem obráběné plochy. Je vyrobený z materiálu odolného vůči erozi např. měď, mosaz, grafit atd. Nástrojová katoda vykonává vertikální pohyb a současně vibruje. Připojením obou elektrod na zdroj nastává mezi nimi elektrický výboj ve formě jisker. Jejich tepelnou a tlakovou energií se materiál obrobku v místě napadení zahřívá na tavicí teplotu a je „vystřelen“ do mezielektrodového prostoru. Každá jiskra zanechává na obráběném povrchu „kráter“, jehož šířka i hloubka je závislá na energii výboje.



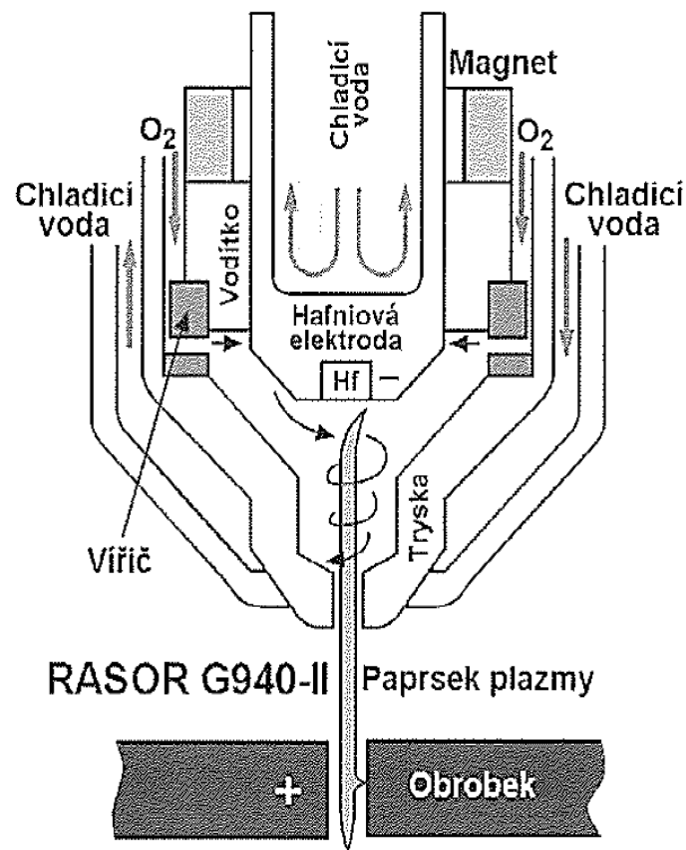
Elektrojiskrové řezání

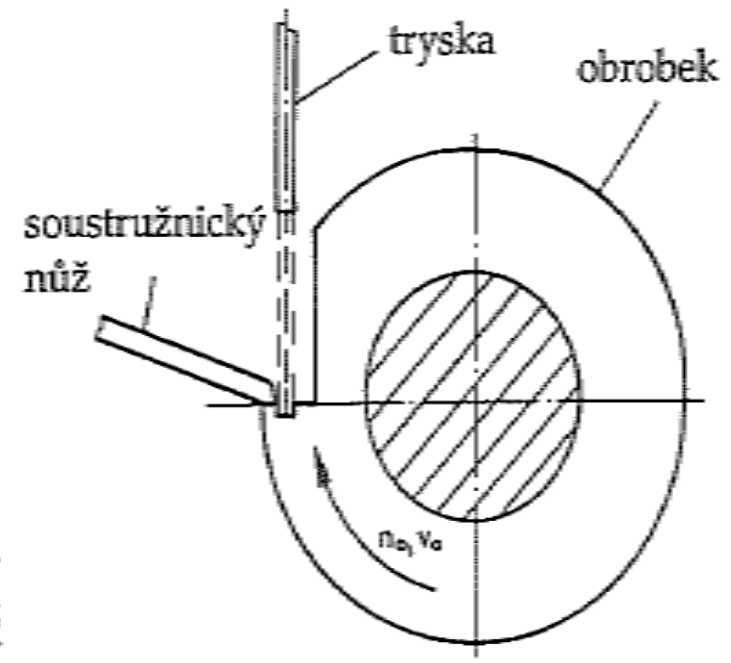
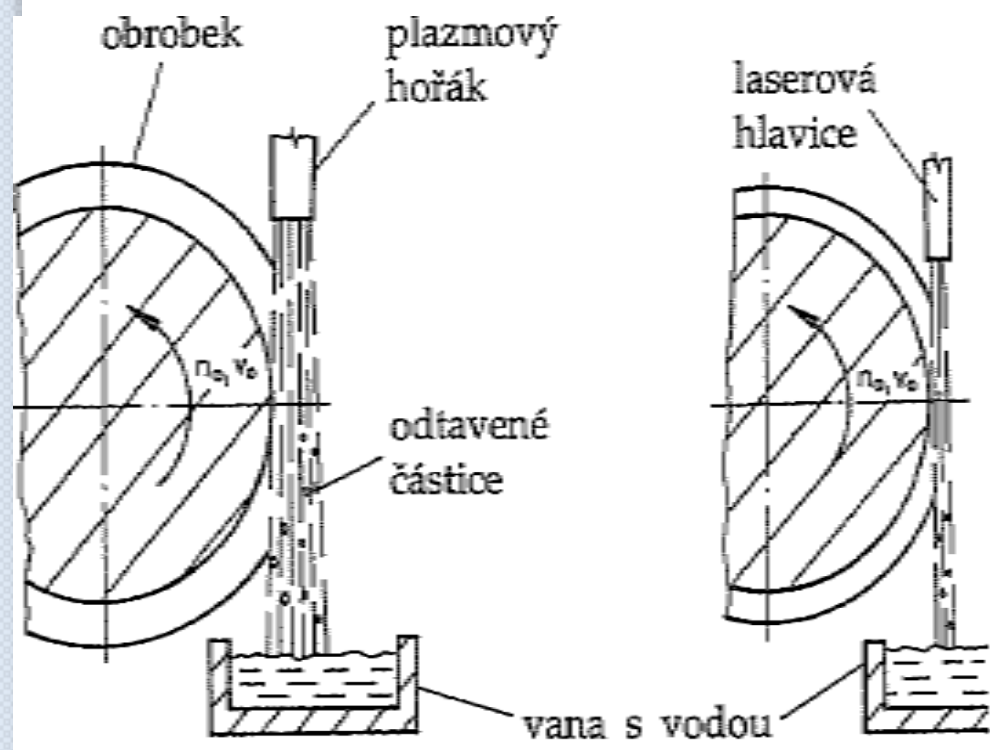
- Vyřezávání profilu střížnic, střížníků, různých trysek atd. pomocí drátkové metody s minimální šířkou řezu drátkovou vyřezávačkou.
- Drát tvoří katodu – nástroj se odvíjí z jedné cívky na druhou a prochází pomocí vodícího ústrojí místem řezu v obrobku – anodě. Obrobek, vykonávající posuv kolmo na drátek, se může pohybovat v obou osách v kladném i záporném smyslu.
přesnost vřezávání $\pm 0,01$ mm
při dosažené drsnosti $R_a = 0,8 \mu\text{m}$.



Obrábění paprskem plazmy

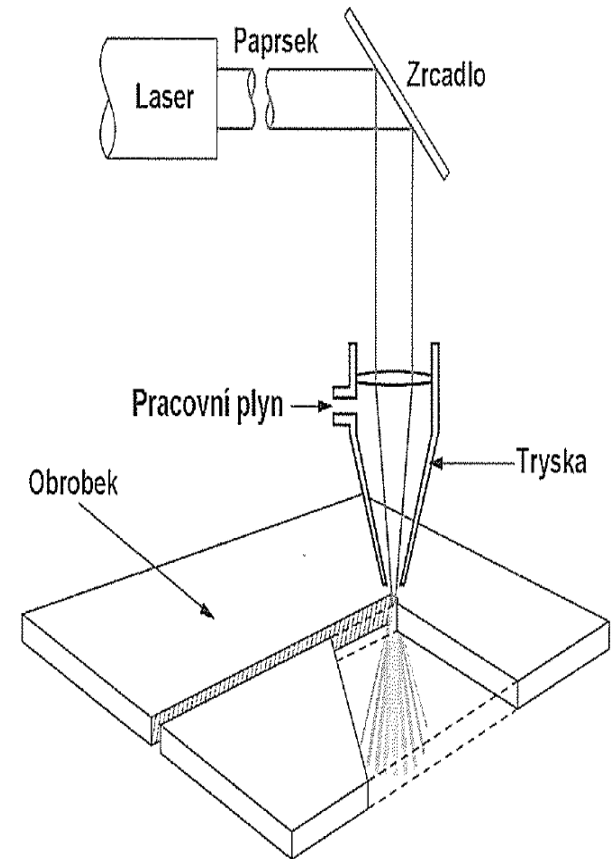
- Materiál je odtavován, odpařován a rozprašován paprskem plazmy, která vystupuje z hořáku vysokou rychlostí. Plazma je vodivý stav plynu, který obsahuje směs volných elektronů a má vysokou teplotu (až 30 000 °C).
- Proces obrábění je tak intenzivní, že se částice obráběného materiálu odtavují velmi rychle a tepelně ovlivněná vrstva nepřesáhne 1 mm.



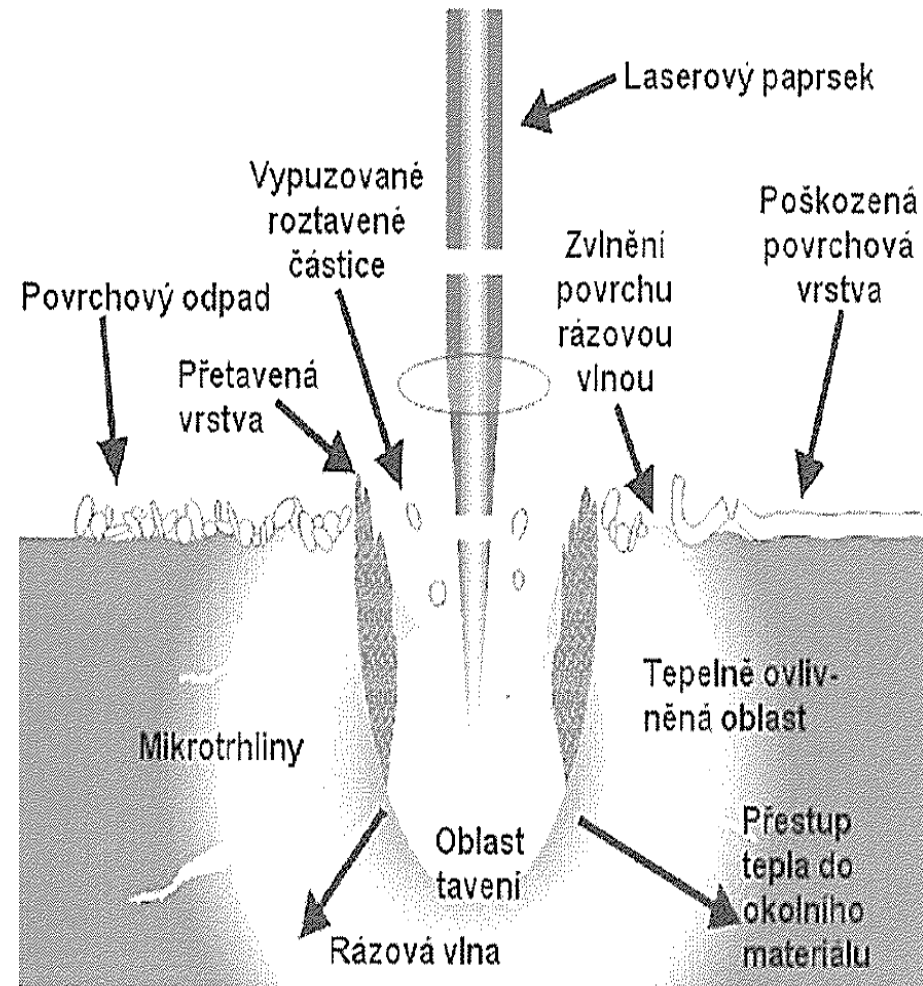


Obrábění laserem

- Laserové světlo vzniká v prostředí elektromagnetického záření potlačením spontánní emise na úkor emise stimulované. Laserový paprsek lze využít: úběr materiálu (řezání, obrábění, popisování, rytí atd.), pájení a svařování, tepelné zpracování (kalení, žíhání, povlakování atd.), nové procesy (barvení, dělení skla a keramiky, tažení atd.).

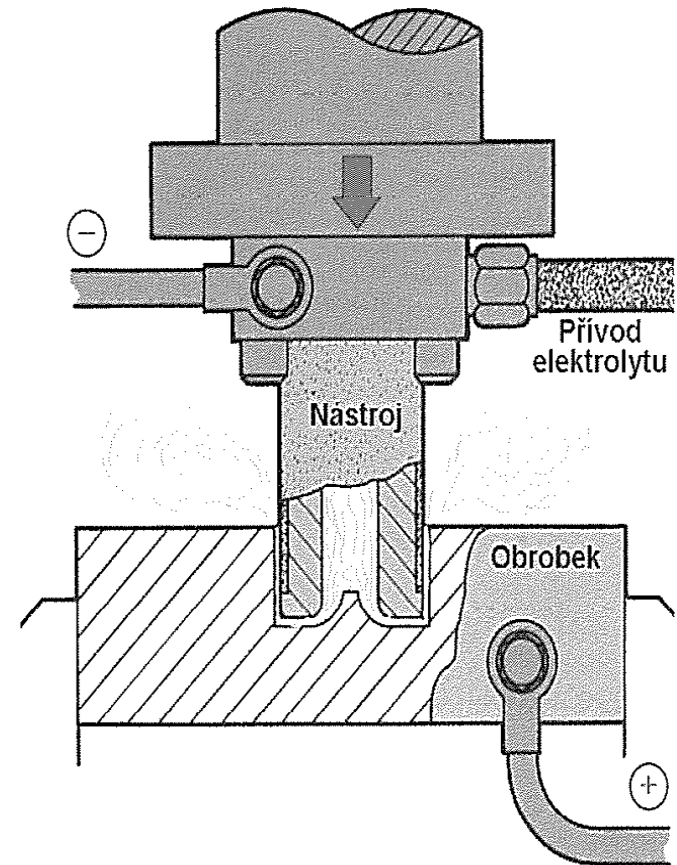


- K úběru materiálu dochází účinkem úzkého paprsku silného monochromatického světla na velmi malou plošku.
- Dochází k místnímu ohřevu na vysokou teplotu 10^4 °C, která způsobí jeho roztavení. Mohou se obrábět různé materiály od dřeva, přes plasty až po těžkoobrobitelné materiály.
- Výhodou je vysoká přesnost a úzké řezy.



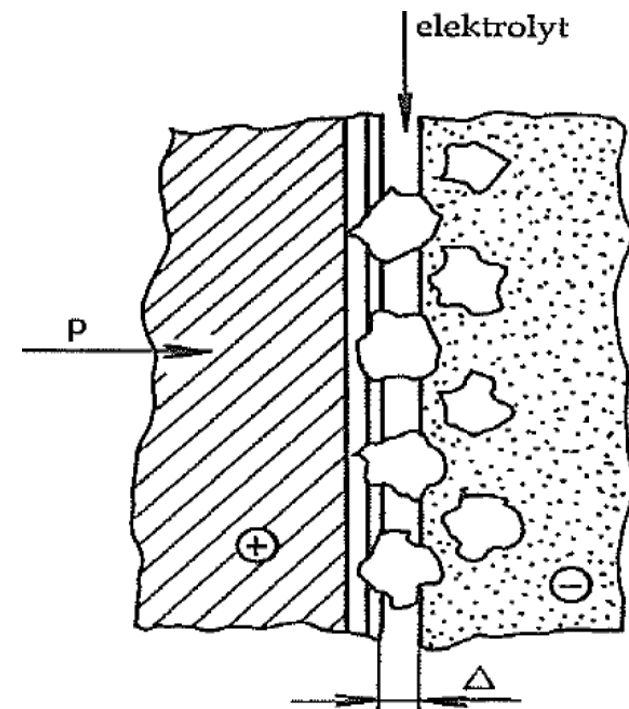
Elektrochemické obrábění

- Oddělování materiálu prostřednictvím anodického rozpouštění v elektrolytu, který proudí mezerou mezi elektrodami (anoda – obrobek, katoda – nástroj).
- Vyrábí se tvarově složité součásti (zápustky, lisovací formy atd.) a obrábí se materiály s vysokou tvrdostí a pevností, ale také málo tuhé součásti.
- Metodou lze frézovat, vrtat, řezat a brousit. Nástroj má tvar negativu vyráběné součásti a jsou vyráběny z mosazi, bronzů, titanů, slinutých karbidů atd.
- Způsoby obrábění: v proudícím elektrolytu, rotující elektrodou, leštění, odstraňování ostřin.



- **Elektrochemické broušení diamantovým kotoučem** – je kombinací anodického rozpouštění a mechanického broušení. Pracovní katodou je elektrický vodivý rotující brusný kotouč s velkou odolností proti opotřebení, do jehož povrchu je zaválcovaný diamantový bort.

Anodou je převážně ostřený nástroj, Destičkou ze slinutých karbidů a přitlačovaný tlakem na čelo DIA brusného kotouče. Mezi obě elektrody přivádíme elektrolyt. Anodické rozpouštění probíhá jen na místech, kde se poruší anodický film na obrobku brusnými zrny.



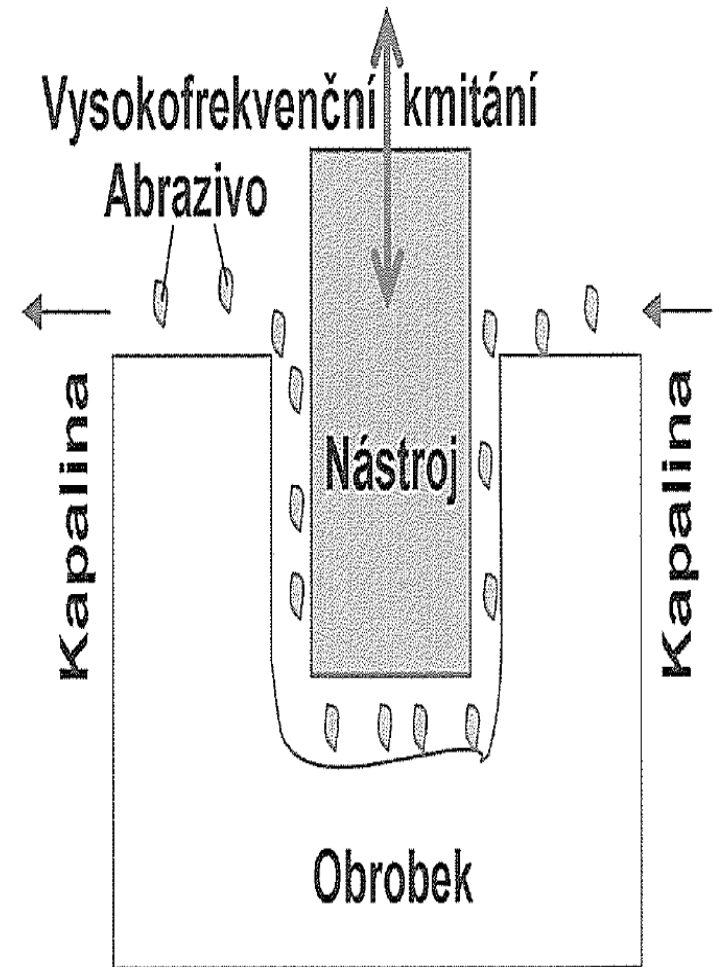
Chemické obrábění

- Jedná se o řízené odleptávání vrstev materiálu o tloušťce od několika setin mm do několika mm z povrchu obrobku.
- Je založené na chemické reakci obráběného povrchu s pracovním prostředím. Místa, která nemají být obráběna jsou chráněna speciálním povlakem.
- Metody **chemické prostřihování** (umožňuje zhotovovat tenké a složité výlisky z tenkého plechu nebo fólie bez otřepů), **chemické rozměrové leptání** (je označováno jako chemické frézování, tvar se na obrobek přenáší pomocí šablon).



Obrábění ultrazvukem

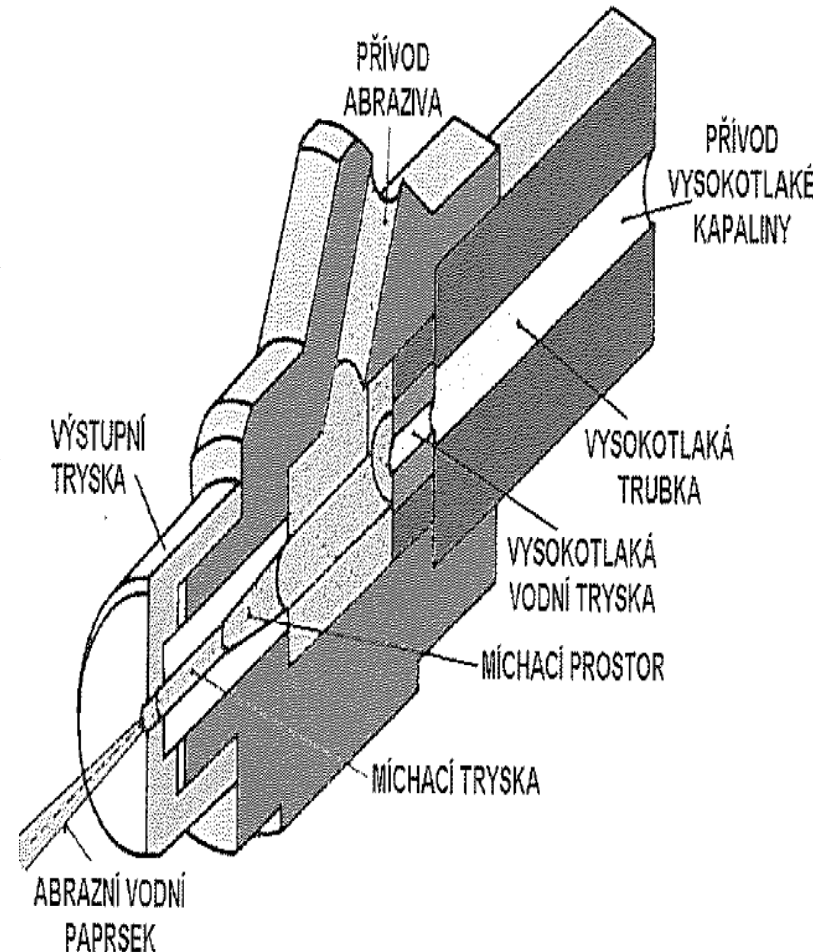
- Společný účinek abrazivních zrn, které se nacházejí mezi obrobkem a nástrojem, kmitajícím s ultrazvukovou frekvencí (20-30 kHz) a chemického a kavitačního účinku kapaliny.
- Obrábí se tvrdé materiály (nad 40 HRC) a křehké materiály jako sklo, křemík, keramika atd., (především elektricky nevodivé materiály).
- Používá se při obrábění vrtáním průchozích nebo neprůchozích děr malých průměrů, dutin k řezání tenkých destiček, pro hloubící práce.
- Nevýhodou je, že abrazivní účinek zrn působí nejen na obrobek, ale i na nástroj.



- Podstata metody – řízené rozrušování materiálu účinkem úderů abrazivních zrn (elektrokorund, karbid boru, karbid křemíku), která jsou přiváděna v kapalině (voda, petrolej atd.) mezi kmitající nástroj a obrobek.
- Úběr materiálu je společným důsledkem mechanického účinku abraziva a kavitačního účinku. Velká kinetická energie zrn abraziva způsobuje narušování celistvosti obráběného povrchu, kavitační účinky umožňují rychlou výměnu opotřebovaných zrn za nové. Kapalně prostředí umožňuje lepší pronikání ultrazvukové energie do místa obrábění.
- Rozměrová přesnost při obrábění tvrdých a křehkých materiálů je 0,02 až 0,1 mm. Při obrábění jemným brusivem je možné dosáhnout $R_a = 0,4$ až $1,6 \mu\text{m}$. Drsnost povrchu je nejvíce ovlivněna velikostí abrazivních zrn, velikostí amplitudy a vlastnosti obráběného materiálu.

Obrábění vodním paprskem

Využívá k oddělování materiálu kinetickou energii vysokotlakého a vysokorychlostního vodního proudění (rychlost $600 - 900 \text{ m.s}^{-1}$), kombinovanou s kinetickou energií abrazivních částic. K úběru materiálu dochází erozivním procesem v důsledku působení řezného média (částic) usměrněného do úzkého paprsku, který prochází přes trysku do obrobku.







R_a - drsnost povrchu

- Pálení plamenem - 25 až 50 μm
- Řezání pilou - 12,5 až 50 μm
- Frézování - 1,6 až 50 μm
- Soustružení - 1,6 až 25 μm
- Broušení - 0,2 až 12,5 μm
- Leštění - 0,025 až 0,1 μm
- Lapování - 0,012 až 0,2 μm

Konkrétní hodnoty jsou velmi závislé na volbě řezné rychlosti posuvu, stavu nástroje a podobně.

Drsnost je souhrn nerovností povrchu s relativně malou vzdáleností, které nevyhnutelně vznikají při výrobě nebo jejím vlivem. Do drsnosti se nepočítají vady povrchu, tj. náhodné nepravidelné nerovnosti, které se vyskytují jen ojediněle (rysky, trhlinky, důlky apod.) a které vznikají vadami materiálu, poškozením aj.

HRC – tvrdost podle Rockwella

- se zjišťuje na Rockwellově tvrdoměru jako rozdíl hloubky vtisku vnikacího tělesa (ocelová kulička, diamantový kužel) mezi dvěma stupni zatížení (předběžného a celkového). Účelem předběžného zatížení je vyloučit z měřené hloubky nepřesnosti povrchových ploch. Kužel má vrcholový úhel 120° a poloměr kulové části 0,2 mm (HRA, HRC). Kulička má průměr 1,5875 mm (HRB).
- **HRB** Tvrdost určená ocelovou kuličkou (B = ball) při celkovém zatížení 1000 N. Pro měkčí kovy (25 - 100 HRB).
- **HRC** Tvrdost určená diamantovým kuželem (C = cone) při celkovém zatížení 1500 N. Doporučuje se používat pro rozsah HRC = 20 - 67.

Doporučená literatura:

- NĚMEC, M., SUCHÁNEK, J., ŠANOVEC, J., *Základy technologie I*, 2. přepracované vydání, Vydavatelství ČVUT Praha 2011. 159 s. ISBN 978-80-01-04867-2.
- KOUKAL, J., ZMYDLENÝ, T., *Svařování I*, 1. vydání, VŠB TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA 2009. 136 s. ISBN 978-80-248-0870-3.
- KARAFIÁTOVÁ, S., LANGER, I., *Nekonvenční technologie*, 1. vydání, FRAGMENT, Havlíčkův Brod 1998. 164 s. ISBN 80-7200-296-1.
- Fischer, U. a kol. *Základy strojnictví*. Praha:Europa-Sobotáles cz, 2004. 296 s. ISBN 80-86706-09-5.