

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

**VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ – TECHNICKÁ UNIVERZITA  
OSTRAVA**

**FAKULTA STROJNÍ**



# **TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ V PŘÍKLADECH**

---

doc. Ing. Robert ČEP, Ph.D.

Ing. et Ing. Mgr. Jana PETRŮ, Ph.D.

**Ostrava 2013**



Název: TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ V PŘÍKLADECH  
Autor: doc. Ing. Robert ČEP, Ph.D., Ing. et Ing. Mgr. Jana PETRŮ, Ph.D.  
Vydání: první, 2013  
Počet stran: 113  
Náklad: 5

Jazyková korektura: nebyla provedena.



**Tyto studijní materiály vznikly za finanční podpory Evropského sociálního fondu a rozpočtu České republiky v rámci řešení projektu Operačního programu Vzdělávání pro konkurenceschopnost.**



*Název:* Modernizace výukových materiálů a didaktických metod

*Číslo:* CZ.1.07/2.2.00/15.0463

*Realizace:* Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

© doc. Ing. Robert ČEP, Ph.D., Ing. et Ing. Mgr. Jana PETRŮ, Ph.D.

© Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

ISBN 978-80-248-3014-8



MODERNIZACE VÝUKOVÝCH MATERIÁLŮ A DIDAKTICKÝCH METOD  
CZ.1.07/2.2.00/15.0463

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

**VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA  
FAKULTA STROJNÍ**



# TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ V PŘÍKLADECH

---

## 1 Materiály řezných nástrojů

doc. Ing. Robert ČEP, Ph.D.  
Ing. et Ing. Mgr. Jana PETRŮ, Ph.D.

Ostrava 2013

© doc. Ing. Robert ČEP, Ph.D., Ing. et Ing. Mgr. Jana PETRŮ, Ph.D.

© Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

ISBN 978-80-248-3014-8



Tento studijní materiál vznikl za finanční podpory Evropského sociálního fondu (ESF) a rozpočtu České republiky v rámci řešení projektu: CZ.1.07/2.2.00/15.0463, MODERNIZACE VÝUKOVÝCH MATERIÁLŮ A DIDAKTICKÝCH METOD

## OBSAH

<b>1</b>	<b>MATERIÁLY ŘEZNÝCH NÁSTROJŮ .....</b>	<b>4</b>
1.1	Materiály řezných nástrojů n Materiály řezných nástrojů .....	5
1.2	Rozdělení řezných materiálů dle ISO .....	6
1.3	Nástrojové oceli .....	7
1.3.1	Uhlíkové nástrojové oceli .....	7
1.3.2	Slitinové oceli .....	8
1.3.3	Rychlořezné oceli .....	8
1.3.4	Rychlořezné oceli vyrobené práškovou metalurgií .....	8
1.3.5	Povlakované rychlořezné oceli .....	8
1.4	Slinuté karbidy .....	9
1.4.1	Metody povlakování SK .....	9
1.4.2	Metoda PVD .....	10
1.4.3	Metoda CVD .....	10
1.4.4	Metoda MTCVD .....	11
1.5	Řezná keramika .....	12
1.5.1	Technické použití keramických materiálů .....	12
1.5.2	Historický vývoj .....	13
1.5.3	Rozdělení a značení ŘK .....	14
1.5.4	Výroba řezné keramiky .....	15
1.5.5	Obecný postup výroby keramických materiálů: .....	15
1.5.6	Povlakování řezné keramiky .....	16
1.5.7	Použití v oblasti obrábění .....	16
1.6	Cermety .....	17
1.6.1	Historický vývoj .....	18
1.6.2	Vlastnosti cermetů .....	18
1.6.3	Vliv jednotlivých přísad na vlastnosti cermetů .....	18
1.6.4	Povlakování cermetů .....	19
1.6.5	Zásady pro použití cermetů .....	19
1.7	Syntetické velmi tvrdé materiály .....	19
1.7.1	Kubický nitrid boru .....	19
1.7.2	Diamant .....	20
<b>2</b>	<b>KONTROLNÍ OTÁZKY .....</b>	<b>21</b>



3	<b>PŘEDNÁŠKOVÝ TEXT SE VZTAHUJE K TĚMTO OTÁZKÁM. ....</b>	<b>22</b>
4	<b>POUŽITÁ LITERATURA .....</b>	<b>23</b>



# 1 MATERIÁLY ŘEZNÝCH NÁSTROJŮ



## OBSAH KAPITOLY:

Požadavky na řezné materiály

Nástrojové oceli

Slinuté karbidy

Řezná keramika a cermety

Kubický nitrid boru a diamant

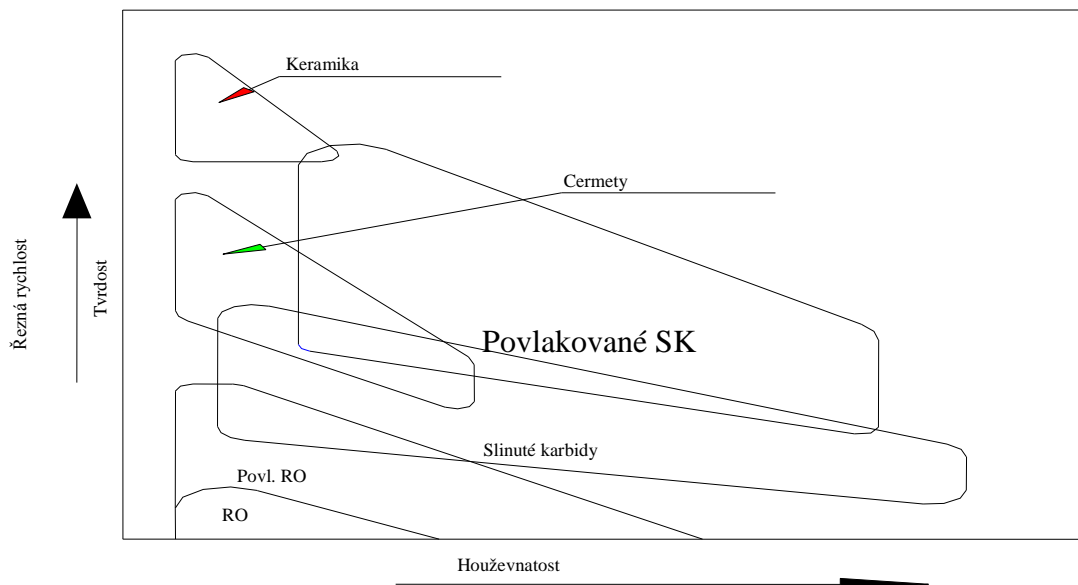


## MOTIVACE:

Řezné materiály (materiál břitu) rozhodujícím způsobem ovlivňují produktivitu, výrobní náklady a kvalitu výroby. Jejich význam je charakterizován náročnými požadavky, ve kterých břit nástroje pracuje. Při obrábění bývají vystaveny intenzivnímu mechanickému a tepelnému namáhání. To vede k otupování břitu, případně i k celkové destrukci. Řezný materiál musí mít proto větší tvrdost než materiál obráběný, aby mohl řezný klín vniknout do obráběného materiálu a odřezávat třísku.



## 1.1 MATERIÁLY ŘEZNÝCH NÁSTROJŮ



Obr. 10.1 Oblasti aplikace nejpoužívanějších materiálů pro řezné nástroje

Požadavky kladené na řezné materiály:

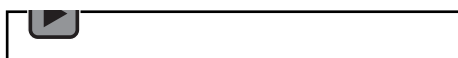
- pevnost a tvrdost v tlaku;
- houževnatost a pevnost v ohybu;
- pevnost za tepla a odolnost proti teplotním rázům;
- odolnost proti otěru (adheze, difuze, nárůstky...);
- chemická stálost a chemicky neutrální chování vůči obráběným materiálům;
- odolnost proti vzniku trhlin a pevnost vazby vnitřních fází;
- vysoká řezivost.

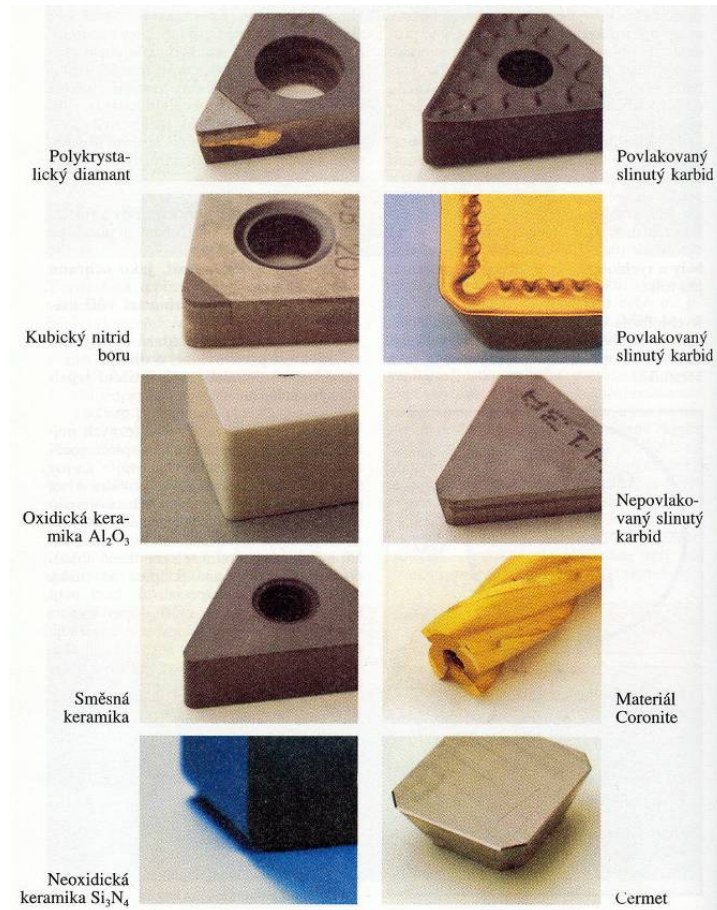
Pro nástroje s definovanou geometrií břitu se zpravidla používá následující rozdělení materiálů obráběcích nástrojů:

- kovové nástroje (vyrobené klasickým tavením);
- nástrojové oceli (NO);
- spékané tvrdokovy (vyrobené práškovou metalurgií);
- slinuté karbidy (SK);
- cermety;
- keramické materiály (nekovové lisované prášky);
- řezná keramika (ŘK);
- syntetické velmi tvrdé materiály;
  - kubický nitrid boru (KBN);
  - diamant (PKD).



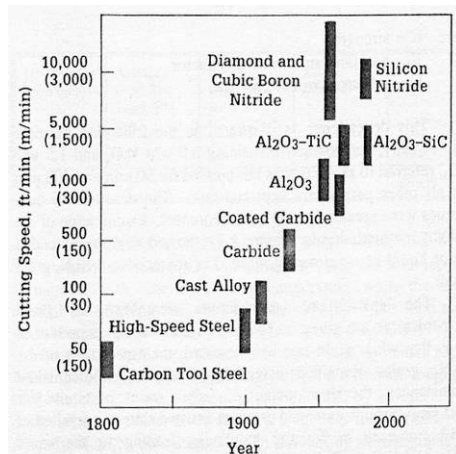
Audio 1.1 Požadavky na řezné materiály





Obr. 10.2 Přehled výkonných řezných materiálů

oceli  
ocel  
SK



Obr. 10.3 Změna produktivity řezných materiálů v čase

Cutting speed – řezná rychlost

Year – rok

Carbon Tool Steel – uhlíková

High-speed steel – rychlořezná

Cast Alloy – slitinová ocel

Carbide – slinutý karbid

Coated Carbide – povlakovaný

Silicon Nitride – Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>

Diamond – diamant

Cubic Boron Nitride – KBN

## 1.2 ROZDĚLENÍ ŘEZNÝCH MATERIÁLŮ DLE ISO

Podle normy ISO 513 : 2002 se obráběcí materiály dělí do 6 hlavních aplikačních skupin a každá se dále dělí na aplikační skupiny. Hlavní aplikační skupiny se dělí podle materiálů, který se jimi obrábí. Identifikačními znaky jsou písmena a barva. Každá aplikační skupina je určena písmenem hlavní skupiny a klasifikačním číslem. Výrobci řezných materiálů bylo uspořádáno pořadí v aplikačních skupinách podle relativního opotřebení a pevnosti. Čím je číslo nižší, tím je možné obrábět vyšší rychlostí a má vyšší oteruvzdornost. A naopak čím je číslo vyšší, tím rostou rychlosti posuvu a pevnost řezných materiálů.

Rozdělení aplikačních skupin dle ISO 513 : 2002:





- P (modrá barva značení);
- M (žlutá barva značení);
- K (červená barva značení);
- N (zelená barva značení);
- S (hnědá barva značení);
- H (šedá barva označení).

**Skupina P** – je určena pro obrábění materiálů tvořící dlouhou třísku, jako uhlíkové oceli, slitinové oceli a feritické nerezavějící oceli. Řezný proces je doprovázen velkými řeznými silami a značným opotřebením na čele nástroje. Přísada TiC zaručuje vysokou odolnost proti difuzi za vysokých teplot a je jednou z hlavních příčin výmolů na čele nástroje.

**Skupina M** – má universální použití a je určena pro obrábění materiálů, které tvoří střední a delší třísku jako jsou lité oceli, nerezavějící austenitické a austeniticko – feritické oceli a tvárné litiny. Pro svoji relativně vysokou houževnatost se SK této skupiny používají pro těžké hrubovací práce a pro přerušované řezy. Síly řezání dosahují středních až vysokých hodnot a dochází k vydrolování ostří.

**Skupina K** – je určena pro obrábění materiálů, které vytváří krátkou drobivou třísku, zejména litiny, temperovaná litina a litina s globulárním grafitem. Síly řezání jsou obvykle relativně nízké a převládá abrazivní a adhezní opotřebení. SK této skupiny nejsou vhodné pro materiály tvořící dlouhou třísku, která zatěžuje tepelně čelo nástroje.

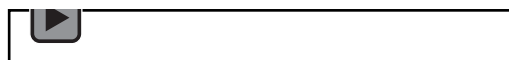
**Skupina N** – je určena k obrábění materiálů z neželezných kovů, zejména hliníku a dalších neželezných kovů, jejich slitin a nekovových materiálů.

**Skupina S** – používá se na obrábění tepelně odolných slitin na bázi železa, niklu a kobaltu, titanu a titanových těžce obrobitelných slitin.

**Skupina H** – je vhodná na obrábění kalených a vysoce tvrdých ocelí, tvrzených a kalených litin. Dalším velmi důležitým kritériem odolnosti materiálu vůči opotřebení je jeho tepelná odolnost.



#### Audio 1.2 Rozdělení řezných materiálů



## 1.3 NÁSTROJOVÉ OCELI

Tento druh řezného materiálu můžeme zařadit mezi ušlechtilé oceli. Zhotovují se z nich především nástroje na obrábění, řezání, stříhání, tváření za tepla i za studena, měřidla apod. Podle chemického složení je lze dále dělit na:

- uhlíkové oceli;
- slitinové oceli;
- rychlořezné oceli.

### 1.3.1 Uhlíkové nástrojové oceli

Obsahují asi 1,25 % C a menší množství Mn. Tvrdost a odolnost proti otupení (otěru) zajišťuje jejich martenzitická struktura. Se stoupajícím obsahem uhlíku roste tvrdost a tím i odolnost proti otupení, ale současně klesá jejich houževnatost. Tyto oceli jsou citlivé na tepelné zpracování a na druh použití, zejména při vyšších teplotách, kdy nástroje z uhlíkových ocelí ztrácí tvrdost. Jejich maximální teplotní odolnost je okolo 250°C.



Vyrábí se z nich málo namáhané nástroje jako např. ruční nástroje a nářadí (pilníky, škrabáky, nože, sekáče, sekery, kladiva...), nože strojních nůžek a kamenické nářadí.

### 1.3.2 Slitinové oceli

Tyto oceli obsahují méně než 1,25 % uhlíku a jsou legovány především manganem, chromem, molybdenem, niklem a wolframem. Jsou více odolné proti otupení a mají vyšší tvrdost a pevnost za tepla. Mají dobrou prokalitelnost, která je vhodná pro tvarově náročné nástroje.

Vyrábí se z nich nástroje s vyšším namáháním. Nejsou však vhodné pro výkonné řezání a obrábění těžkoobrobitelných materiálů. Hlavními oblastmi použití jsou tvářecí nástroje, zápustky, formy na plasty a jednoduché řezné nástroje (výhrubníky, výstružníky, protahovávky, závitníky, pilové listy, dřevoobráběcí nástroje...). Odolávají teplotám do 350 °C.

### 1.3.3 Rychlořezné oceli

Jsou vysokolegovány legujícími prvky, mezi které patří zejména wolfram, jehož obsah může činit až 18 %. V porovnání s ostatními nástrojovými oceli mají několikanásobně vyšší řezivost a dobrou pevnost v ohybu. Mají též vysokou tvrdost a odolnost proti popouštění a snášejí maximální teploty okolo 550 °C.

Vyrábějí se z nich především namáhané nástroje pro obrábění (soustružnické a hoblovací nože, frézy, pilové kotouče, závitové čelisti a závitníky, tvarové nože) a nástroje na opracovávání dřeva. Mohou se používat i při obrábění s rázy nebo při přerušovaném řezu.

### 1.3.4 Rychlořezné oceli vyrobené práškovou metalurgií

V budoucnu se budou prosazovat rychlořezné oceli vyrobené práškovou metalurgií. Tato metoda umožňuje vytvářet velmi homogenní strukturu a vývoj nestandardních chemických variant. K jejich výhodám patří:

- homogenní struktura;
- dobré technické vlastnosti – tvařitelnost, brousitelnost, leštitelnost;
- tvarová a rozměrová stálost při slinování;
- zlepšená houževnatost;
- materiálová a ekonomická náročnost.

### 1.3.5 Povlakované rychlořezné oceli

Mimo snahy o zlepšení vlastností základního materiálu, kvality tepelného zpracování a ostření mají mimořádný význam především metody úprav povrchových vrstev funkčních částí nástroje. Jejich cílem je nejen zvýšení životnosti nástroje, ale i jeho výkonnosti. Pro rychlořezné oceli se používá metoda povlakování PVD, která je založena na rozprašování nebo odpařování pevného terče (Ti, Cr, Al), na bombardování podložky (nástroje) směsí neutrálních atomů a iontů a kondenzaci chemické sloučeniny, např. nitridu, karbidu nebo oxidu zvoleného kovu na nástroje ve vakuové komoře.

Existují 3 základní typy povlakování metodou PVD. Jedná se o napařování, naprašování a iontové plátování. Dosud nejčastěji je aplikován povlak TiN (asi 75 % povlakovaných nástrojů), další v pořadí četnosti jsou (Ti, Al)N a Ti(C, N). Mezi výhody lze zařadit možnost povlakování ostrých hran, k nevýhodám všech metod PVD patří relativně složitý vakuový systém. Vzhledem k tomu, že rychlořezné oceli patří mezi nejvíce legované nástrojové oceli a jsou tedy nejnáročnější na deficitní legující prvky, optimální využívání rychlořezných ocelí má značný ekonomický význam.



## 1.4 SLINUTÉ KARBIDY

Jsou vyráběny práškovou metalurgií, kde je struktura tvořena karbidy vysokotavitelných kovů wolframu (WC), titanu (TiC) a pojícím kovem, kterým je nejčastěji kobalt (Co). Jako další přísady se používají karbidy tantalu (TaC) a niobu (NbC). Velký rozvoj zaznamenaly slinuté karbidy zejména na konci 50. let minulého století při změně v upevnění VBD z pájené na konstrukci s mechanickým upínáním.

V současné době většina výrobců slinuté karbidy povlakuje. Povlakované slinuté karbidy jsou složeny z pevného karbidového podkladu a termochemicky stabilního povlaku (karbidy, nitridy, oxidy a jejich kombinace). Výsledkem jsou lepší materiály pro vysoké řezné a posuvové rychlosti, vysoký úběr třísky a přerušovaný řez. Hlavním cílem povlaků je snížit součinitel tření, neulpívání třísek na čele, získání tvrdého povrchu při zachování houževnatého jádra, zamezení vzniku nárůstků a zejména prodloužení životnosti nástroje. Získáme tak vysoce kvalitní nástroje, zajišťující vysoký úběr materiálu, vysoké řezné a posuvové rychlosti i možnost využití pro přerušované řezy. Jako první se na trhu objevily povlaky z TiC a brzy na to byly vyvinuty povlaky typu TiN a TiCN, povlaky  $Al_2O_3$  přišly na trh nejpozději. Mají vyšší teplotní odolnost oproti předchozí skupině materiálů a to přibližně 800 °C.

Obvykle se uvádějí tyto vývojové stupně povlakovaných slinutých karbidů:

1. generace: jednovrstvý povlak (téměř výhradně TiC) s tloušťkou asi 7 μm a špatnou soudržností podkladu a povlaku;
2. generace: jednovrstvý povlak (TiC, TiCN, TiN) bez etakarbidu na přechodu podklad - povlak. Zdokonalení technologie výroby umožnilo vytvořit vrstvy povlaků o větší tloušťce (až 13 μm), bez nebezpečí jejich odlupování při funkci nástroje;
3. generace: vícevrstvý povlak (dvě až tři, případně i více vrstev) s ostře ohraničenými přechody mezi jednotlivými vrstvami. Řazení vrstev odpovídá jejich vlastnostem tak, že jako první jsou na podklad obvykle nanášeny vrstvy s lepší přilnavostí k podkladu, které mají relativně nižší odolnost proti opotřebení a jako poslední jsou nanášeny vrstvy, které nemusí mít dobrou přilnavost k podkladu, ale požaduje se od nich zejména vysoká tvrdost a odolnost proti opotřebení. Nejčastěji bývají jednotlivé vrstvy řazeny v tomto pořadí (od podkladu k povrchu): TiC- $Al_2O_3$ , TiC-TiN, TiC-TiCN-TiN, TiC- $Al_2O_3$ -TiN;
4. generace: speciální vícevrstvý povlak (velmi často i více než 10 vrstev a mezivrstev), s méně či více výraznými přechody mezi jednotlivými vrstvami (užívají se stejné materiály povlaků jako u 3. generace).

Vůbec nejnovější povlaky firem mají mezi podkladem a vlastním povlakem vrstvu speciálního materiálu typu WC-Co. Je tedy zřejmé, že se aplikují jak jednovrstvé, tak i vícevrstvé povlaky, a to podle různých způsobů a podmínek obrábění. Různé druhy povlaků vykazují různé vlastnosti, např. TiC je nejtvrdší a má největší odolnost vůči abrazivnímu opotřebení, naproti tomu TiN je měkčí a proto méně otěruvzdorný, ale termodynamicky stabilní a odolný proti tvorbě výmolů na čele nástroje.  $Al_2O_3$  vykazuje největší otěruvzdornost při vysokých teplotách, tedy při vysokých řezných rychlostech. Proto má vícevrstvá technologie velký význam pro optimální kombinaci požadovaných vlastností povlakovaných destiček. Aplikace vícevrstvných povlaků má rostoucí tendenci a řazení vrstev je obvykle v posloupnosti substrát (podklad) - TiC - TiCN - TiN -  $Al_2O_3$ .

### 1.4.1 Metody povlakování SK

Povlakované slinuté karbidy jsou vyráběny tak, že na podklad z běžného slinutého karbidu typu (v současné době jsou již povlaky většinou nanášeny na podkladové SK, vyrobené speciálně k tomuto účelu) se nanáší tenká vrstva materiálu s vysokou tvrdostí a vynikající odolností proti opotřebení (povlak ve formě tenké vrstvy má vyšší tvrdost i pevnost, než stej-



ný homogenní materiál v jakékoli jiné formě). Tyto výhodné vlastnosti vyplývají zejména z toho, že povlakový materiál neobsahuje žádné pojivo, má o jeden i více řádů jemnější zrnitost a méně strukturních defektů a tvoří bariéru proti difúznímu mechanismu opotřebení nástroje. Podle principu se metody povlakování dělí do dvou základních skupin:

### 1.4.2 Metoda PVD

Metoda PVD = fyzikální napařování, která je charakteristická nízkými pracovními teplotami. Tato metoda se používá zejména pro povlakování nástrojů z rychlořezných ocelí (nízká teplota zaručuje, že nedojde k tepelnému ovlivnění nástroje), pro povlakování slinutých karbidů se dosud využívala méně často (v posledním období ale dochází k poměrně významnému rozvoji metod PVD a rozšiřování jejich aplikací také v oblasti SK). Povlak je vytvářen napařováním, napařováním nebo iontovým plátováním. Fyzikální proces povlakování probíhá ve středním až vysokém vakuu. Při napařování je čistý kov (obvykle Ti) odpařován pomocí elektrického oblouku.

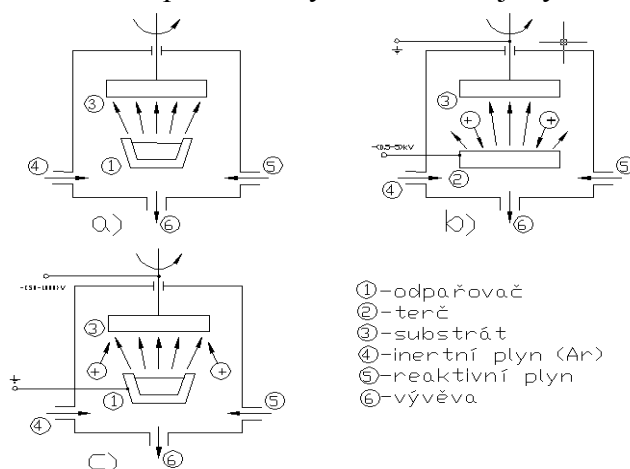
K nevýhodám všech výše uvedených metod PVD patří relativně složitý vakuový systém a požadavek pohybovat povlakovanými předměty, aby bylo zaručeno rovnoměrné ukládání povlaku po celém jejich povrchu (tento požadavek souvisí s tzv. stínovým efektem, který u dané metody způsobuje, že na plochách, které neleží ve směru pohybu odpařovaných částic, se vytváří nedokonalá vrstva povlaku, případně se povlak vůbec netvoří). Mezi *výhody* lze zařadit *možnost povlakování ostrých hran* (tedy i tzv. ostře provedeného ostří nástroje, s *poloměrem zaoblení břitu pod 20 μm*).

### 1.4.3 Metoda CVD

Metoda CVD = chemické napařování z plynné fáze, která probíhá za vysokých teplot; tato metoda je hlavní metodou povlakování slinutých karbidů a může být realizována ve třech variantách:

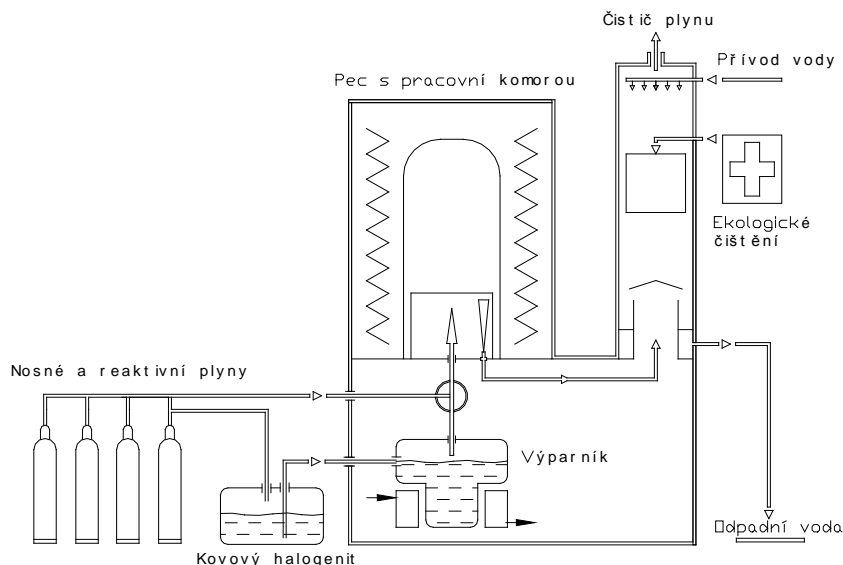
- tepelně indukovaná;
- plazmaticky aktivovaná;
- fotonově indukovaná (např. laserem).

Chemický proces povlakování je založen na reakci plynných chemických sloučenin v bezprostřední blízkosti povrchu podkladového slinutého karbidu a následném uložení produktů reakce na tomto povrchu. Poměrně velkým procentem je v přiváděných plynech zastoupen nosný plyn (např. Ar, H<sub>2</sub>), který dopravuje danou směs plynů k povlakovanému předmětu, umožňuje řízení celého procesu a výrazně ovlivňuje rychlost růstu vrstvy povlaku.



Obr. 10.4 Povlakování metodou PVD (a-napařování, b-napařování, c-iontové plátování)





Obr. 10.5 Povlakování metodou CVD

Mezi hlavní výhody povlakování metodou CVD patří:

- vysoká hustota povlaku;
- vynikající adheze k podkladovému materiálu;
- dobrá stechiometrie povlaku;
- povlakování předmětu ze všech stran jako důsledek poměrně vysokých pracovních tlaků plynné směsi (1-100 kPa).

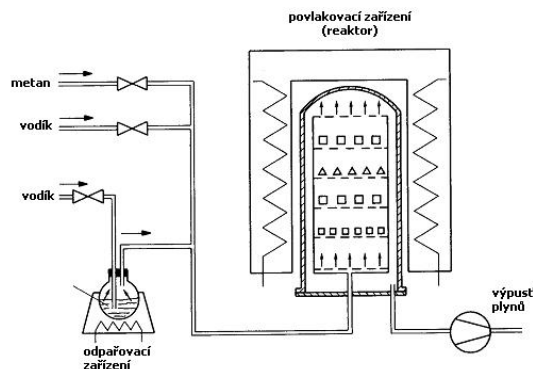
Nevýhodou metody CVD jsou vysoké pracovní teploty, které mohou mít nepříznivý vliv na vlastnosti povlakovaného předmětu po absolvování procesu (netýká se slinutých karbidů). Tím je omezen rozsah podkladových materiálů a proto je současný vývoj dané metody zaměřen zejména na snížení pracovní teploty.

#### 1.4.4 Metoda MTCVD

Na rozdíl od konvenční CVD technologie, při které je teplota nanášení povlaku 1000 - 1040 °C, MTCVD technologie umožňuje použít teploty podstatně nižší (700 - 850 °C). Zatímco u konvenční CVD technologie slouží jako zdroj uhlíku a dusíku plynný metan  $\text{CH}_4$  a plynný dusík  $\text{N}_2$ , MTCVD metoda využívá jako vstupní sloučeninu acetonitril  $\text{CH}_3\text{CN}$ , též metylkyanid. Jedná se o vysoce toxickou a hořlavou kapalinu. Jako zdroj titanu používají obě technologie chlorid titaničitý  $\text{TiCl}_4$ .

Hlavní výhodou MTCVD technologie je to, že v důsledku nižší reakční teploty dochází ke značnému nárůstu houževnatosti, případně jejímu zachování. Mikrotvrdotost běžně připravených karbonitridů má klesající tendenci ve směru od substrátu k povrchu vzorku. Je to logický důsledek faktu, že ve směru narůstání povlaku roste i jeho zrnitost, která je příčinou poklesu mikrotvrdotosti. Zrnitost MT-TiCN vrstvy je nejmenší právě v místech, kde MT-TiCN vrstva začíná růst. Mikrotvrdotost MT-TiCN vrstvy může obecně kolísat od 1600 do 3000  $\text{HV}_{0,05}$  v závislosti na zrnitosti a na reakčních podmínkách nanášení povlaku (tlak, teplota, koncentrace jednotlivých chemických látek).





Obr. 10.6 Povlakování metodou MTCVD

## 1.5 ŘEZNÁ KERAMIKA

Název keramika byl tradičně spojován s produkty, které byly „vypalovány“ z tvarovaného přírodního materiálu. Při tvarování tohoto typu keramiky tvořili částice silikátů základní fázi uloženou ve fluidním prostředí. Velká část průmyslu, která produkuje tyto poměrně laciné produkty, bude v tomto využití keramiky pokračovat. Postupem času však vzrostly požadavky na použití keramiky v prostředí s podstatně vyššími nároky. Od osmdesátých let dochází k rozvoji tzv. konstrukční keramiky založené na rozvoji takových mikrostrukturních charakteristik, které umožní dosažení speciálních mechanických a tepelně mechanických vlastností. Požadavky na nízkou měrnou hmotnost a tepelnou vodivost, odolnost proti tepelným rázům při zachování potřebné pevnosti a tvrdosti se musely řešit vhodnou kombinací použitých materiálů a makrostruktury.

Moderní definicí je keramika obecně považována jako převážně krystalický materiál, jehož hlavními složkou jsou anorganické sloučeniny nekovového charakteru. Tato definice zahrnuje nejen tradiční keramiku (porcelán, cihly, cement), ale i brousící materiály a řadu nových (speciálních, konstrukčních, strojírenských, průmyslových nebo jinak nazývaných keramických látek jako jsou oxidická keramika ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{ZrO}_2$ ,  $\text{BeO}$ ...), ferity, feroelektrika, nitridy (na bázi Si, B, Al), karbidy (na bázi Si, B) a další. Pro současnou keramiku je charakteristické, že je vyráběna z poměrně čistých surovin a často z čistých výchozích chemikálií jako keramika syntetická. Jsou to látky označované jako keramika krystalická, na rozdíl od tradiční keramiky, která obsahuje i velký podíl skelné (amorfni) fáze. Keramické látky jsou vázány meziatomovými vazbami iontovými a kovalentními. Jejich vazba však není čistě iontová nebo čistě kovalentní. Zpravidla se vyskytují obě vazby zároveň. V krystalové struktuře převažují složité mřížky kubické a hexagonální.

V široce rozvětveném používání obecné keramiky zaujímá oblast technické nebo řezné keramiky zatím relativně malý podíl. Pro její vynikající vlastnosti se jí však otvírají stále nové oblasti použití. Je důležité zdůraznit, že o keramice tak jak ji známe z denního použití (porcelán, kamenina) máme určitou představu. Znamé vlastnosti jako křehkost, náchylnost k rozbití, apod. se pak přenáší i na technickou keramiku. Mluvíme-li však o řezné keramice, jedná se o technologicky vyspělé výrobky, které jsou určeny pro extrémní podmínky, kde se požaduje např. vysoká odolnost proti opotřebení, vysoká tepelná stálost, vysoká tvrdost, atd.

### 1.5.1 Technické použití keramických materiálů

Intenzivní výzkumnou činností byly výrazně zlepšeny některé vlastnosti keramických materiálů. To umožnilo podstatné rozšíření jejich aplikací ve strojírenské výrobě. Charakteristické vlastnosti umožňují používat keramické materiály v těchto oblastech technické praxe:



- tepelné aplikace – odolnost vůči vysokým teplotám, stabilita tvaru při tahu a tlaku i za vysokých teplot, odolnost proti náhlým změnám teploty, nízká tepelná roztažnost, schopnost akumulace tepla, dobrá tepelná vodivost;
- mechanické aplikace – vysoká tvrdost, vysoká odolnost proti opotřebení dobré a stabilní kluzné vlastnosti, nepřítomnost statického náboje, nízká měrná hmotnost, vysoká přesnost tvaru, úzké rozměrové tolerance;
- elektrotechnika, elektronika – výborné izolační vlastnosti, vysoká dielektrická pevnost, velká stabilita výboje, vysoký výkon zhášení výboje, definovaná dielektrická konstanta, dobré vysokofrekvenční vlastnosti, dobré mechanické vlastnosti;
- fyzikální a chemické aplikace – chemická odolnost vůči kyselinám a louhům, chemická inertnost, odolnost vůči korozi a erozi, akumulací a pohlcovací schopnost, velký geometrický a měrný povrch, filtrační schopnosti;
- medicína – biologická slučitelnost, chemická inertnost a stabil., filtrační schopnost;
- stavebnictví – odolnost vůči horku a mrazu, příjemnost na dotyk, hygienické vlastnosti, mechanická stabilita, plynotěsnost, chemická inertnost.

Jednotlivé vlastnosti keramik lze různě kombinovat a měnit podle konkrétního použití na jednotlivé aplikace. Proto se vybrané keramické materiály úspěšně používají pro výrobu řezných nástrojů pro třískové obrábění. Jsou zde s výhodou využívány tyto vlastnosti řezné keramiky:

- vysoká tvrdost;
- odolnost proti mechanickému namáhání;
- odolnost proti působení vysokých teplot;
- odolnost proti opotřebení;
- vysoká trvanlivost a řezivost;
- odolnost proti korozi a chemickým vlivům;
- nízká měrná hmotnost;
- dostupnost základních surovin;
- ekologická nezávadnost;
- příznivá cena.

### 1.5.2 Historický vývoj

Pravděpodobně vůbec první keramický nástroj byl použit již v době kamenné, kdy člověk používal pískovcové bloky obsahující velké množství  $\text{SiO}_2$  k ostření nožů a dalších nástrojů. Tyto pískovcové kotouče se staly po dlouhou dobu brousicím nástrojem číslo jedna.

Počáteční pokusy s využitím keramických řezných nástrojů sahají do 20. let minulého století (keramika na bázi oxidů). První keramický materiál na bázi  $\text{Al}_2\text{O}_3$  použitelný pro řezný nástroj vyvinula německá firma Degussa v období II. světové války jako pokus o náhradu slinutých karbidů WC-Co. Vzhledem k vysoké křehkosti byly aplikace omezeny na nepřerušovaný řez a k širšímu rozšíření nedošlo, protože technologie výroby nebyla zdaleka propracována tak, aby bylo možno zhotovit nástroj požadovaných vlastností.

První keramické materiály na bázi oxidu hlinitého byly úspěšně aplikovány až koncem 50. let na základě intenzivního výzkumu. Ten byl zaměřen na odstranění hlavních nedostatků (hrubozrná struktura, nízká ohybová pevnost, nízká odolnost proti teplotním rázům). Masivnějšímu rozšíření bránil i nedostatek dostatečně výkonných strojů s potřebným výkonem a rozsahem otáček vřetene, a to bez ohledu na přesnost. První nástroje obsahovaly většinu oxidu hlinitého ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) a malé množství slinovacích přísad (obvykle okolo 1 %).



Oxid hlinitý má z nástrojových materiálů nejlepší termochemickou stabilitu a vysokou odolnost proti opotřebení, ovšem nízkou odolnost proti vydrolování ostří.

Na začátku 70. let byly vyvinuty keramiky typu  $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiC}$ , které měly zlepšit odolnost proti vydrolování a spolehlivost keramických řezných nástrojů. Jedná se o dnes nejrozšířenější typ řezné keramiky, která se zasloužila o vstup keramických VBD na trh obráběcích nástrojů. Slinovací proces se postupně změnil z vysokoteplotního lisování na vysokoteplotní izostatické lisování (HIP), a to za účelem snížení ceny nástroje a zvýšení produktivity výroby.

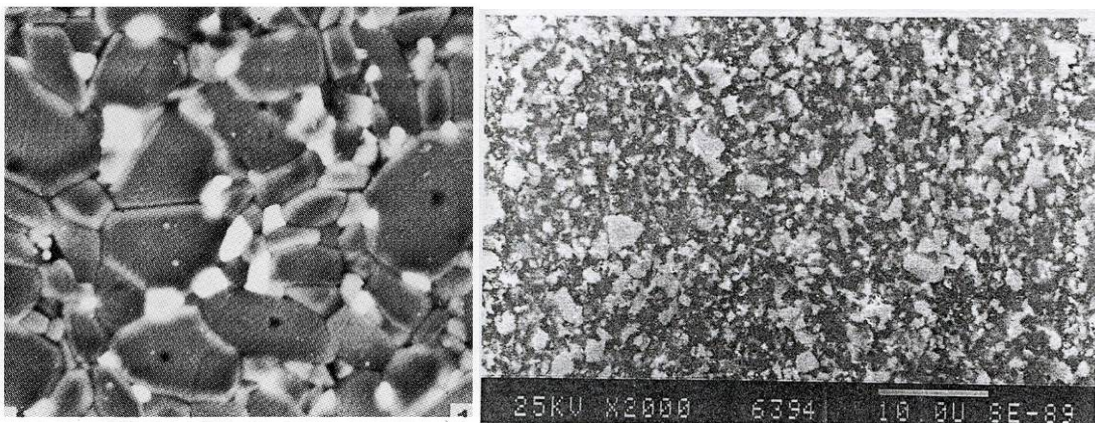
V polovině 80. let byly vyvinuty kompozity  $\text{Al}_2\text{O}_3$  vyztužené vlákny whiskery (SiC). Karbid křemíku má sice tendenci reagovat se slitinami železa, což zapříčiňuje větší opotřebení nástroje, ovšem přidáním jeho vláken se výrazně zvýší odolnost proti vydrolení a vylamování ostří v důsledku zpevnění a odolnosti proti oxidaci. Výsledkem jsou vynikající řezné výkony těchto materiálů při obrábění superslitin, kde hrozí nebezpečí vylamování ostří. Počátkem 80. let se na trh dostávají i první keramické nástroje na bázi  $\text{Si}_3\text{N}_4$ . Ve srovnání s oxidickými keramikami se dají používat až při dvojnásobné posuvové rychlosti. Nevýhodou je poměrně rychlé opotřebování, zejména při obrábění ocelí a tvárné litiny.

### 1.5.3 Rozdělení a značení ŘK

Pro dělení a značení keramických řezných materiálů neexistuje konkrétní norma, jako je tomu např. u slinitých karbidů či nástrojových ocelí. Každý autor si uvádí své rozdělení ŘK. Všeobecně se však přijímá následující dělení:

- na bázi oxidu hlinitého ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ );
- čistá (oxidická) - 99,5%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ;
- směsná -  $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{ZrO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{ZrO}_2 + \text{CoO}$ ;
- vyztužená -  $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiC}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{ZrO}_2 + \text{TiC}$  ...;
- na bázi nitridu křemíku ( $\text{Si}_3\text{N}_4$ ) -  $\text{Si}_3\text{N}_4 + \text{Y}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Si}_3\text{N}_4 + \text{TiC}$ , sialony.

Jednotliví výrobci keramických nástrojů dodávají nástroje v celém rozsahu sortimentu. Obchodní značení konkrétních výrobců odpovídá zvyklostem jednotlivých výrobců. Zlepšení fyzikálních a mechanických vlastností umožnilo rozšířit oblast použití z původního soustružení na obrábění téměř všech materiálů na bázi železa a to i při hrubování a přerušovaném řezu.



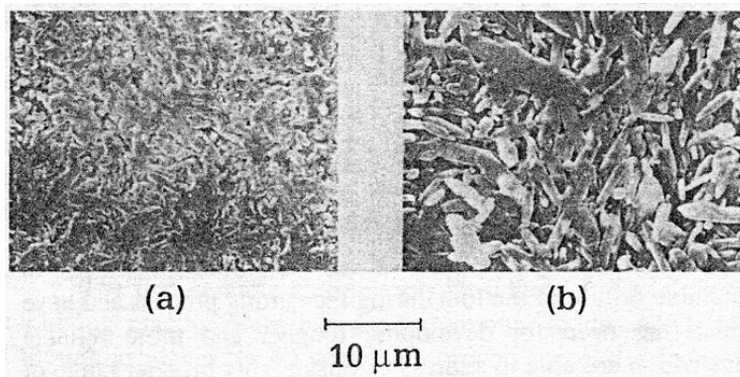
a) čistý  $\text{Al}_2\text{O}_3$

b)  $\text{Al}_2\text{O}_3 + 30\% \text{TiC}$

Obr. 10.7 Struktura oxidické keramiky  $\text{Al}_2\text{O}_3$







a) lisováno 90 minut

b) lisováno 400 minut

Obr. 10.8 Struktura nitridické keramiky  $Si_3N_4$ 

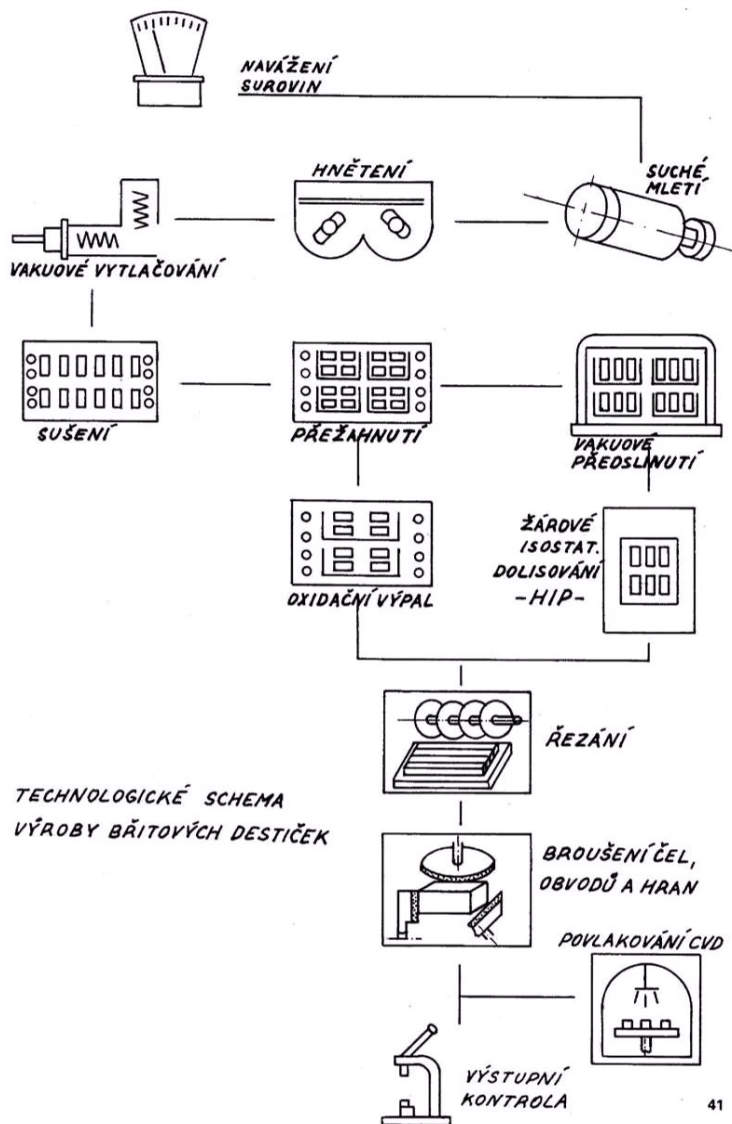
#### 1.5.4 Výroba řezné keramiky

Proces výroby kompaktních keramických součástí (a tedy i vyměnitelných břitových destiček pro řezné nástroje) je velmi podobný procesu výroby součástí ze slinutých karbidů a cermetů. Zásadní rozdíl je ale v tom, že keramické materiály neobsahují žádný materiál jehož funkcí by bylo spojení jednotlivých zrn tvrdé fáze do jednolitého tělesa. Tato skutečnost výrobu řezné keramiky znesnadňuje a klade vysoké nároky na výrobní zařízení. Další důležitou podmínkou úspěšné výroby je dodržení všech předepsaných parametrů technologického postupu výroby. Vývoj mikrostruktury a slinovatelnost keramických materiálů je možno ovlivnit přidáním přísad. Tyto přísady v průběhu slinování vytvářejí kapalnou fázi. Tímto způsobem lze dosáhnout hustějšího uspořádání částic a rychlejšího i lepšího zhutnění výrobku. Velikost zrn jednotlivých keramických prášků a aditiv se pohybuje kolem 200 nm.

#### 1.5.5 Obecný postup výroby keramických materiálů:

- příprava práškové směsi;
- mletí;
- míchání;
- tvarování;
- sušení;
- předslinování;
- slinování;
- úpravy povrchu.





Obr. 10.9 Technologické schéma výroby VBD z řezné keramiky

### 1.5.6 Povlakování řezné keramiky

Povlakování řezné keramiky není tak obvyklé jako u slinutých karbidů. Používá se téměř výhradně metoda CVD (Chemical Vapour Deposition). V poslední době se začíná díky firmě CemeCon používat i metoda PVD (Physical Vapour Deposition). Hlavním posláním povlaku je zvýšení houževnatosti pomocí snížení šíření mikrotrhlinek základního materiálu nebo zvýšení otěruvzdornosti řezných hran. Nanáší se jedna vrstva karbidů nebo nitridů kovů (např. TiN, TiCN, apod.) popř. povlak  $\text{Al}_2\text{O}_3$  na základní materiál  $\text{Si}_3\text{N}_4$ .

### 1.5.7 Použití v oblasti obrábění

Řezná keramika patří mezi výkonné řezné materiály. Její nasazení ve strojírenské výrobě vyžaduje, mimo správné volby řezných podmínek, dodržení určitých zásad, aby mohlo být využito jejich výhodných vlastností v plné míře a nevýhodné co nejvíce potlačit. Mezi hlavní podmínky efektivního využití řezné keramiky patří:

- vysoká tuhost systému stroj – nástroj – obrobek (zamezení kmitání jakéhokoliv druhu, které zvyšuje intenzitu opotřebení nástroje);



- použití výkonných obráběcích strojů se širokým rozsahem posuvů a otáček s možností nastavení vysokých řezných rychlostí, plynulá regulace otáček;
- výborný stav obráběcího stroje;
- zabezpečení pevného a spolehlivého upnutí obrobku, zejména při vysokých otáčkách, kdy působí velké odstředivé síly;
- zakrytování pracovní části obráběcího stroje;
- výběr vhodného tvaru a velikosti břitové destičky;
- správná volba tvaru ostří břitové destičky (velikost a sklon negativní fazetky na čele);
- překonání nedůvěry k novému nástrojovému materiálu u technologa i pracovníka, který stroj obsluhuje.

### Soustružení

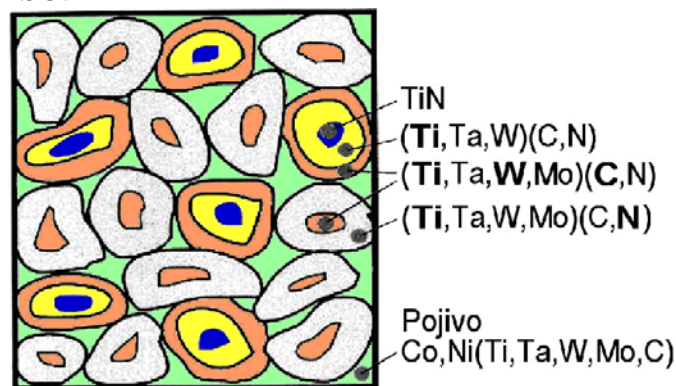
Podobně jako u slinutých karbidů uvádějí jednotliví výrobci doporučené řezné podmínky i pro soustružnické práce svých keramických břitových destiček. U keramických materiálů hraje velmi důležitou roli i otázka chlazení. U většiny druhů keramických vyměnitelných břitových destiček je chlazení chladicí kapalinou výslovně zakázáno. Pro obrábění tvrdých materiálů (kalené oceli, tvrzené litiny) keramickými destičkami je nutné volit poměrně nízké hodnoty hloubky řezu ap.

### Frézování

V počátcích vývoje a výroby byly keramické řezné materiály doporučovány a používány výhradně pro obrábění nepřerušovaným řezem, tedy hlavně soustružení. Postupným vývojem a zlepšováním mechanických vlastností dnes většina výrobců řeznou keramiku doporučuje i pro přerušované řezání. Jednou ze základních podmínek pro použití při přerušovaném řezu je vysoká stabilita systému STROJ – NÁSTROJ – OBROBEK a tedy zamezení vzniku vibrací. Toho se dá úspěšně dosáhnout použitím frézovacích hlav osazených vyšším počtem břitů.

## 1.6 CERMETY

Název CERMET vznikl složením prvních tří hlásek slov „CERamics (keramika)“ a „METal (kov)“. Má tak vyjadřovat materiál, jehož mechanické vlastnosti vykazují výhodnou kombinaci tvrdosti keramiky a houževnatosti kovu. Jsou velmi rozšířené při dokončovacím obrábění, protože tvrdá fáze cermetů vytváří při obrábění plochy s velmi nízkou drsností povrchu (v důsledku vynikající odolnosti proti adhezi a nízké náchylnosti k reakci s obráběným ocelovým materiálem). Cermety nové generace dosahují hodnot lomové houževnatosti a ohybové pevnosti srovnatelné se slinutými karbidy, které patří do stejné skupiny aplikace dle ISO.



Obr. 10.10 Struktura cermetů



### 1.6.1 Historický vývoj

Cermety nejsou žádným novým vynálezem, původně byly vyvinuty v rakouské firmě Plansee a byly navrženy tak, aby obešly patenty německé firmy Krupp. V té době byly tyto materiály velmi křehké. První generace použitelných cermetů byla vyvinuta v USA až v polovině 50. let. Tyto materiály však nevyvolaly velkou pozornost ani v USA ani v Evropě, a to zejména v důsledku své nedostatečné houževnatosti. Naproti tomu byly velmi uznávány v Japonsku jako levný a lehce dostupný materiál pro řezné nástroje, protože neobsahují W ani Co. Jejich vývoj byl realizován hlavně v Japonsku, kde našly větší uplatnění. Stimulem vývoje byl nedostatek wolframu v Japonsku a konkurence slinitých karbidů.

### 1.6.2 Vlastnosti cermetů

Charakteristickou vlastností cermetů je nízká měrná hmotnost, která se pohybuje v rozmezí  $5,6 - 7,4 \text{ g.cm}^{-3}$ , což je přibližně polovina měrné hmotnosti slinitých karbidů. Jejich hlavní nevýhodou, podobně jako u keramiky je nízká houževnatost, která je sice neustále zvyšována, ale přesto nedosahuje hodnot obvyklých u slinitých karbidů. Jednou z cest, jak zlepšit mechanické vlastnosti slinitých karbidů, cermetů a řezné keramiky, je snižování velikosti zrna tvrdých strukturních složek. Materiály s jemným zrnem vykazují obecně vyšší tvrdost, lomovou houževnatost a pevnost v ohybu, což se výrazně projeví na zvýšení řezivosti i trvanlivosti břitových destiček, které jsou z nich vyrobeny.

### 1.6.3 Vliv jednotlivých přísad na vlastnosti cermetů

Starší cermety obvykle obsahovaly směs kovů jako Ti, Ta, V, Nb, Mo, W, C, N, Ni a Co. Tyto materiály byly obvykle kombinovány, dokud nebylo dosaženo uspokojivých výsledků. Základním pojivem cermetů je nikl, ke kterému je často přidáván kobalt kvůli snížení rozpustnosti Ti v Ni a stabilizaci karbonitridů. Molybden je prvkem, který výrazně zpevňuje tuhý roztok niklu, a proto je do některých cermetů přidáván pro zvýšení pevnosti pojiva.

Dnes se do pojiva namísto kobaltu přidává značné množství chromu, a to pro zvýšení smáčivosti, houževnatosti, vysokoteplotní pevnosti a odolnosti proti oxidaci. Tím se dosáhlo vyšší bezpečnosti při obrábění, širší oblasti aplikace, lepší schopnosti udržovat jakost povrchu a přesnost. Dále byla zlepšena schopnost vykonávat přerušované operace. Zlepšené vlastnosti byly dosaženy v důsledku zdokonalení rovnováhy mezi odporem k plastické deformaci a houževnatosti. Byla zvýšena trvanlivost řezné hrany a zlepšil se odpor k tepelnému praskání.



Obr. 10.11 Vlastnosti přísad na vlastnosti CERMETŮ

#### 1.6.4 Povlakování cermetů

Cermety mohou být dále povlakovány kvůli prodloužení trvanlivosti břitu nebo zvýšení řezné rychlosti. Pro povlakování se používají hlavně technologie CVD (Chemical vapour deposition) a technologie PVD (Physical vapour deposition). Tloušťka povlaku se u břitových destiček pohybuje od 2 do 15  $\mu\text{m}$ . Nové generace VBD jsou opatřeny jednoduchými, dvojnásobnými, trojnásobnými a dokonce vícenásobnými vrstvami. PVD povlak je pro cermety nejvhodnější. Povlak nanášený metodou CVD často používaný u slinutých karbidů typu WC/Co se pro cermety nehodí. Způsobuje totiž často v cermetovém substrátu vznik vlasových trhlinek, které mohou být příčinou výlomů břitů.

#### 1.6.5 Zásady pro použití cermetů

Při používání vyměnitelných břitových destiček z cermetů je pro jejich optimální využití nutné dodržet několik obecných zásad:

- při soustružení čelní plochy se volí posuv směrem od povrchu obrobku k jeho ose, tedy od maximální řezné rychlosti po minimální;
- při soustružení na čisto má být konstantní šířka záběru ostří po celou dobu soustružení a má zde být předhrubovaný profil podle tvaru součásti;
- zápichy soustružit na několik řezů;
- soustružit s použitím řezné kapaliny jen při malých průřezech třísky, šířka záběru ostří do 0,5 mm a posuv na otáčku do 0,2 mm;
- soustružení závitů na několik záběrů při hloubce řezu do 0,25 mm;
- soustružit jen při nepřerušovaných řezech;
- při zapichování možné chlazení pro posuv na otáčku do 0,15 mm;
- frézovat bez použití řezné kapaliny;
- frézovat sousledným způsobem, kdy se mění průřez třísky od maximální po minimální hodnotu.

### 1.7 SYNTETICKÉ VELMI TVRDÉ MATERIÁLY

Jsou to technické materiály, které svými vlastnostmi (především tvrdostí a otěruvzorností) převyšují dosud známé běžné řezné materiály. Radíme zde polykrystalické materiály na bázi kubického nitridu boru (KBN) a na bázi diamantu (PKD). Pro vysokou cenu a u PKD někdy ochotnou reakci s obráběným materiálem se zatím příliš nerozšířily. Používají se vesměs pro velkosériovou výrobu a speciální metody obrábění.

#### 1.7.1 Kubický nitrid boru

Měkkou hexagonální modifikací vystupuje nitrid boru v určité analogii s uhlíkem, kde krystalizuje se stejným typem mřížky jako grafit a tvrdou modifikací, která má identickou strukturu mřížky jako diamant. Přírodní CBN není vhodný pro nástroje s definovanou geometrií břitu, neboť na rozdíl od hexagonálního křemíku je měkký. Teprve transformací na kubickou mřížku za vysokých teplot a tlaků se stává kubický nitrid boru druhým nejtvrdějším materiálem po diamantu.

Nástroje osazené kubickým nitridem boru se používají při obrábění bílé litiny s tvrdostí nad 50 HRC, legované litiny a tvrdých návarů a stelitů. Při opracování těchto materiálů



dosáhneme mnohem vyšší životnosti nástroje než při obrábění slinutými karbidy či řeznou keramikou a dosahovaná odolnost proti teplotnímu namáhání se blíží 1500 °C.

Pro své vlastnosti, vysokou životnost a schopnost dosahovat vysoké jakosti povrchu, jsou vhodné jako nástroje nahrazující broušení třískovým obráběním. Je to z důvodu jak ekonomických, tak i ekologických.

### 1.7.2 Diamant

Díky vysoké vazebné energii kubické mřížky je nejtvrdějším známým materiálem. Diamanty dělíme v zásadě na dvě skupiny: přírodní a syntetické. Oba tyto druhy se vyskytují ve tvaru monokrystalickém a polykrystalickém. Synteticky vyrobené diamanty jsou výhodnější jak ekonomicky, tak i technologicky.

Nástroje a VBD osazené diamantem jsou používány pro obrábění neželezných kovů a slitin (hliník, měď, mosaz, bronz, titan a jejich slitiny). Jedná se vesměs o materiály které nemají afinitu k uhlíku. Stále více jsou tyto nástroje nasazovány při obrábění keramických a plastických hmot s abrazivními plnidly, grafitové hmoty, gumy a jiné kompozitní materiály.



## 2 KONTROLNÍ OTÁZKY

- Jaké jsou požadavky kladené na řezné nástroje?
- Jaké znáte materiály řezných nástrojů?
- Nakreslete oblast aplikací pro jednotlivé řezné materiály.
- Do jakých skupin dělíme řezné materiály dle IS 513 a jak značíme?
- Jaké znáte metody povlakování řezných nástrojů?
- Jaké znáte druhy nástrojů z řezné keramiky?
- K čemu lze a k čemu nelze použít nástroje z diamantu?
- Co je to CERMET a jaké jsou podmínky jeho nasazení?
- Jaké známe druhy a k čemu jsou vhodné nástroje z rychlořezných ocelí?



### 3 PŘEDNÁŠKOVÝ TEXT SE VZTAHUJE K TĚMTO OTÁZKÁM.

- 9. Řezné materiály – nástrojové oceli, SK
- 10. Řezné materiály – keramika, KBN, diamant





## 4 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] BILÍK, O. *Obrábění I. (2.Díl): Fyzikálně mechanické záležitosti procesu obrábění*. Ostrava: Vysoká škola báňská –TU Ostrava, 2002. 80 s. ISBN 80-248-0033-0.
- [2] BILÍK, O. *Obrábění II. (1.Díl): Fyzikálně mechanické záležitosti procesu obrábění*. Ostrava: Vysoká škola báňská –TU Ostrava, 1994. 132 s. ISBN 80-7078-228-5.
- [3] BILÍK, O. *Obrábění II. (2.Díl)*. Ostrava: Vysoká škola báňská –TU Ostrava, 2001. 118 s. ISBN 80-7078-994-1.
- [4] BRYCHTA, J. *Obrábění I. Návody pro cvičení 1. část*. Ostrava: Vysoká škola báňská - TU Ostrava, 1998. 84 s. ISBN 80-7078-436-9.
- [5] BRYCHTA, J. *Obrábění I. Návody pro cvičení 2. část*. Ostrava: Vysoká škola báňská - TU Ostrava, 1998. 120 s. ISBN 80-7078-470-9.
- [6] BRYCHTA, J. *Výrobní stroje obráběcí*. Ostrava: Vysoká škola báňská - TU Ostrava, 2003. 150 s. ISBN 80-248-0237-6.
- [7] HOFMAN, P. *Technologie montáže*. Plzeň: Vydavatelství Západočeské univerzity Plzeň, 1997. 90 s. ISBN 80-7082-382-8.
- [8] KOČMAN, K. *Speciální technologie obrábění*. Brno: PC-DIR Real, s.r.o., 1993. 213 s. ISBN 80-214-1187-2.
- [9] KOČMAN, K., PROKOP, K. *Technologie obrábění*. Brno: Akademické nakladatelství CERN Brno, s.r.o., 2001. 274 s. ISBN 80-214-196-2.
- [10] KRÍŽ, R., VÁVRA, P. a kol. *Strojírenská příručka*. Praha: Scientia, spol. s r. o., 1996. 220 s. ISBN 80-7183-024-0.
- [11] TICHÁ, Š. *Strojírenská metrologie část 1*. Ostrava: Vysoká škola báňská –TU Ostrava, 2004. 112 s. ISBN 80-248-0672-X.
- [12] VIGNER, M., PŘIKRYL, Z. a kol. *Obrábění*. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, n. p., 1984. 808 s.
- [13] VLACH, B. a kol. *Technologie obrábění a montáží*. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, n. p., 1990. 472 s. ISBN 80-03-00143-9.
- [14] HAVRILA, M., ZAJAC, J., BRYCHTA, J., JURKO, J. *Top trendy v obrábění 1. část – Obráběné materiály*. Žilina: MEDIA/ST, s. r. o., 2006. ISBN 80-968954-2-7.
- [15] JURKO, J., ZAJAC, J., ČEP, R., *Top trendy v obrábění 2. část – Nástrojové materiály*. Žilina: MEDIA/ST, s. r. o., 2006. ISBN 80-968954-2-7.
- [16] VASILKO, K., HAVRILA, M., NOVÁK – MARCINČIN, J., MÁDL, J., ZAJAC, J. *Top trendy v obrábění 3. část – Technologická obrábění*. Žilina: MEDIA/ST, s. r. o., 2006. ISBN 80-968954-2-7.
- [17] MONKA, P., PAULIKOVÁ, A. *Top trendy v obrábění 4. část – Upínanie, prípravky a meradlá*. Žilina: MEDIA/ST, s. r. o., 2007. ISBN 80-968954-2-7.
- [18] PŘIKRYL, Z., MUSÍLKOVÁ, R. *Teorie obrábění*. Praha : SNTL – Nakladatelství technické literatury, n. p., 1971. 200 s.
- [19] HUMÁR, A. *TECHNOLOGIE I TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ – 1. část*. Studijní opory pro magisterskou formu studia "Strojírenská technologie". Brno: VUT Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2003. 138 s. Dostupné na World Wide Web: <[http://www.fme.vutbr.cz/opory/pdf/TI\\_TO-1cast.pdf](http://www.fme.vutbr.cz/opory/pdf/TI_TO-1cast.pdf)>.
- [20] HUMÁR, A. *TECHNOLOGIE I TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ – 2. část*. Studijní opory pro magisterskou formu studia "Strojírenská technologie". Brno: VUT Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2004. 94 s. Dostupné na World Wide Web: <[http://www.fme.vutbr.cz/opory/pdf/TI\\_TO-2cast.pdf](http://www.fme.vutbr.cz/opory/pdf/TI_TO-2cast.pdf)>.



- [21] HUMÁR, A. *TECHNOLOGIE I TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ – 3. část*. Interaktivní multimediální text pro bakalářský a magisterský studijní program "Strojírenství". Brno: VUT Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2005. 57 s. Dostupné na World Wide Web: <[http://www.fme.vutbr.cz/opory/pdf/TI\\_TO-3cast.pdf](http://www.fme.vutbr.cz/opory/pdf/TI_TO-3cast.pdf)>.
- [22] HUMÁR, A. *Výrobní technologie II* [online]. Studijní opory pro podporu samostudia v oboru "Strojírenská technologie" BS studijního programu "Strojírenství". VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2002. 84 s. Dostupné na World Wide Web: <[http://www.fme.vutbr.cz/opory/pdf/VyrobniTecnologie\\_II.pdf](http://www.fme.vutbr.cz/opory/pdf/VyrobniTecnologie_II.pdf)>.
- [23] AB SANDVIK COROMANT - SANDIK CZ s.r.o. *Příručka obrábění - Kniha pro praktiky*. Přel. M. Kudela. 1. vyd. Praha: Scientia, s. r. o., 1997. 857 s. Přel. z: *Modern Metal Cuttig - A Practical Handbook*. ISBN 91-97 22 99-4-6.
- [24] STEPHENSON, D. A., AGAPIOU, J. S. *Metal Cutting Teory and Practice*. New York: Marcel Dekker, Inc., 1996. 905 s. ISBN 0-8247-9579-2.
- [25] VASILKO, K., NOVÁK – MARCINČIN, J., HAVRILA, M. *Výrobné inžinierstvo*. Prešov: Technická univerzita v Košiciach, Fakulta výrobných technológií so sídlom v Prešove, 2003. 424 s. ISBN 80-7099-995-0.
- [26] PILC, J., STANČEKOVÁ, D. *Základy stavby obrábacích strojov*. Žilina: Žilinská univerzita v Žilině, 2004. 110 s. ISBN 80-8070-281-0.
- [27] VASILKO, K., HRUBÝ, J., LIPTÁK, J. *Technológia obrábania a montáže*. Bratislava: Alfa, š. p., 1991. 494 s. ISBN 80-05-00807-4.



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

**VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA  
FAKULTA STROJNÍ**



# TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ V PŘÍKLADECH

---

## 2 Výrobní postupy

doc. Ing. Robert ČEP, Ph.D.  
Ing. et Ing. Mgr. Jana PETRŮ, Ph.D.

Ostrava 2013

© doc. Ing. Robert ČEP, Ph.D., Ing. et Ing. Mgr. Jana PETRŮ, Ph.D.

© Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

ISBN 978-80-248-3014-8



Tento studijní materiál vznikl za finanční podpory Evropského sociálního fondu (ESF) a rozpočtu České republiky v rámci řešení projektu: CZ.1.07/2.2.00/15.0463, MODERNIZACE VÝUKOVÝCH MATERIÁLŮ A DIDAKTICKÝCH METOD

## OBSAH

<b>1</b>	<b>VÝROBNÍ POSTUPY .....</b>	<b>3</b>
1.1	Technologický postup a jeho členění.....	4
1.1	Volba základen .....	6
1.2	Sled operací.....	7
1.3	Zásady pro vypracování technologického postupu.....	7
1.4	Technologičnost konstrukce výrobku .....	8
<b>2</b>	<b>KONTROLNÍ OTÁZKY .....</b>	<b>15</b>
<b>3</b>	<b>PŘEDNÁŠKOVÝ TEXT SE VZTAHUJE K TĚMTO OTÁZKÁM. ....</b>	<b>16</b>
<b>4</b>	<b>POUŽITÁ LITERATURA .....</b>	<b>17</b>



# 1 VÝROBNÍ POSTUPY



## OBSAH KAPITOLY:

Členění výrobních postupů

Volba základen a sled operací

Zásady pro vypracování výrobního postupu

Technologičnost konstrukce



## MOTIVACE:

Výrobní proces je soubor na sobě nezávislých činností, při kterých se přetváří výchozí materiál v hotový výrobek. Účelné pořadí a počet jednotlivých fází, které jsou nezbytně nutné pro realizaci výroby nebo montáže určitého výrobku (např. součásti, montážního celku), nazýváme výrobní nebo montážní postup.

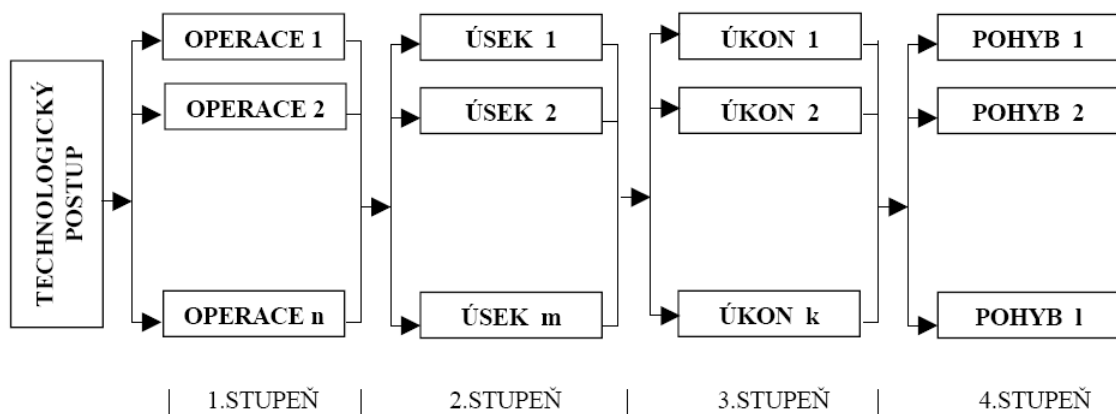
Obsahuje-li výrobní postup pouze sled technologických činností, nazývá se technologický postup, a obsahuje-li pouze činnost pracovníka, nazývá se pracovní postup. V praxi se nejčastěji vyskytuje souhrn těchto činností s názvem výrobní postup.



## 1.1 TECHNOLOGICKÝ POSTUP A JEHO ČLENĚNÍ

Technologický postup je organizovaný sled kvalitativních a kvantitativních změn, jimiž prochází obrobek při své přeměně v hotový výrobek. Určuje potřebné výrobní zařízení, nástroje, přípravky, řezné, upínací, pracovní a měřicí podmínky potřebné pro danou operaci tak, aby součást byla podle daného postupu vyrobitelná s minimálními náklady a splňovala požadavky dané technickou dokumentací.

Podle účelu a typu výroby se technologické postupy dělí až do čtyř stupňů na jednotlivé operace, úseky, úkony a pohyby.

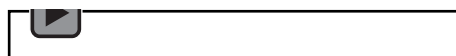


Obr. 11.1 Členění technologického postupu

- operace - ukončená a souvisle prováděná část výrobního procesu vykonaná na jednom nebo několika pracovních předmětech na jednom pracovišti, zpravidla jedním nebo skupinou pracovníků (např. soustružení, frézování, broušení, lapování, tepelné zpracování, kontrola rozměrů),
- úsek - část operace, při které se vykonává práce za přibližně stejných technologických podmínek (např. soustružení se rozděluje na úsek hrubování a úsek soustružení na čisto, tedy dva úseky jedné operace),
- úkon - ucelená jednoduchá pracovní činnost (např. upnutí obrobku, nastavení řezných podmínek, zapnutí stroje),
- pohyb - nejjednodušší část pracovní činnosti ve výrobním postupu, popisované zejména v hromadné výrobě a u montážních prací (např. uchopit klíč, vložit obrobek do sklíčidla, utažení šroubu, stlačení vypínače stroje).



### Audio 1.1 Technologický postup



Zásadní vliv na podrobnost rozčlenění postupů má především sériovost a složitost procesu, stupeň mechanizace a automatizace výroby. Postupy určené pro hromadnou výrobu se člení do všech čtyř stupňů až na jednotlivé pohyby, přičemž se provádí analýza operací tak, aby bylo možné zjistit složky neproduktivní činnosti a automatizovat výrobní proces. TP sestavený pro výrobu kusovou i malosériovou se člení jen na operace a úseky.



Tab. 11.1 Vliv druhu výroby na výrobní postupy

Kritérium	Druh výroby		
	hromadná	sériová	malosériová, kusová
Podrobnost rozpracování výrobního postupu	detailní návody na jednotlivé operace, uveden nákres, operace detailně rozvedena	podrobný popis, operace, členění na úseky až úkony, nákres, uvedeny technologické podmínky, stroj atd.	rámcový, obsahuje s hlavnými údaji, pouze důležité operace rozvedeny na úseky
Přibližný sortiment	max. do 5 druhů	5 ÷ 50 druhů	rozsáhlý, i několik set druhů
Počet kusů jednoho druhu	řádově $10^4$ a více	řádově $10^2 \div 10^4$	řádově $1 \div 10^2$
Obráběcí stroje	speciální jednoúčelové stroje sestavené do automatických linek	poloautomatické a automatické obráběcí stroje, univerzální vybavení, speciální přípravy	univerzální, výjimečně speciální NC stroje na velké dílce apod.
Nástroje	speciální, normální	normální, převážně speciální	normální, výjimečně speciální
Materiál polotovaru	nenormalizované polotovary, odlitky z vytavitelných modelů a stříkané, výkovky, speciální profilový materiál aj.	nenormalizované i normalizované polotovary, zápuskové a rotační výkovky, přesné odlitky	normalizované polotovary, výkovky zhotovené volným kovááním, odlitky s velkými přídávky na obrábění (ruční formování)
Kvalifikace pracovníků	vysoce kvalifikovaní údržbáři a seřizovači automatických linek, pracovníci s nízkou kvalifikací pro obsluhu	kvalifikovaní seřizovači, zaučení se znalostí obsluhy stroje	vysoce kvalifikovaní a zruční pracovníci ovládající více profesí

Výrobní postup je vedle výrobního výkresu a konstrukčního kusovníku jedním ze základních výrobních dokumentů. Kromě identifikačních údajů (číslo zakázky, číslo výkresu součásti apod.) obsahuje výrobní postup technické, organizační a ekonomické informace nezbytné pro realizaci výrobního procesu.

Ve výrobním postupu se uvádí následující informace:

- identifikační údaje postupu;
- počet vyráběných kusů;
- typ a rozměry polotovaru před obráběním;
- výrobní zařízení, nástroje, přípravy a měřidla;
- řezné (technologické) podmínky;
- popis prací a výrobních metod ve vhodném pořadí;
- režimy práce obráběcích strojů;
- čas nutný k provedení jednotlivých operací;

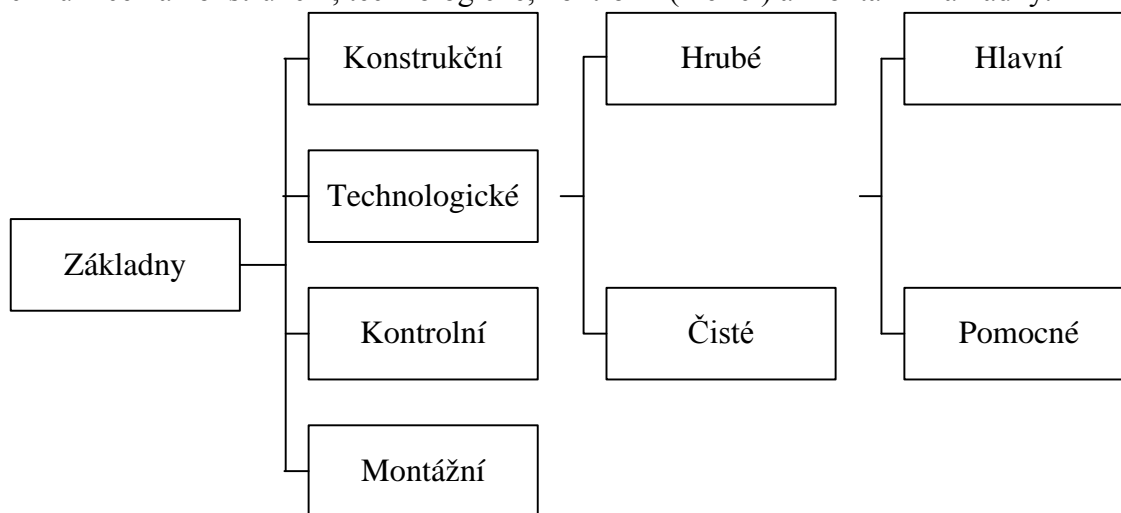


- místo, kde má být výroba uskutečněna (dílna, pracoviště);
- odměny za vykonanou práci aj.

## 1.1 VOLBA ZÁKLADEN

Výrobní postup je ovlivňován mnoha činiteli, které mají různý vliv a často vedou k protichůdným požadavkům. Všechny polotovary i součásti je nutné v procesu obrábění ustavit a upnout. Právě jedním z faktorů, který významně ovlivňuje výslednou přesnost součásti je správná volba základen.

Základnami mohou být plochy (rovinné, válcové, kuželové, tvarové), čáry (osy souměrnosti) nebo body (středky koulí), které umožňují stanovit rozměrové a funkční vztahy ostatních rozměrů, ploch nebo jejich os u jednotlivých součástí, tak u skupin součástí seskupených v montážní celek. Na obr. 11.2 je schématicky znázorněno rozdělení základen z hlediska jejich funkce na konstrukční, technologické, kontrolní (měřicí) a montážní základny.



Obr. 11.2 Rozdělení základen z hlediska jejich funkce

**Konstrukční základny** jsou plochy, osy nebo body umožňující určit polohu součástí vzhledem k ostatním součástem při její funkci. **Technologické základny** určují polohu obrobku při jeho ustavení na stroji nebo v přípravku vůči řezným nástrojům a současně zajišťují podmínky pro dodržení všech požadavků na jakost výrobku.

Technologické základny se rozdělují na **hrubé** (neobrobené plochy na něž se ustavuje a upíná obrobek při první operaci) a **čisté** (obrobené plochy určují funkční polohu součástí pro další operace).

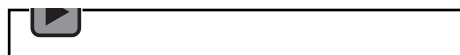
Další jejich rozdělení je na **hlavní** (měla by být zároveň konstrukční a kontrolní základnou k níž jsou vztaheny hlavní tolerované rozměry a tolerance vzájemné polohy) a **pomocné** základny (slouží jen jako usnadnění ustavení a upnutí, ale nejsou to funkční plochy).

**Kontrolní základny** slouží pro kontrolu dosažených parametrů rozměrové a tvarové přesnosti vyráběné součásti. **Montážní základny** určují polohu součástí k ostatním dílům či jejich plochám, osám nebo bodům ve smontovaném stavu.

Hlavní zásadou je, aby konstrukční základny byly zároveň základnami technologickými, kontrolními a popřípadě i montážními. Při obrábění se vychází zpravidla z jedné základny, aby byla zaručena přesnost obrobených ploch.



### Audio 1.2 Volba základen





## 1.2 SLED OPERACÍ

Operace by měly být řazeny v takovém sledu (pořadí), aby výrobní postup zajišťoval technické podmínky požadované konstruktérem ve výrobním výkrese. Při návrhu sledu operací je nutné přihlížet k tomu, aby předcházející operace upravovaly povrch součásti pro operace následující, a to tak, aby se součásti daly ve stroji rychle, bezpečně, přesně ustavit a upnout.

Obecně první operací je příprava materiálu, která zajišťuje přípravu polotovaru a hutního materiálu. Ve výrobních postupech tato příprava nebývá uvedena. Pro další sled operací platí pravidlo, že hrubovací operace se zařazují na počátek a operace, které dávají součásti konečný tvar, ovlivňují přesnost a jakost se zařazují až na konec výrobního postupu.

Je vhodné do postupu zařadit také kontrolní operace, které mají zajistit dodržení požadovaných rozměrových a kvalitativních parametrů v jednotlivých operacích technologického postupu. V technologickém postupu je nutné závěrem uvést, kam bude dílec po zhotovení předán (sklad, mezisklad, montáž, expedice atd.).

## 1.3 ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ TECHNOLOGICKÉHO POSTUPU

Vypracování technologických postupů je velmi různorodé a ani výrobní postupy na stejnou součást nejsou v různých dílnách téhož závodu shodné. Práce technologa se může usnadnit organizačními pomůckami a prostředky i využitím dřívějších zkušeností a zvyklostí v provozu. Obvykle napomáhá sestavení definovaných pravidel a pokynů, které budou následně v daném závodu využívány.

Při tvorbě technologického postupu se zpracovává velké množství informací. Neexistuje přesný návod pro jeho tvorbu, ovšem lze všeobecně postupovat podle níže uvedené metodiky:

- studium výrobních výkresů (zohlednit tvary, rozměry, tolerance, jakost povrchu, údaje v popisném poli, poznámky o tepelném zpracování, povrchové úpravě aj.);
- kontrola údajů o materiálu zadaných konstruktérem z hlediska navržené technologie (určení přísad, velikosti polotovaru, neopomenout přípravu materiálu ve skladu a v případě nutnosti předepsat materiálové zkoušky);
- určení výchozí základny, což je plocha, od které bude součást obráběna, nebo ke které jsou ostatní plochy a osy vztaheny;
- stanovení operací a optimálního sledu těchto operací;
- popis rozsahu operací (měl by být stručný, srozumitelný, jednoznačný a úplný, pokud je to požadováno, tak rozpis až na úseky, úkony a pohyby);
- stanovení pracoviště a stroje (podle číselníku se stanoví, na které dílně a stroji bude operace prováděna);
- kooperace (pokud se jedná o součást celku, kterou nejsme schopni vyrobit, tak je nutno zajistit její výrobu v jiném podniku);
- určení výrobních pomůcek (běžné i speciální);
- rozbor a zhodnocení jednotlivých variant výrobních postupů;
- konečný návrh výrobního postupu;
- hodnocení hospodárnosti zvoleného postupu.

Variety různého technologického zpracování mohou způsobit změny vlastních nákladů působením na přípravné práce, na speciální nástroje, nářadí, na výrobní proces použitím různých strojů, včetně změny pracovníků a jejich kvalifikace.



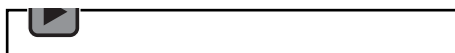
Uvedená metodika se využívá při tvoření výrobního postupu na dosud nevyráběnou součást. V případě, že jsou v závodu již vyráběny podobné součásti, tak využijeme již vytvořený typový nebo skupinový postup.

## 1.4 TECHNOLOGIČNOST KONSTRUKCE VÝROBKU

Technologičností konstrukce se nazývá stupeň shody konstrukce s optimálními výrobními podmínkami při jejím zhotovování v daném způsobu výroby. Pod tímto pojmem tedy rozumíme v rámci možností snadnou vyrobiteľnost a smontovatelnost dané součástky a montážního celku.



### Audio 1.3 Technologičnost konstrukce výrobku



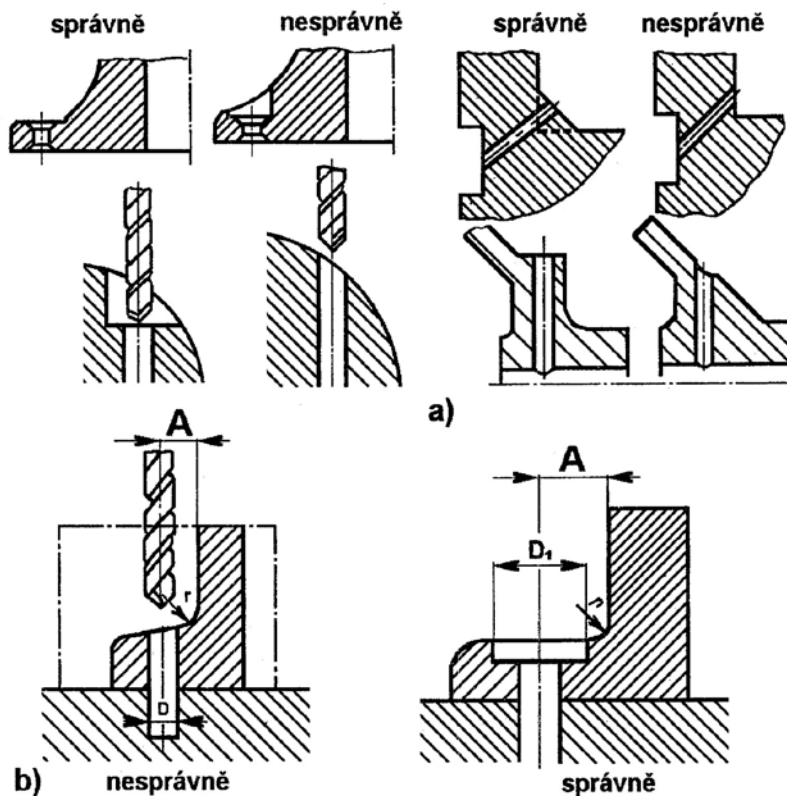
Konstruktor vychází při návrhu z funkčnosti a často volí nevhodné materiály, vysoké tolerance a jakost povrchu a složitý tvar součástí. S těmito požadavky se potom dostávají do sporu s technologem, jehož snahou je vyrobit součástku s minimálními náklady. Prakticky by měl konstruktor dodržovat tyto zásady:

- používat co nejvíce normalizovaných částí;
- zmenšovat počet a zjednodušovat tvar součástí;
- tvořit součásti s multifunkčními plochami;
- zvolit co nejméně obráběných ploch na součástce;
- upřednostňovat lépe obrobitelné materiály;
- zvyšovat využití materiálu;
- volit vhodné konstrukční základny, aby se daly použít i jako technologické;
- předepisovat vhodnou přesnost a drsnost povrchu;
- přizpůsobit tvar obráběných ploch tvaru nástrojů, kterými se bude obrábět;
- zohlednit požadavky jednoduché montáže apod.

Důležitá je také komunikace mezi technologem a konstruktérem. Každý technolog musí být také konstruktérem a opačně. Hlavní požadavky na konstrukci součásti z hlediska technologičnosti jsou následující:

- jednou z hlavních zásad pro zjednodušení obrábění je vytvoření pomocných ploch při obrábění tak, aby se začínalo i končilo na rovné ploše viz obr. 11.3 a);
- díry by měly být průchozí, bez zbytečných zápichů, drážek, osazení;
- díry pro spojovací materiál musí být v určité minimální vzdálenosti od stěny součásti viz obr. 11.3 b);
- délka závitové části díry nemá být větší než dvojnásobek průměru závitu;
- šroubové spoje by měly být snadno dostupné pro utahování a seřizování;
- přihlížet k unifikaci jednotlivých částí.

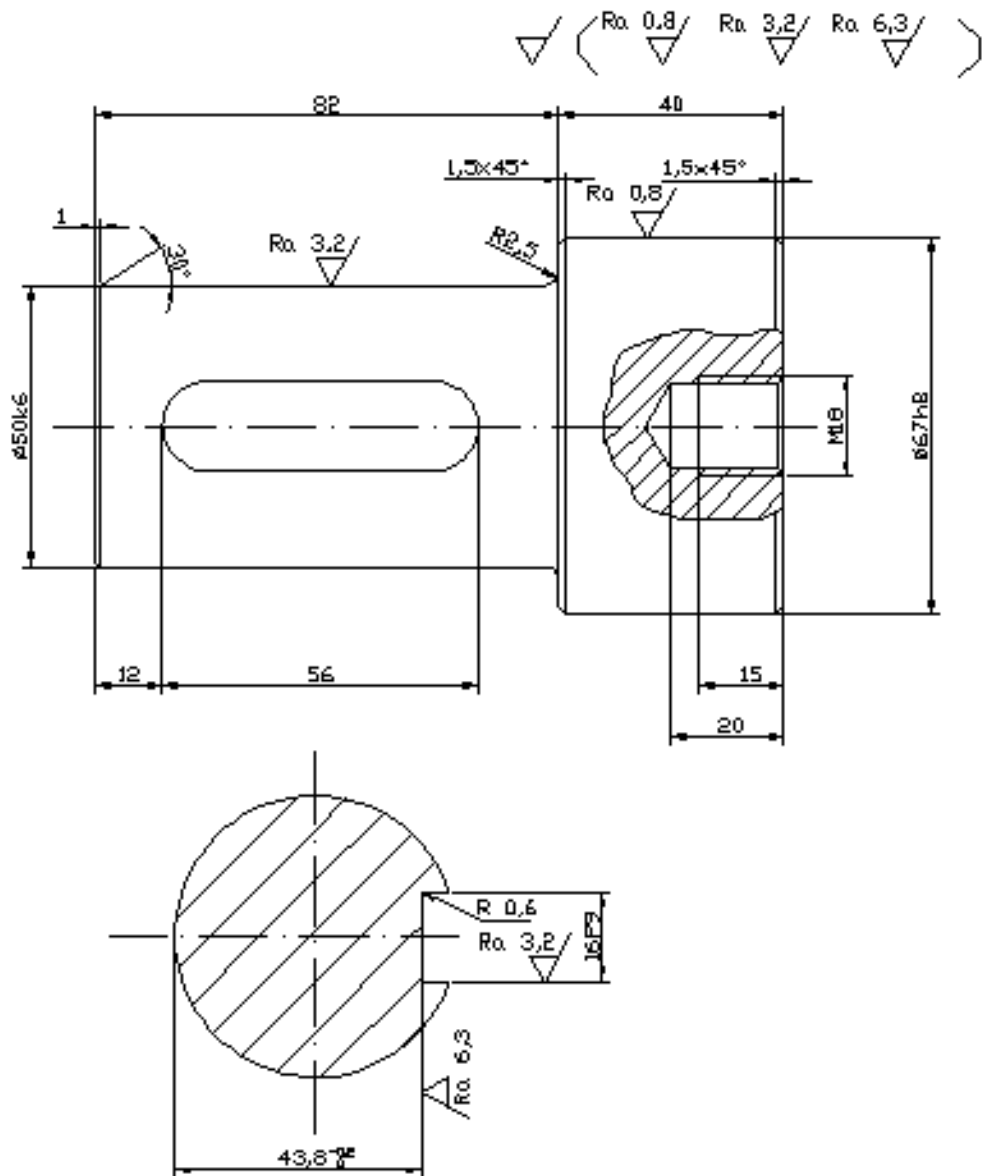




Obr. 11.3 Příklad technologičnosti konstrukce

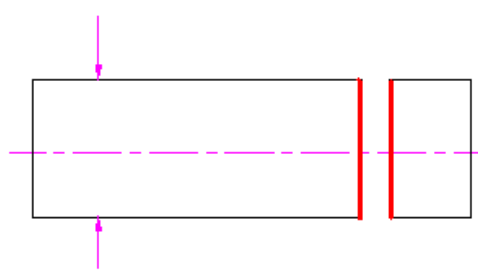
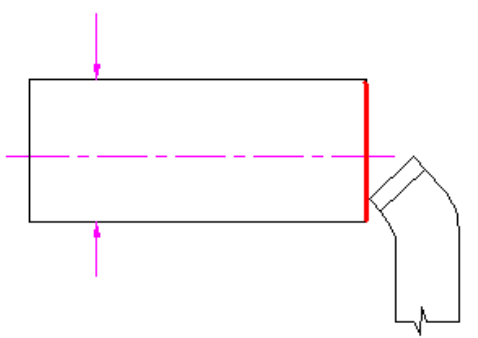
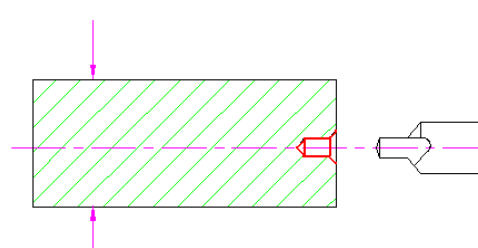
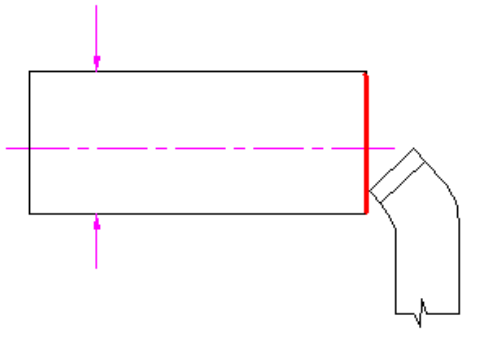
Řešený příklad (vzor technologického postupu):		
VŠB - TU OSTAVA	Technologický postup	Celkem listů : 8
Vypracoval : Pavel Panáček	Číslo výkresu : S-203-1	Patří do sestavy :
Datum: 4.1.2006		
Název součásti : Hřídel	Materiál : 11 500	Rozměr 1 kusu : $\phi 67 \times 122$
	Polotovár : tyč kruhová $\phi 75-126$ ČSN 425510	Počet kusů: 10

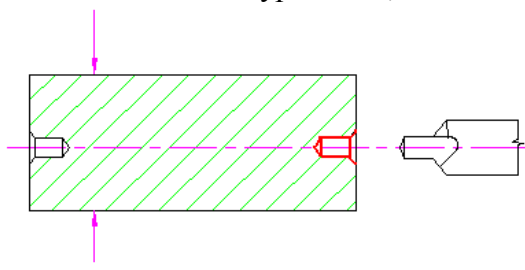
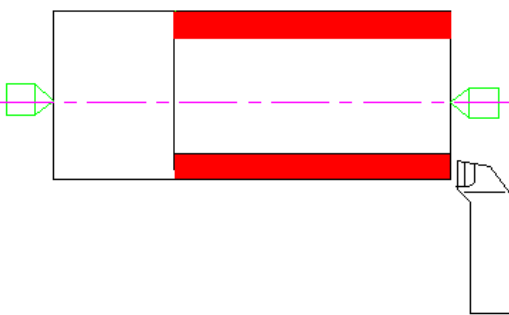
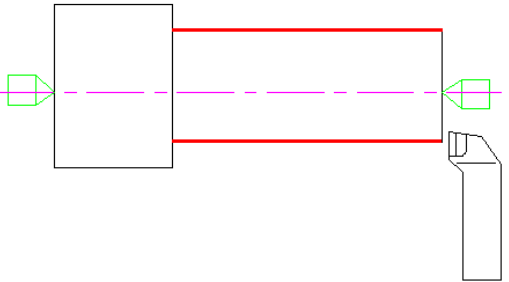
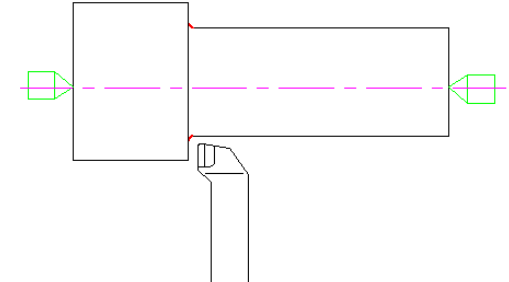
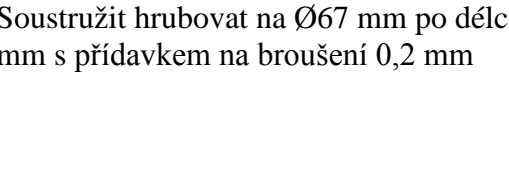


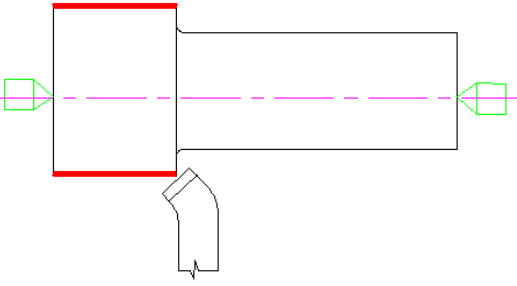
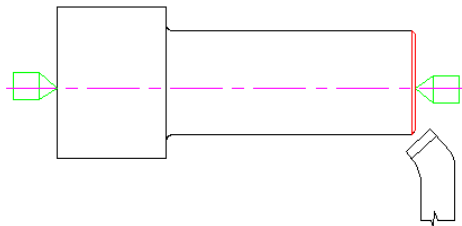
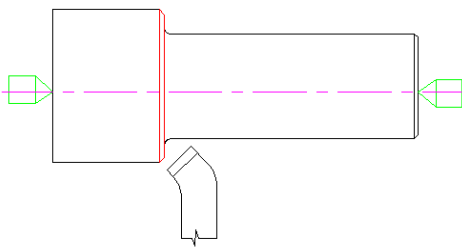
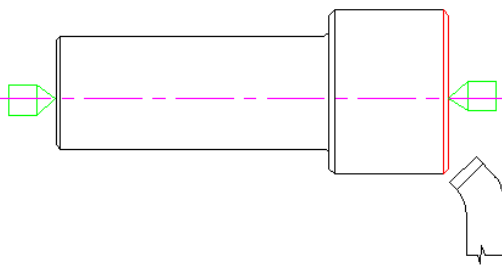
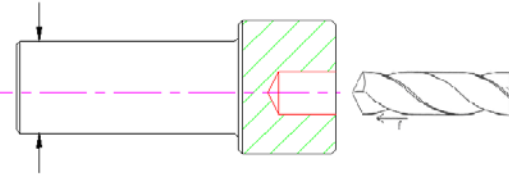
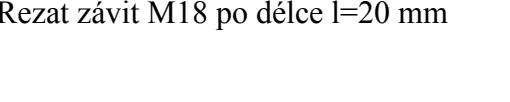


Číslo oper.	Pracoviště:	Popis práce:	Stroj, nástroj, měřidlo	Poznámka (v <sub>c</sub> , f, a <sub>p</sub> )
1	5961	Řezání	Pila F444/6A posuvné měřidlo	
2	4116	Soustružení	Soustruh SUI 32 posuvné měřidlo, závitový kalibr, mikrometr	
3	5150	Frézování	Frézka univerzální FA 5U posuvné měřidlo	
4	5522	Broušení	Hrotová bruska posuvné měřidlo, mikrometr	
5	9863	Kontrola rozměrů	Posuvné měřidlo s rozsahem 0-170 mm,	

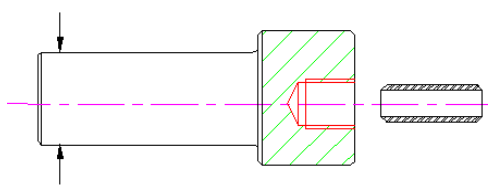
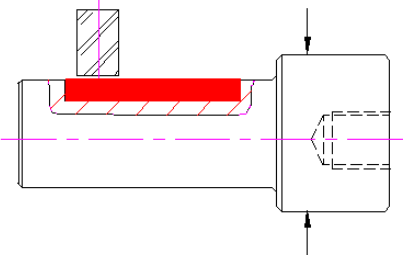
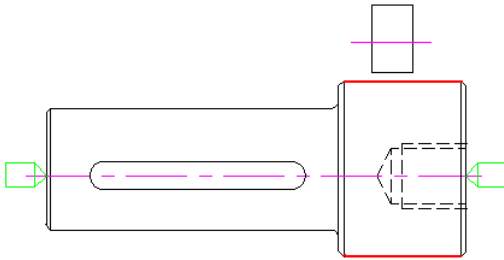


			rozlišovací schopnost 0,01; závit. kalibr, mikrometr, úchylkoměr	
6	9626	Konzervace	Konzervační tuk	
7	9913	Expedice	Ochranný obal	
1	5961	Řezat na délku $l=126\text{mm}$ 	Pila F444/6A pilový kotouč segmentový ČSN 22 29 42 posuvné měřidlo	$v_c=25 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ f - ruční
2.1	4116	Upnout obrobek do sklíčidla a zarovnat čelo na $l=124\text{mm}$ 	Soustruh SUI 32 ubírací nůž ohnutý pravý ČSN 22 3520	$v_c=65 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ f=0,35 mm
2.2	4116	Vrtat středící důlek typu A 4/8,5 	Soustruh SUI 32 středící vrták ČSN 22 1110 posuvné měřidlo	f=0,05 mm $v_c=5 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$
2.3	4116	Otočit obrobek a upnout do sklíčidla a zarovnat čelo na délku $l=122 \text{ mm}$ 	Soustruh SUI 32 ubírací nůž ohnutý pravý ČSN 22 3520	$v_c=65 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ f=0,35 mm

2.4	4116	Vrtat středící důlek typu A 4/8,5 	Soustruh SUI 32 středící vrták ČSN 22 1110 posuvné měřidlo	$f=0,1 \text{ mm}$ $v_c=5 \text{ m.min}^{-1}$
2.5	4116	Upnout mezi hroty a soustružit hrubovat na $\text{Ø}51 \text{ mm}$ po délce $l=82 \text{ mm}$ s ohledem na rádius $R=2,5 \text{ mm}$ 	Soustruh SUI 32 ubírací nůž stranový pravý ČSN 22 3818 P20 posuvné měřidlo	$v_c=65 \text{ m.min}^{-1}$ $f=0,35 \text{ mm}$ $a_p=2,5 \text{ mm}$
2.6	4116	Soustružit na čisto na $\text{Ø}50 \text{ k6}$ po délce $l=82 \text{ mm}$ s ohledem na rádius $R=2,5 \text{ mm}$ 	Soustruh SUI 32 ubírací nůž stranový pravý P20 $r_e=0,5 \text{ mm}$ ČSN 22 3818 mikrometr	$v_c=141 \text{ m.min}^{-1}$ $f=0,16 \text{ mm}$ $a_p=1 \text{ mm}$
2.7	4116	Soustružit rádius $R=2,5 \text{ mm}$ 	Soustruh SUI 32 nůž ubírací stranový pravý P 20 s poloměrem špičky $r=2,5 \text{ mm}$ ČSN 22 38 18	$v_c=68 \text{ m.min}^{-1}$ $f=0,05 \text{ mm}$
2.8	4116	Soustružit hrubovat na $\text{Ø}67 \text{ mm}$ po délce $l=40 \text{ mm}$ s přidavkem na broušení $0,2 \text{ mm}$ 	Soustruh SUI 32 ubírací nůž ohnutý pravý ČSN 22 3520 posuvné měřidlo	$v_c=82 \text{ m.min}^{-1}$ $f=0,5 \text{ mm}$ $a_p=1,5 \text{ mm}$

				
2.9	4116	Srazit hranu o délce $l=1\text{ mm}$ a úhlu $30^\circ$ 	Soustruh SUI 32 ubírací nůž ohnutý pravý ČSN 22 3520	$v_c=30\text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ $f=0,5\text{ mm}$ $a_p=1\text{ mm}$
2.10	4116	Srazit hranu $1,5 \times 45^\circ$ 	Soustruh SUI 32 ubírací nůž ohnutý pravý ČSN 22 3520	$v_c=30\text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ $f=0,5\text{ mm}$ $a_p=1\text{ mm}$
2.11	4116	Obrobek otočit a srazit hranu $1 \times 45^\circ$ 	Soustruh SUI 32 ubírací nůž ohnutý pravý ČSN 22 3520	$v_c=30\text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ $f=0,5\text{ mm}$ $a_p=1\text{ mm}$
2.12	4116	Přepnout do sklíčidla a vrtat díru $\varnothing 15,5$ na délce $l=20\text{ mm}$ 	Soustruh SUI 32 šroubovitý vrták s válcovou stopkou ČSN 22 1121 posuvné měřidlo	$v_c=20\text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ $f=0,14\text{ mm}$
2.13	4116	Řezat závit M18 po délce $l=20\text{ mm}$ 	Soustruh SUI 32 závitník s krátkou stopkou	$v_c=3\text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$



			ČSN 22 3012 závitový kalibr	
3.1	5150	Upnout obrobek na stůl. Frézovat drážku pro pero šířky 16 P9, délky 56 mm a hloubky 6,2  mm	Frézka univerzální FA 5U fréza pro drážky per s válcovou stopkou Ø 16mm, z=10 ČSN 22 21 92 posuvné měřidlo	$v_c=28 \text{ m.min}^{-1}$ $a_p=6,2 \text{ mm}$ $f_z=0,03 \text{ mm}$
4.1	5522	Brousit hřídel na Ø67 h8 	Hrotová bruska A99 60 N 8 V ČSN 22 45 50 mikrometr	$v_c=30 \text{ m.min}^{-1}$ $a_p=0,2 \text{ mm}$ $v_o=10 \text{ m.min}^{-1}$
5	9863	Kontrola všech rozměrů dle výkresu zkontrolovat všechny rozměry dle výrobního výkresu součásti neopravitelné zmetky vyřadit, opravitelné vrátit	Posuvné měřidlo s rozsahem 0-170 mm, rozlišovací schopnost 0,01; závitový kalibr, mikrometr	
6	9626	Konzervace - celý hřídel konzervovat tukem	Konzervační tuk	
7	9913	Expedice - výrobek zabalit do ochranného obalu a předat k expedici	Ochranný obal	





## 2 KONTROLNÍ OTÁZKY

- Jak členíme výrobní postup?
- Co by měl obsahovat výrobní postup?
- Co je to operace?
- Co je to úsek?
- Co je to úkon a pohyb?
- Jaké známe druhy výroby?
- Popište vliv druhů výroby na výrobní postup.
- Jaké známe základny?
- K čemu slouží základny?
- Jaký by měl být sled operací ve výrobním postupu?
- Jaké jsou zásady pro tvorbu výrobního postupu?
- Co je to technologičnost konstrukce??
- Uveďte příklad správné a nesprávné technologičnosti konstrukce.



### **3 PŘEDNÁŠKOVÝ TEXT SE VZTAHUJE K TĚMTO OTÁZKÁM.**

- 24. Výrobní proces a výrobní postup – technologičnost konstrukce
- 25. Zásady při navrhování výrobních postupů



## 4 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] BILÍK, O. *Obrábění I. (2.Díl): Fyzikálně mechanické záležitosti procesu obrábění*. Ostrava: Vysoká škola báňská –TU Ostrava, 2002. 80 s. ISBN 80-248-0033-0.
- [2] BILÍK, O. *Obrábění II. (1.Díl): Fyzikálně mechanické záležitosti procesu obrábění*. Ostrava: Vysoká škola báňská –TU Ostrava, 1994. 132 s. ISBN 80-7078-228-5.
- [3] BILÍK, O. *Obrábění II. (2.Díl)*. Ostrava: Vysoká škola báňská –TU Ostrava, 2001. 118 s. ISBN 80-7078-994-1.
- [4] BRYCHTA, J. *Obrábění I. Návody pro cvičení 1. část*. Ostrava: Vysoká škola báňská - TU Ostrava, 1998. 84 s. ISBN 80-7078-436-9.
- [5] BRYCHTA, J. *Obrábění I. Návody pro cvičení 2. část*. Ostrava: Vysoká škola báňská - TU Ostrava, 1998. 120 s. ISBN 80-7078-470-9.
- [6] BRYCHTA, J. *Výrobní stroje obráběcí*. Ostrava: Vysoká škola báňská - TU Ostrava, 2003. 150 s. ISBN 80-248-0237-6.
- [7] HOFMAN, P. *Technologie montáže*. Plzeň: Vydavatelství Západočeské univerzity Plzeň, 1997. 90 s. ISBN 80-7082-382-8.
- [8] KOČMAN, K. *Speciální technologie obrábění*. Brno: PC-DIR Real, s.r.o., 1993. 213 s. ISBN 80-214-1187-2.
- [9] KOČMAN, K., PROKOP, K. *Technologie obrábění*. Brno: Akademické nakladatelství CERN Brno, s.r.o., 2001. 274 s. ISBN 80-214-196-2.
- [10] KRÍŽ, R., VÁVRA, P. a kol. *Strojírenská příručka*. Praha: Scientia, spol. s r. o., 1996. 220 s. ISBN 80-7183-024-0.
- [11] TICHÁ, Š. *Strojírenská metrologie část 1*. Ostrava: Vysoká škola báňská –TU Ostrava, 2004. 112 s. ISBN 80-248-0672-X.
- [12] VIGNER, M., PŘIKRYL, Z. a kol. *Obrábění*. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, n. p., 1984. 808 s.
- [13] VLACH, B. a kol. *Technologie obrábění a montáží*. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, n. p., 1990. 472 s. ISBN 80-03-00143-9.
- [14] HAVRILA, M., ZAJAC, J., BRYCHTA, J., JURKO, J. *Top trendy v obrábění 1. část – Obráběné materiály*. Žilina: MEDIA/ST, s. r. o., 2006. ISBN 80-968954-2-7.
- [15] JURKO, J., ZAJAC, J., ČEP, R., *Top trendy v obrábění 2. část – Nástrojové materiály*. Žilina: MEDIA/ST, s. r. o., 2006. ISBN 80-968954-2-7.
- [16] VASILKO, K., HAVRILA, M., NOVÁK – MARCINČIN, J., MÁDL, J., ZAJAC, J. *Top trendy v obrábění 3. část – Technologია obrábění*. Žilina: MEDIA/ST, s. r. o., 2006. ISBN 80-968954-2-7.
- [17] MONKA, P., PAULIKOVÁ, A. *Top trendy v obrábění 4. část – Upínanie, prípravky a meradlá*. Žilina: MEDIA/ST, s. r. o., 2007. ISBN 80-968954-2-7.
- [18] PŘIKRYL, Z., MUSÍLKOVÁ, R. *Teorie obrábění*. Praha : SNTL – Nakladatelství technické literatury, n. p., 1971. 200 s.
- [19] HUMÁR, A. *TECHNOLOGIE I TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ – 1. část*. Studijní opory pro magisterskou formu studia "Strojírenská technologie". Brno: VUT Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2003. 138 s. Dostupné na World Wide Web: <[http://www.fme.vutbr.cz/opory/pdf/TI\\_TO-1cast.pdf](http://www.fme.vutbr.cz/opory/pdf/TI_TO-1cast.pdf)>.
- [20] HUMÁR, A. *TECHNOLOGIE I TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ – 2. část*. Studijní opory pro magisterskou formu studia "Strojírenská technologie". Brno: VUT Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2004. 94 s. Dostupné na World Wide Web: <[http://www.fme.vutbr.cz/opory/pdf/TI\\_TO-2cast.pdf](http://www.fme.vutbr.cz/opory/pdf/TI_TO-2cast.pdf)>.



- [21] HUMÁR, A. *TECHNOLOGIE I TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ – 3. část*. Interaktivní multimediální text pro bakalářský a magisterský studijní program "Strojírenství". Brno: VUT Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2005. 57 s. Dostupné na World Wide Web: <[http://www.fme.vutbr.cz/opory/pdf/TI\\_TO-3cast.pdf](http://www.fme.vutbr.cz/opory/pdf/TI_TO-3cast.pdf)>.
- [22] HUMÁR, A. *Výrobní technologie II* [online]. Studijní opory pro podporu samostudia v oboru "Strojírenská technologie" BS studijního programu "Strojírenství". VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2002. 84 s. Dostupné na World Wide Web: <[http://www.fme.vutbr.cz/opory/pdf/VyrobniTecnologie\\_II.pdf](http://www.fme.vutbr.cz/opory/pdf/VyrobniTecnologie_II.pdf)>.
- [23] AB SANDVIK COROMANT - SANDIK CZ s.r.o. *Příručka obrábění - Kniha pro praxe*. Přel. M. Kudela. 1. vyd. Praha: Scientia, s. r. o., 1997. 857 s. Přel. z: *Modern Metal Cutting - A Practical Handbook*. ISBN 91-97 22 99-4-6.
- [24] STEPHENSON, D. A., AGAPIOU, J. S. *Metal Cutting Theory and Practice*. New York: Marcel Dekker, Inc., 1996. 905 s. ISBN 0-8247-9579-2.
- [25] VASILKO, K., NOVÁK – MARCINČIN, J., HAVRILA, M. *Výrobné inžinierstvo*. Prešov: Technická univerzita v Košiciach, Fakulta výrobných technológií so sídlom v Prešove, 2003. 424 s. ISBN 80-7099-995-0.
- [26] PILC, J., STANČEKOVÁ, D. *Základy stavby obrábacích strojov*. Žilina: Žilinská univerzita v Žilině, 2004. 110 s. ISBN 80-8070-281-0.
- [27] VASILKO, K., HRUBÝ, J., LIPTÁK, J. *Technológia obrábania a montáže*. Bratislava: Alfa, š. p., 1991. 494 s. ISBN 80-05-00807-4.



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

**VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA  
FAKULTA STROJNÍ**



**TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ V  
PŘÍKLADECH**

---

**3 Montáž**

doc. Ing. Robert ČEP, Ph.D.  
Ing. et Ing. Mgr. Jana PETRŮ, Ph.D.

**Ostrava 2013**

© doc. Ing. Robert ČEP, Ph.D., Ing. et Ing. Mgr. Jana PETRŮ, Ph.D.

© Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

ISBN 978-80-248-3014-8



Tento studijní materiál vznikl za finanční podpory Evropského sociálního fondu (ESF) a rozpočtu České republiky v rámci řešení projektu: CZ.1.07/2.2.00/15.0463, MODERNIZACE VÝUKOVÝCH MATERIÁLŮ A DIDAKTICKÝCH METOD

## OBSAH

<b>1.</b>	<b>MONTÁŽ</b> .....	<b>3</b>
1.1	Montáž .....	4
1.1	Členění montážního procesu .....	4
1.2	Druhy montáže .....	5
1.3	Analýza rozměrových řetězců.....	8
1.4	Metody montáže .....	11
1.4.1	Metoda úplné vyměnitelnosti součástí .....	11
1.4.2	Metoda částečné vyměnitelnosti součástí .....	12
1.4.3	Metoda výběrová (selektivní) .....	12
1.4.4	Metoda kompenzační (pevný člen).....	12
1.4.5	Metoda regulační (pohyblivý člen).....	13
1.4.6	Metoda lícování.....	13
1.5	Přesnost výroby a její vliv na náklady montáže.....	13
<b>2</b>	<b>KONTROLNÍ OTÁZKY</b> .....	<b>15</b>
<b>3</b>	<b>PŘEDNÁŠKOVÝ TEXT SE VZTAHUJE K TĚMTO OTÁZKÁM.</b> .....	<b>16</b>
<b>4</b>	<b>POUŽITÁ LITERATURA</b> .....	<b>17</b>



# 1. MONTÁŽ



## OBSAH KAPITOLY:

Rozdělení montáží  
Členění montážního procesu  
Druhy montáže  
Analýza rozměrových řetězců  
Metody montáže



## MOTIVACE:

Charakteristickým znakem montážních procesů je spojování dvou či více součástí do montážních celků. Pro spojování jsou obvykle využívány takové technologie, které zabezpečují přímé spojení bez přídavných součástí nebo materiálů. Montáží se nazývá soubor činností lidí, strojů a zařízení, jejichž vykonáváním ve stanoveném pořadí a čase vznikne z jednotlivých součástí a montážních celků hotový výrobek. Montáž je obvykle závěrečnou fází výrobního procesu ve strojírenské výrobě.



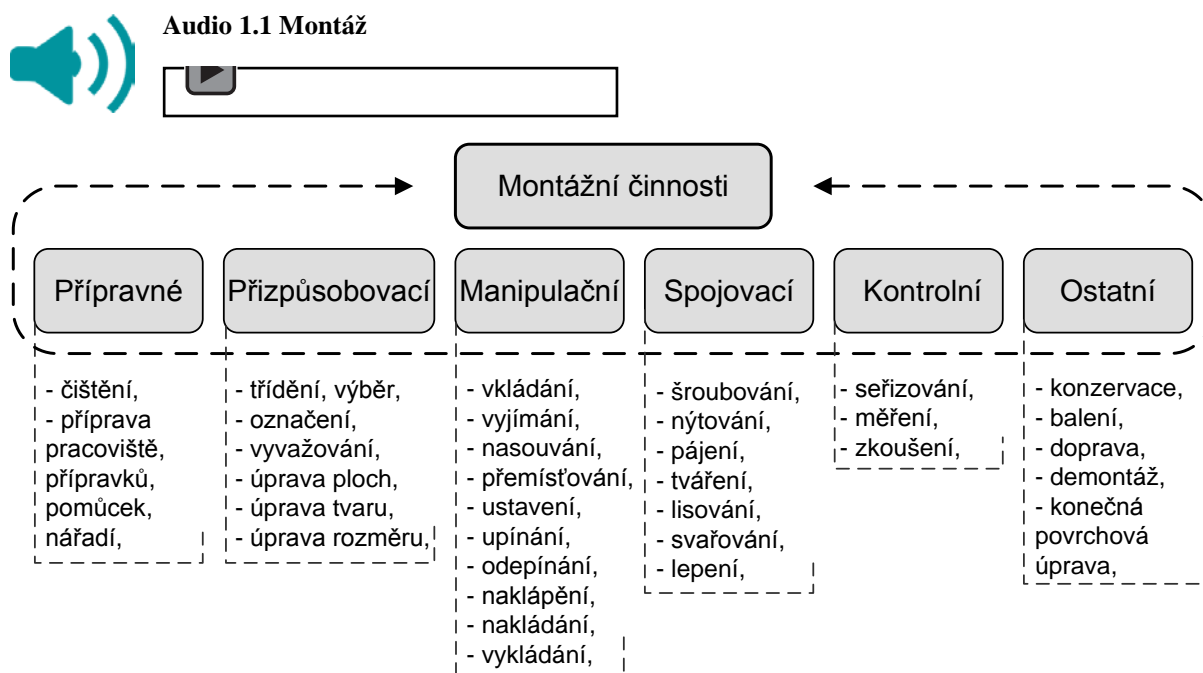
## 1.1 MONTÁŽ

Základní strukturální jednotkou montážního procesu je **montážní operace**. Tuto operaci lze definovat jako ukončenou část montážního procesu, která je realizovaná při montáži celku nebo výrobku jedním, nebo skupinou dělníků na jednom pracovišti, bez přestavení montážního zařízení. Je to operace bezesporu velmi pracná a nákladná. V praxi často zabírá až 50 % nákladů.

Podobně jako u technologického postupu výroby je nutno věnovat zvýšenou pozornost také požadavkům technologie montáže. Pod pojmem **technologičnost konstrukce výrobku z hlediska montáže** je zahrnuta taková úprava rozměrů, tvarů, materiálů a dalších parametrů, která vytváří nejnížší pracnost montáže a zhotovení výrobku při zachování, případně zlepšení stávajících jeho funkcí v rámci daných možností výroby.

Konstruktor z pohledu montáže usiluje o minimální počet součástí tvořící celek a stavebnicové uspořádání výrobků. Vhodně zvolená konstrukce součástí umožňuje zjednodušit montážní proces, eliminovat ruční pracoviště a uplatnit mechanizaci a automatizaci. S trendem zvyšujícím se stupněm automatizace montáže se zvyšují i požadavky na technologičnost konstrukce výrobků a přesnost jejich provedení. Montážní náklady mohou v důsledku nevhodné konstrukce součástí výrazně navýšit výrobní náklady.

Při montáži strojírenských výrobků se provádí řada **montážních činností**, které lze rozdělit do těchto šesti základních skupin podrobněji uvedených na obr. 12.1.



Obr. 12.1 Rozdělení montážních činností

Vzájemný podíl jednotlivých montážních činností se liší v závislosti na realizovaném druhu výroby. V kusové až malosériové výrobě jsou rozhodující zejména přípravné činnosti a z vlastní montáže má podstatný význam kontrola a seřizování. Tyto činnosti tvoří v souhrnu asi 80 % pracnosti montáže. V sériové a hromadné výrobě se zvyšuje podíl montážních činností spojování a manipulace.

## 1.1 ČLENĚNÍ MONTÁŽNÍHO PROCESU

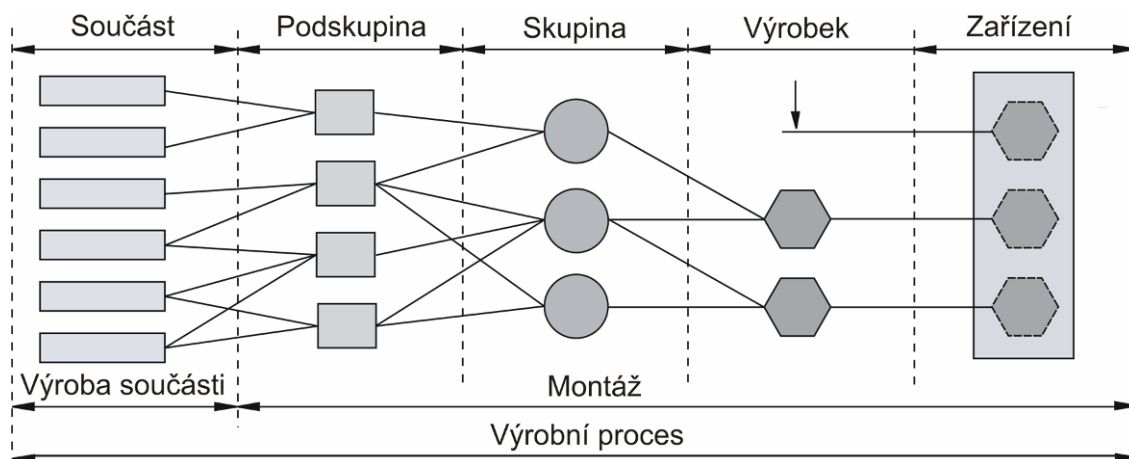
Z hlediska montáže se každý složitější strojírenský výrobek člení do tzv. **montážních prvků**, to jsou skupiny a části strojů, které mohou být montovány odděleně a nezávisle na ostatních





částech výrobku. Členění výrobků na menší celky je obvykle ve shodě s jeho konstrukční dokumentací.

Základní členění výrobku z hlediska jednotlivých fází výrobního procesu je znázorněno na obr. 12.2. Schéma vyjadřuje rozdělení montážní operace do jednotlivých montážních prvků. V případě složitějších součástí se sestavuje technologické schéma montáže, které názorně vyjadřuje posloupnost montáže jednotlivých součástí do podskupin a skupin, až v konečný výrobek či zařízení.



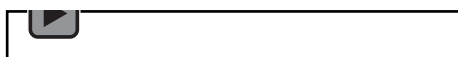
Obr. 12.2 Schéma členění výrobku z hlediska jednotlivých fází výrobního procesu

K základním prvkům montážního procesu patří:

- součást – je nerozebíratelný prvek (prvotní článek montáže), část výrobku, která je obvykle vyrobena z jednoho kusu materiálu;
- podskupina (díl) – představuje jednotku vzniklou spojením dvou či více součástí, přičemž nezáleží na způsobu spojení, podskupiny mohou být vícero řádů, například podskupiny I. řádu jsou přímo montované do skupin, podskupiny II. řádu jsou montované do podskupin I. řádu apod.;
- skupina – nejvyšší montážní prvek, vzniká spojením jedné nebo několika podskupin a dalších součástí;
- výrobek – většinou je to konečný hmotný produkt montáže určený pro trh, který je funkčně a konstrukčně uzavřený, vytvořený ze součástí, podskupin a skupin, spojených rozebíratelným či nerozebíratelným způsobem;
- zařízení – tvoří soubor strojírenských výrobků, které mají plnit dané provozní a technologické úkoly.



#### Audio 1.2 Prvky montážního procesu



## 1.2 DRUHY MONTÁŽE

Způsob a organizace montáže závisí především na typu a rozsahu výroby, na pracnosti montáže, na způsobech dodávek apod. Rozlišujeme dvě základní formy montáže:

- interní;
- externí.

Interní montáž se provádí v rámci daného výrobního závodu a výrobek opouští výrobní proces obvykle ve stavu způsobilém k přímému použití (např. automobily, spotřební zboží).



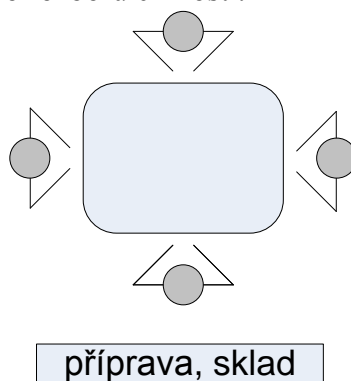
Naopak externí montáž je realizována mimo výrobní závod, při níž se v předepsaném sledu montují jednotlivé části zařízení, které byly předem interně smontovány ve výrobních závodech (např. montáž značně rozměrných a objemných strojů a zařízení, mostů a konstrukcí, vzduchotechniky, potrubí, armatur). Zpravidla se jedná o stacionární montáž.

Podle pohybu součástí při montáži, stupně členitosti a charakteristických zvláštností montovaného výrobku rozeznáváme dvě organizační formy interní montáže:

- nepohyblivou neboli stacionární montáž (předpokládá soustředění montážních prací na stálém pracovišti):
  - *soustředěná*;
  - *rozčleněná*;
  - *proudová*;
- pohyblivou neboli nestacionární montáž (probíhá současně v několika montážních operacích nebo ve skupinách pracujících dělníky):
  - *předmětná*;
  - *linková*.

Stacionární montáž je typická pro kusovou a malosériovou výrobu. Nestacionární montáž je vhodné zavést pro malosériovou, velkosériovou a hromadnou výrobu, kde přecházení montážních pracovníků kolem výrobku je minimální.

**Soustředěná montáž** se provádí spojováním jednotlivých součástí na jednom stacionárním pracovišti a vykonává ji obvykle jedna skupina pracovníků (viz obr. 12.3). Využívána je při montáži těžkých či rozměrných součástí, které jsou montovány podle rámcových montážních postupů bez podrobného časového rozboru činností.



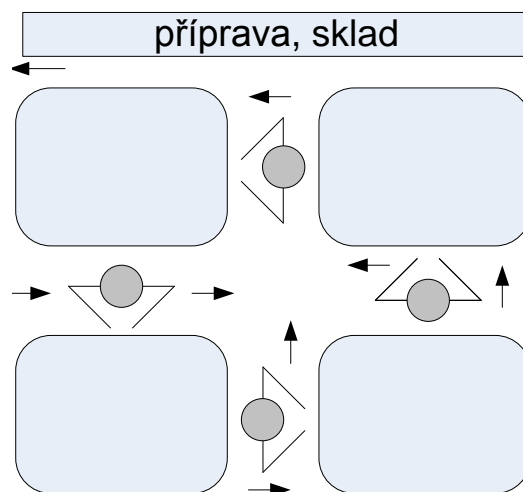
Obr. 12.3 Schéma soustředěné montáže

Mezi nevýhody soustředěné montáže patří vysoké nároky na kvalifikaci pracovníků, montážní plochy, dlouhá průběžná doba montáže, nepravidelný průběh montáže, přibližně stanovené normy času apod.

**Rozčleněná montáž** postupuje podle principu dělení operací. Výrobek se montuje na několika stacionárních montážních pracovištích současně (viz obr. 12.4). Předpokladem tohoto typu interní montáže je možnost rozčlenění výrobku na jednotlivé díly, podsestavy a sestavy v souladu s montážním schématem a přihlédnutím k objemu práce v dané montážní operaci. Časová norma je zpracována pro celé montážní celky.

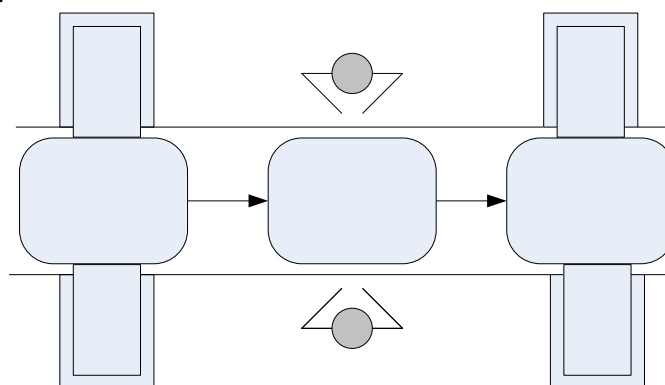
Výhodou uplatnění rozčleněné montáže je uskutečnitelnost souběžné předmontáže jednotlivých celků, např. montuje-li se více výrobku (např. obráběcích strojů) v jedné montážní hale, skupiny montážních pracovníků postupně přecházejí od jednoho celku ke druhému a montáž probíhá v jednotlivých fázích. Celková montáž pak představuje spojení dílů, podsestav a sestav v hotový výrobek. Využívá se pro malosériovou výrobu.





Obr. 12.4 Schéma rozčleněné montáže

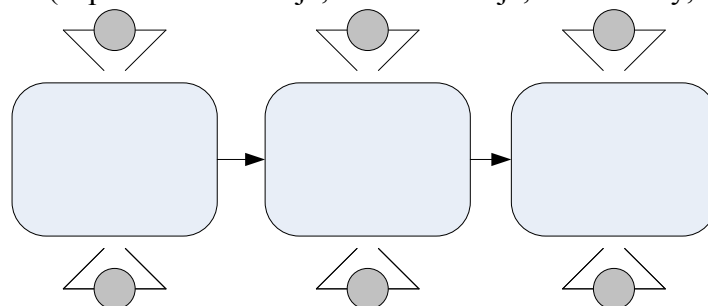
**Proudová montáž** probíhá na stacionárních montážních pracovištích, kde specializované skupiny pracovníků provádí určitou část montáže. Schéma proudové montáže je znázorněno na obr. 12.5. Montážní práce jsou rozčleněny až na operace nebo úkony. Tento typ montáže je právě díky pevnému synchronizovanému taktu dopravy součástí vhodný k automatizaci montážního procesu.



Obr. 12.5 Schéma proudové montáže

Výhodou této organizace montáže je synchronizace jednotlivých pracovišť z hlediska objemu montážních činností. Proudová montáž se uplatňuje při hromadném typu výroby např. při výrobě valivých ložisek, měřidel, motorů, převodovek, elektrických spínačů apod.

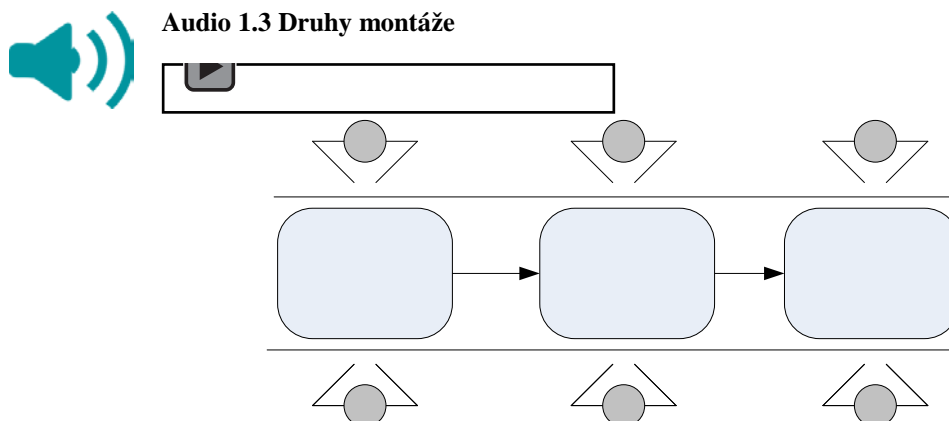
**Předmětná montáž** se vyznačuje volným pohybem montovaného předmětu, který prochází jednotlivými pracovišti (viz obr. 12.6). Pracovníci vykonávají jen určitou opakující se operaci s volným taktům přesouvání součástí mezi stacionárními pracovišti. Pracoviště montérů jsou pro montáž vždy příslušně vybavena. Typ montáže je určen pro malosériovou až velkosériovou výrobu (např. obráběcí stroje, stavební stroje, lokomotivy, elektrické motory).



Obr. 12.6 Schéma předmětné montáže



**Linková montáž** je charakteristická nuceným pohybem montovaného předmětu, který je dán taktem montážní linky, přičemž je nutno dodržet sled operací. Někdy je nazývána také jako plynulá montáž (viz obr. 12.7). Montáž organizovaná v lince je dle způsobu odběru výrobku uskutečňována jako synchronizovaná či nesynchronizovaná.



Obr. 12.7 Schéma linkové montáže

Pohyblivá montáž může být s periodickým taktem s nepřetržitým pohybem. Taktem montáže nazýváme časový interval mezi smontováním dvou hotových výrobků. Tento takt se reguluje rychlostí pohybu dopravníku a zachovává pomocí zvukové a světelné signalizace.

Montážní takt  $T_m$  v minutách lze vypočítat podle vzorce

$$T_m = \frac{60F_{sk}}{N}, \text{ kde} \quad (12.1)$$

$F_{sk}$  je skutečný hodinový časový fond montáže,

$N$  je roční produkce smontovaných výrobků v kusech.

### 1.3 ANALÝZA ROZMĚROVÝCH ŘETĚZCŮ

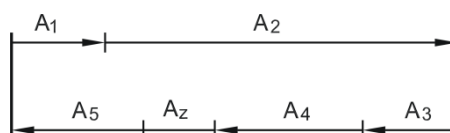
Součásti vstupující do procesu montáže jsou vyrobeny s různou přesností. Při montáži součástí je nutno zajistit jejich vzájemné uspořádání v mezích předepsané přesnosti. Spojení určitých ploch musí zajistit předepsanou vůli, spojení jiných potřebný přesah. Správnou velikost úchylek rozměrů součástí v závislosti na požadované přesnosti spojení či mechanismu lze určit podle tzv. rozměrových řetězců.

**Rozměrový řetězec** je uzavřený řetězec vzájemně vázaných rozměrů, které jsou v určité posloupnosti, rozhodující pro vzájemnou polohu ploch či os jedné nebo více součástí. Rozměry jednotlivých součástí jsou členy rozměrového řetězce, tj. rozměry, kdy součet všech členů rozměrového řetězce dává buď celkový požadovaný rozměr, nebo se liší od žádaného celkového rozměru přesahem, případně vůlí.



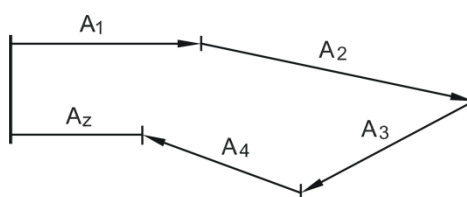
Rozměrové řetězce z hlediska vzájemné polohy, směru a velikosti členů mohou být následujících typů:

- lineární řetězec (všechny členy řetězce jsou rovnoběžné, jak je schématicky znázorněno na obr. 12.8);



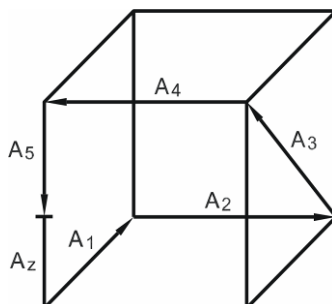
Obr. 12.8 Schéma lineárního řetězce rozměrů

- rovinný řetězec (má některé nebo všechny členy řetězce v rovnoběžných směrech, ale v jedné nebo více rovnoběžných rovinách viz obr. 12.9);



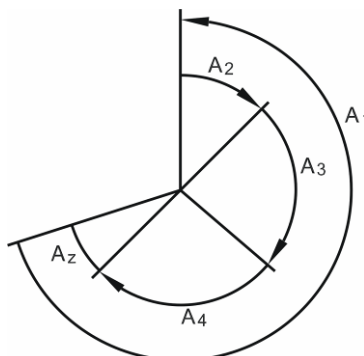
Obr. 12.9 Schéma rovinného řetězce rozměrů

- prostorový řetězec (má několik nebo všechny členy řetězce v různoběžných směrech a v různoběžných rovinách viz obr. 12.10);



Obr. 12.10 Schéma prostorového řetězce rozměrů

- úhlový (má všechny členy řetězce v úhlové míře a se společným vrcholem viz obr. 12.11). Může být rovinného nebo prostorového typu.

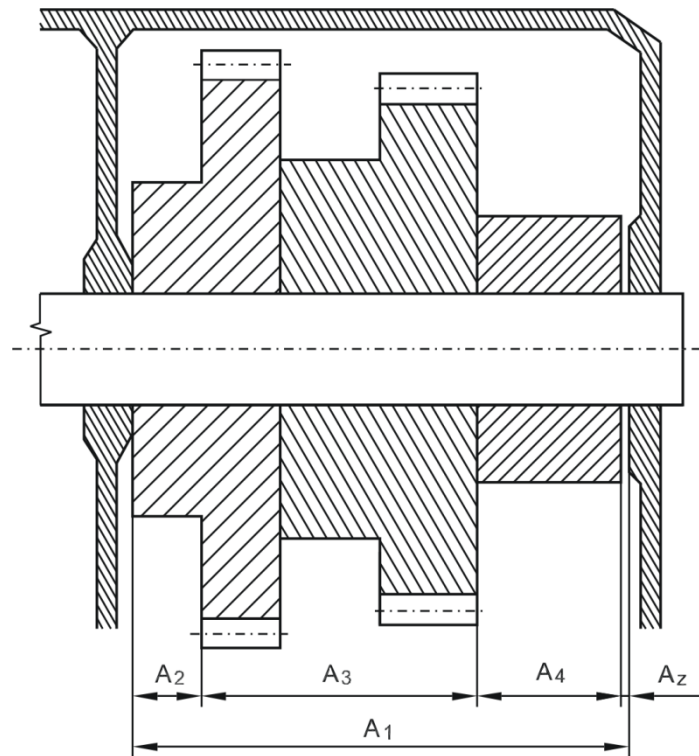


Obr. 12.11 Schéma úhlového řetězce rozměrů

Členy rozměrového řetězce můžeme rozdělit na výchozí, uzavírací a spojovací. V případě výchozích a uzavíracích členů je přesnost rozměrů určena úchylkami od přesnosti všech ostatních členů rozměrového řetězce. Jestliže tímto členem řetězec začíná, nazývá se výchozí, jestliže jím končí, pak je to člen uzavírací. Uzavírací člen je zakreslen na obr. 12.12 pod označení  $A_z$ .

Naopak spojovací členy jsou všechny ostatní členy řetězce kromě členu výchozího nebo uzavíracího, jejichž přesnost rozměrů má vliv na změnu přesnosti rozměrů uzavíracího členu. Spojovací členy mohou zvětšovat nebo zmenšovat celkový rozměr, přičemž zvětšující člen je člen, při jehož zvětšení se zvětší závěrný člen, zmenšující člen je člen, při jehož zvětšení se zmenší závěrný člen.





Obr. 12.12 Lineární rozměrový řetězec

Cílem řešení rozměrového řetězce je stanovit mezní rozměry nebo mezní úchytky od jmenovitých hodnot dílčích rozměrů podle výrobních nebo konstrukčních požadavků, příp. změnit tolerance tak, aby bylo vyhověno požadavkům technické a montážní dokumentace.

Pro výpočet jmenovité hodnoty závěrného členu  $A_z$  lineárního řetězce obecně platí:

$$A_z = \sum_{i=1}^n \bar{A}_i - \sum_{j=n+1}^{m-1} \bar{A}_j, \text{ kde} \quad (12.2)$$

$\sum_{i=1}^n \bar{A}_i$  je součet jmenovitých rozměrů všech  $n$  zvětšujících členů a  $\sum_{j=n+1}^{m-1} \bar{A}_j$  je součtem všech  $(m-n-1)$  zmenšujících členů řetězce. Celkový počet členů řetězce včetně závěrného je označen  $m$ .

Dosazením skutečných rozměrů do rovnice (12.2), tj. rozměrů zjištěných při měření za jmenovité hodnoty, mohou nastat dva mezní případy, při kterých:

- maximální hodnotu závěrného členu lze vypočítat dosazením maximálních rozměrů všech zvětšujících členů a minimálních rozměrů všech zmenšujících členů:

$$A_{z_{max}} = \sum_{i=1}^n \bar{A}_{i_{max}} - \sum_{j=n+1}^{m-1} \bar{A}_{j_{min}} \quad (12.3)$$

- minimální hodnotu závěrného členu lze vypočítat dosazením minimálních rozměrů všech zvětšujících členů a maximálních rozměrů všech zmenšujících členů:

$$A_{z_{min}} = \sum_{i=1}^n \bar{A}_{i_{min}} - \sum_{j=n+1}^{m-1} \bar{A}_{j_{max}} \quad (12.4)$$

Pro lineární obvody platí, že tolerance závěrného členu  $T_{AZ}$  je dána rozdílem maximální  $A_{z_{max}}$  a minimální  $A_{z_{min}}$  hodnoty závěrného členu a rovná se součtu tolerancí všech členů řetězce:



$$T_{AZ} = A_{Z_{max}} - A_{Z_{min}}, \quad (12.5)$$

a po úpravě:

$$T_{AZ} = \sum_{i=1}^n T_{\bar{A}_i} - \sum_{j=n+1}^{m-1} T_{\bar{A}_j} = \sum_{k=1}^{m-1} T_{A_k}, \text{ kde} \quad (12.6)$$

z výše uvedené rovnice je zřejmé, že pro lineární řetězce se tolerance závěrečného členu rovná součtu tolerancí všech jeho členů.

Z rovnice (12.6) dále vyplývá, že se zvětšujícím se počtem členů v rozměrovém řetězci roste počet sčítanců  $T_{A_i}$ , což má za následek buď zmenšování tolerance jednotlivých členů řetězce tak, aby tolerance závěrečného členu zůstala konstantní, nebo při zachování hodnot tolerancí jednotlivých členů ke zvětšování tolerance závěrečného členu.

Z popsané analýzy rozměrových obvodů plyne **pravidlo nejkratší řady**. Dílčí úlohy řešení přesnosti vzájemné polohy ploch a os jednotlivých součástí je nutno stejně jako při obrábění dílce řešit aplikací rozměrových řetězců s minimálním počtem členů.

## 1.4 METODY MONTÁŽE

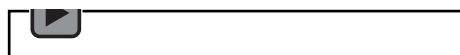
Předepsanou přesnost při montáži součástí lze zajistit níže popsanými způsoby montáže. Volba metody řešení rozměrových řetězců je určena konstrukčními zvláštnostmi součástí a druhem výroby.

Metody montáže, jsou následující:

- úplná vyměnitelnost součástí;
- částečná vyměnitelnost součástí;
- výběr (selekce) součástí;
- kompenzační (pevný člen);
- regulační (pohyblivý člen);
- lícování (úprava).



Audio 1.5 Metody montáže



### 1.4.1 Metoda úplné vyměnitelnosti součástí

Tato metoda umožňuje montáž všech součástí, které tvoří jednotlivé členy rozměrového řetězce, zhotovených v předepsaných rozměrech a tolerancích, bez předchozího výběru či přizpůsobení a plně zabezpečuje přesnost závěrečného členu. Montáž na základě úplné vyměnitelnosti součástí může být organizována v hromadné a velkosériové výrobě.

Mezi výhody této metody montáže patří jednoduchá technologická příprava montáže (členění, mechanizování montážních prací, normování práce), jednoduchá a hospodárná montáž (bez výběru a přizpůsobování, nižší kvalifikace pracovní síly, stabilní čas montáže), snadná mechanizace a automatizace montáže, možnost kooperace výroby, jednoduchá údržba a opravy výrobku na základě vyměnitelných náhradních dílů, snadné vybavení náhradními díly. Nevýhodou metody je naopak zvyšující se nároky na přesnější výrobní metody, přípravky a měřidla, delší výrobní časy a s tím související zvyšování nákladů na výrobu součástí s požadovanou přesností.



### 1.4.2 Metoda částečné vyměnitelnosti součástí

Metoda částečné vyměnitelnosti součástí vychází z úvahy, že skutečné rozměry každého členu rozměrového řetězce (i závěrného) jsou vlivem nahodilých chyb rozloženy v celé šíři tolerančního pole, ale s rozdílnou četností výskytu, tj. krajní hodnoty jsou méně početné než střední.

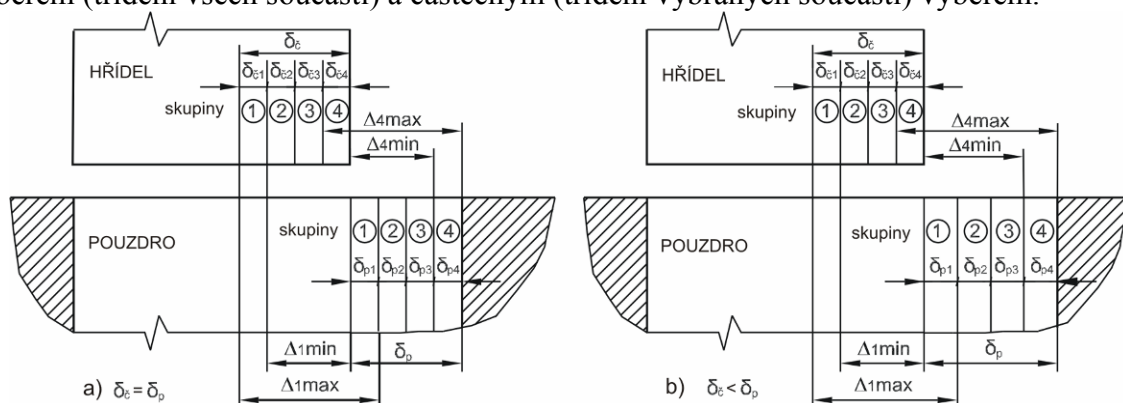
Dále je zřejmé, že pravděpodobnost vzájemného setkání extrémních rozměrů klesá se zvětšujícím se počtem členů v řetězci. Navíc, čím větší je počet jednotlivých členů, tím u nich může být stanovena širší tolerance. Součásti jsou v rámci této metody vyráběny ve větších tolerancích a vymezení vůle či přesahu se řeší výpočtem, který bere v úvahu riziko, že stanovených hodnot nebude dosaženo.

Výhodou metody částečné vyměnitelnosti je možnost volby větších tolerancí součástí (snižování výrobních nákladů), jednoduchá a hospodárná montáž. Nutnost zřízení pracovních míst pro případné dolícování součástí, jejichž tolerance náhodně nevyhovují rozměrovému řetězci, patří ke stěžejním nevýhodám. Vhodné je vybavit automatické montážní stroje zařízením na měření úchylek a blokovacím zařízením pro vyřazení nevyhovujících součástí.

### 1.4.3 Metoda výběrová (selektivní)

Tato metoda je užívána tehdy, je-li požadovaná vůle nebo přesah vzhledem k pracovním podmínkám tak malá, že je z technologického hlediska obtížné dodržet tolerance hlavních rozměrů součástí. V tomto případě se součásti zhotovují s většími tolerancemi a předepsané přesnosti celku se dosahuje přesným měřením a příslušnou volbou vnějších a vnitřních součástí.

Volba se usnadňuje rozdělením součástí do skupin podle jejich skutečných rozměrů (viz obr. 12.13). Dané skupiny se vytvoří rozdělením tolerančních polí spojovaných součástí na stejný počet dílů. Charakteristickými příklady užití metody mohou být valivá ložiska, vstřikovací čerpadla, montáž pístních čepů s písty, montáž kroužků a pístů s válci motorů apod. Metoda se dělí na montáž s předběžným výběrem součástí do rozměrových skupin, a to s úplným výběrem (třídění všech součástí) a částečným (třídění vybraných součástí) výběrem.



Obr. 12.13 Princip výběrové metody na příkladu čepu a pouzdra

Nevýhoda metody spočívá ve vyšší rozpracovanosti montáže (četnost výskytu jednotlivých rozměrů součástí vhodných k montáži není vždy stejná) a v nutnosti měření všech součástí při jejich třídění do skupin.

### 1.4.4 Metoda kompenzační (pevný člen)

Metoda kompenzační využívá možnosti dosažení tolerance závěrného členu, a to vložením určitého počtu kompenzačních prvků do rozměrového řetězce. Vůle se vymezí vložením pevného kompenzátoru potřebných rozměrů.





Výhoda metody je především v odstranění dodatečného přizpůsobování závěrných členů rozměrového řetězce. Nevýhodou je zvýšení počtu členů řetězce. Metoda se využívá zejména v kusové a malosériové výrobě v případech, kdy přizpůsobovací práce na montáži by byly značně nákladné.

#### 1.4.5 Metoda regulační (pohyblivý člen)

Metoda je založena na obdobném principu jako metoda kompenzační a tudíž využívá možnosti dosažení tolerance závěrného členu, a to změnou polohy určeného členu rozměrového řetězce (tzv. pohyblivý konstrukční kompenzátor). Pohyblivou kompenzační součástí může být např. stavěcí lišta, klín ve vodicích saních soustruhu, mechanismus regulace polohy vnějšího kroužku válečkového ložiska apod. Výhody a nevýhody metody jsou obdobné jako u metody kompenzační.

#### 1.4.6 Metoda lícování

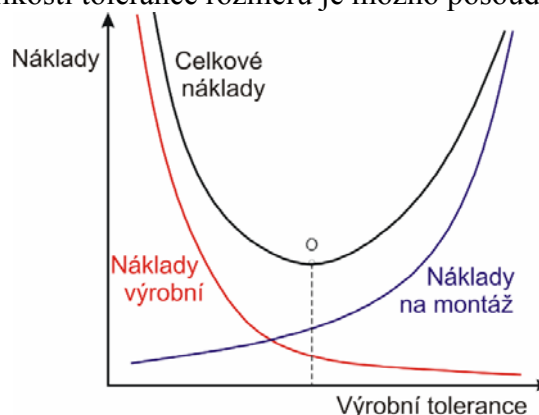
Tato metoda se používá v případech, kdy funkční požadavky na mechanismus zaručí pouze taková přesnost, kterou není možné ekonomicky dosáhnout při dané úrovni výroby. Součásti jsou vyrobeny s ekonomicky přípustnými rozšířenými tolerancemi a přesnosti mechanismu se pak dosáhne dodatečným přilícováním jednoho z předem vybraných součástí. Součást, u které se změnou jejího rozměru dosáhne konečné přesnosti spojení, se nazývá vyrovnávací neboli kompenzační. Přilícování se provádí pilováním, smirkováním, zaškrabáváním, broušením nebo leštěním.

Výhoda metody spočívá v dosažení předepsané přesnosti montáže při poměrně širokých tolerancích všech členů spojení a oproti jiným metodám nižších nákladech na strojní vybavení. Nevýhodou metody jsou dodatečné přizpůsobovací práce na montáži a potřeba vyšší kvalifikace operátorů, kteří tyto práce provádějí. Metoda lícování je používána v kusové a malosériové výrobě a při opravách strojů.

### 1.5 PŘESNOST VÝROBY A JEJÍ VLIV NA NÁKLADY MONTÁŽE

Značný podíl pracnosti při montáži připadá na přizpůsobovací práce. Jejich omezení, nebo v ideálním případě úplné vyloučení, závisí na kvalitě výroby spojovaných součástí a jejich přesnosti. Pod pojmem přesnost je nutno komplexně vnímat velikost tolerancí úchylek rozměrů, tvarů a polohy ploch. Právě volba přesnosti je závažným problémem pro každého konstruktéra.

Nároky výroby na přesnost jsou rozdílné podle druhu výrobku a typu výroby. Rozměrová tolerance je rozdíl mezi horním mezním rozměrem a dolním mezním rozměrem. Závislost výrobních nákladů na velikosti tolerance rozměrů je možno posoudit z obr. 12.14.



Obr. 12.14 Závislost nákladů na výrobní toleranci součásti



Na obrázku je zřejmý hyperbolický nárůst nákladů na výrobu součástí při zmenšování jejich rozměrových tolerancí a progresivní růst nákladů na jejich montáž při zvětšování rozměrových tolerancí. Poloha minima křivky celkových nákladů (součtová křivka) je závislá na tvaru obou dílčích křivek, a to na křivce nákladů na výrobu a montáž. Minimum na součtové křivce určuje velikost optimální tzv. **hospodárné tolerance**.



## 2 KONTROLNÍ OTÁZKY

- Jaké znáte rozdělení montážních činností?
- Jak se člení montážní proces?
- Jaké jsou druhy montáže?
- Popište rozčleněnou a soustředěnou montáž
- Jaký je rozdíl mezi proudovou a předmětnou montáží?
- Jaké znáte metody montáže?
- Popište metodu částečné a úplné vyměnitelnosti součástí?
- Jaký je rozdíl mezi kompenzační a regulační metodou montáže?



### **3 PŘEDNÁŠKOVÝ TEXT SE VZTAHUJE K TĚMTO OTÁZKÁM.**

- 30. Základní principy montáží, druhy a způsoby montáží



## 4 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] BILÍK, O. *Obrábění I. (2.Díl): Fyzikálně mechanické záležitosti procesu obrábění*. Ostrava: Vysoká škola báňská –TU Ostrava, 2002. 80 s. ISBN 80-248-0033-0.
- [2] BILÍK, O. *Obrábění II. (1.Díl): Fyzikálně mechanické záležitosti procesu obrábění*. Ostrava: Vysoká škola báňská –TU Ostrava, 1994. 132 s. ISBN 80-7078-228-5.
- [3] BILÍK, O. *Obrábění II. (2.Díl)*. Ostrava: Vysoká škola báňská –TU Ostrava, 2001. 118 s. ISBN 80-7078-994-1.
- [4] BRYCHTA, J. *Obrábění I. Návody pro cvičení 1. část*. Ostrava: Vysoká škola báňská - TU Ostrava, 1998. 84 s. ISBN 80-7078-436-9.
- [5] BRYCHTA, J. *Obrábění I. Návody pro cvičení 2. část*. Ostrava: Vysoká škola báňská - TU Ostrava, 1998. 120 s. ISBN 80-7078-470-9.
- [6] BRYCHTA, J. *Výrobní stroje obráběcí*. Ostrava: Vysoká škola báňská - TU Ostrava, 2003. 150 s. ISBN 80-248-0237-6.
- [7] HOFMAN, P. *Technologie montáže*. Plzeň: Vydavatelství Západočeské univerzity Plzeň, 1997. 90 s. ISBN 80-7082-382-8.
- [8] KOČMAN, K. *Speciální technologie obrábění*. Brno: PC-DIR Real, s.r.o., 1993. 213 s. ISBN 80-214-1187-2.
- [9] KOČMAN, K., PROKOP, K. *Technologie obrábění*. Brno: Akademické nakladatelství CERN Brno, s.r.o., 2001. 274 s. ISBN 80-214-196-2.
- [10] KRÍŽ, R., VÁVRA, P. a kol. *Strojírenská příručka*. Praha: Scientia, spol. s r. o., 1996. 220 s. ISBN 80-7183-024-0.
- [11] TICHÁ, Š. *Strojírenská metrologie část 1*. Ostrava: Vysoká škola báňská –TU Ostrava, 2004. 112 s. ISBN 80-248-0672-X.
- [12] VIGNER, M., PŘIKRYL, Z. a kol. *Obrábění*. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, n. p., 1984. 808 s.
- [13] VLACH, B. a kol. *Technologie obrábění a montáží*. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, n. p., 1990. 472 s. ISBN 80-03-00143-9.
- [14] HAVRILA, M., ZAJAC, J., BRYCHTA, J., JURKO, J. *Top trendy v obrábění 1. část – Obráběné materiály*. Žilina: MEDIA/ST, s. r. o., 2006. ISBN 80-968954-2-7.
- [15] JURKO, J., ZAJAC, J., ČEP, R., *Top trendy v obrábění 2. část – Nástrojové materiály*. Žilina: MEDIA/ST, s. r. o., 2006. ISBN 80-968954-2-7.
- [16] VASILKO, K., HAVRILA, M., NOVÁK – MARCINČIN, J., MÁDL, J., ZAJAC, J. *Top trendy v obrábění 3. část – Technologická obrábění*. Žilina: MEDIA/ST, s. r. o., 2006. ISBN 80-968954-2-7.
- [17] MONKA, P., PAULIKOVÁ, A. *Top trendy v obrábění 4. část – Upínanie, prípravky a meradlá*. Žilina: MEDIA/ST, s. r. o., 2007. ISBN 80-968954-2-7.
- [18] PŘIKRYL, Z., MUSÍLKOVÁ, R. *Teorie obrábění*. Praha : SNTL – Nakladatelství technické literatury, n. p., 1971. 200 s.
- [19] HUMÁR, A. *TECHNOLOGIE I TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ – 1. část*. Studijní opory pro magisterskou formu studia "Strojírenská technologie". Brno: VUT Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2003. 138 s. Dostupné na World Wide Web: <[http://www.fme.vutbr.cz/opory/pdf/TI\\_TO-1cast.pdf](http://www.fme.vutbr.cz/opory/pdf/TI_TO-1cast.pdf)>.
- [20] HUMÁR, A. *TECHNOLOGIE I TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ – 2. část*. Studijní opory pro magisterskou formu studia "Strojírenská technologie". Brno: VUT Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2004. 94 s. Dostupné na World Wide Web: <[http://www.fme.vutbr.cz/opory/pdf/TI\\_TO-2cast.pdf](http://www.fme.vutbr.cz/opory/pdf/TI_TO-2cast.pdf)>.



- [21] HUMÁR, A. *TECHNOLOGIE I TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ – 3. část*. Interaktivní multimediální text pro bakalářský a magisterský studijní program "Strojírenství". Brno: VUT Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2005. 57 s. Dostupné na World Wide Web: <[http://www.fme.vutbr.cz/opory/pdf/TI\\_TO-3cast.pdf](http://www.fme.vutbr.cz/opory/pdf/TI_TO-3cast.pdf)>.
- [22] HUMÁR, A. *Výrobní technologie II* [online]. Studijní opory pro podporu samostudia v oboru "Strojírenská technologie" BS studijního programu "Strojírenství". VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2002. 84 s. Dostupné na World Wide Web: <[http://www.fme.vutbr.cz/opory/pdf/VyrobniTecnologie\\_II.pdf](http://www.fme.vutbr.cz/opory/pdf/VyrobniTecnologie_II.pdf)>.
- [23] AB SANDVIK COROMANT - SANDIK CZ s.r.o. *Příručka obrábění - Kniha pro praxe*. Přel. M. Kudela. 1. vyd. Praha: Scientia, s. r. o., 1997. 857 s. Přel. z: *Modern Metal Cutting - A Practical Handbook*. ISBN 91-97 22 99-4-6.
- [24] STEPHENSON, D. A., AGAPIOU, J. S. *Metal Cutting Theory and Practice*. New York: Marcel Dekker, Inc., 1996. 905 s. ISBN 0-8247-9579-2.
- [25] VASILKO, K., NOVÁK – MARCINČIN, J., HAVRILA, M. *Výrobné inžinierstvo*. Prešov: Technická univerzita v Košiciach, Fakulta výrobných technológií so sídlom v Prešove, 2003. 424 s. ISBN 80-7099-995-0.
- [26] PILC, J., STANČEKOVÁ, D. *Základy stavby obrábacích strojov*. Žilina: Žilinská univerzita v Žilině, 2004. 110 s. ISBN 80-8070-281-0.
- [27] VASILKO, K., HRUBÝ, J., LIPTÁK, J. *Technológia obrábania a montáže*. Bratislava: Alfa, š. p., 1991. 494 s. ISBN 80-05-00807-4.



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

**VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA  
FAKULTA STROJNÍ**



# TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ V PŘÍKLADECH

---

## 4 Výroba ozubených kol, závitů a kuželů

doc. Ing. Robert ČEP, Ph.D.  
Ing. et Ing. Mgr. Jana PETRŮ, Ph.D.

Ostrava 2013

© doc. Ing. Robert ČEP, Ph.D., Ing. et Ing. Mgr. Jana PETRŮ, Ph.D.

© Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

ISBN 978-80-248-3014-8



Tento studijní materiál vznikl za finanční podpory Evropského sociálního fondu (ESF) a rozpočtu České republiky v rámci řešení projektu: CZ.1.07/2.2.00/15.0463, MODERNIZACE VÝUKOVÝCH MATERIÁLŮ A DIDAKTICKÝCH METOD

## OBSAH

<b>1</b>	<b>VÝROBA OZUBENÝCH KOL, ZÁVITŮ A KUŽELŮ.....</b>	<b>3</b>
1.1	Výroba ozubených kol, závitů a kuželů .....	4
1.1.1	Obrábění čelních ozubených kol .....	4
1.1.1	Frézování ozubení dělicím způsobem .....	4
1.1.2	Frézování ozubení odvalovacím způsobem .....	6
1.1.3	Obrázení hřebenovým nožem.....	7
1.1.4	Obrázení kotoučovým nožem .....	8
1.1.5	Protahování a protlačování ozubení .....	9
1.1.6	Dokončovací operace ozubení .....	10
1.2	Obrábění šneků a šnekových kol.....	14
1.3	Obrábění kuželových ozubených kol .....	15
1.3.1	Obrábění kuželových kol s přímými a šikmými zuby .....	15
1.3.2	Obrábění kuželových kol se zakřivenými zuby .....	18
1.4	Výroba závitů .....	19
1.4.1	Řezání závitů.....	20
1.4.2	Soustružení závitů .....	23
1.4.3	Frézování závitů.....	24
1.4.4	Broušení závitů .....	26
1.4.5	Tváření závitů .....	27
1.5	Výroba kuželů .....	29
1.5.1	Výpočet základních rozměrů kužele.....	30
<b>2</b>	<b>KONTROLNÍ OTÁZKY.....</b>	<b>34</b>
<b>3</b>	<b>PŘEDNÁŠKOVÝ TEXT SE VZTAHUJE K TĚMTO OTÁZKÁM. ....</b>	<b>35</b>
<b>4</b>	<b>POUŽITÁ LITERATURA .....</b>	<b>36</b>





# 1 VÝROBA OZUBENÝCH KOL, ZÁVITŮ A KUŽELŮ



## OBSAH KAPITOLY:

Obrábění čelních ozubených kol  
Obrábění šneků a šnekových kol  
Obrábění kuželových ozubených kol  
Řezání závitů  
Soustružení závitů  
Frézování závitů  
Broušení závitů  
Tváření závitů  
Obrábění kuželů



## MOTIVACE:

Ozubení patří mezi velmi důležité strojní součásti. Jeho výroba je však velmi technologicky složitá. Složitost souvisí s nutností splnit teoretické poznatky odvalu k dosažení správného záběru vyrobeného ozubení. Výroba ozubených kol spočívá v obrábění tvarových, většinou evolventních nebo cykloidních ploch vícebřítým nástrojem.

Závity jsou konstrukčně technologické prvky součástí. Ve strojírenství jsou závity používány jako důležité spojovací nebo pohybové elementy výrobků. Přesnost a kvalita má vliv na správnou funkci a spolehlivost.

Kuželové plochy se používají k pevnému spojení strojních součástí, u nichž se požaduje přesná souosost a také k utěsňování vodovodních a plynovodních armatur. Rozdělujeme je na vnější a vnitřní.



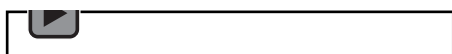
## 1.1 VÝROBA OZUBENÝCH KOL, ZÁVITŮ A KUŽELŮ

Ozubení patří mezi velmi důležité strojní součásti. Jeho výroba je však velmi technologicky složitá. Složitost souvisí s nutností splnit teoretické poznatky odvalu k dosažení správného záběru vyrobeného ozubení. Výroba ozubených kol spočívá v obrábění tvarových, většinou evolventních nebo cykloidních ploch vícebřitým nástrojem. Výrobu ozubení lze podle druhu ozubeného kola rozdělit na:

- obrábění čelních kol s přímými, šikmými a šípovými zuby,
- obrábění šneků a šnekových kol,
- obrábění kuželových kol s přímými, šikmými nebo zakřivenými zuby.



### Audio 1.1 Výroba ozubení



V uvedeném pořadí roste technologická náročnost na obrábění jednotlivých druhů ozubení. Při obrábění vyjmenovaných druhů ozubení ovlivňují dosahovanou přesnost a kvalitu ozubení stroj, nástroj, upnutí obrobku včetně přesnosti jeho technologických základů, řezné podmínky apod.

Ve strojírenství je nejčastěji využívána technologie obrábění čelních kol, méně se uplatňuje technologie obrábění kuželových kol s přímými a šikmými zuby a technologie obrábění kuželových kol se zakřivenými zuby. Převody ozubenými koly se uplatňují v převážné většině převodových mechanismů v různých provedeních.

### 1.1.1 Obrábění čelních ozubených kol

Ozubení čelních kol se obrábí:

- frézováním dělicím způsobem tvarovou frézou a odvalovací frézou,
- obrážením odvalovacím způsobem kotoučovým nebo hřebenovým nožem,
- protahováním a protlačováním.

Dokončovacími způsoby obrábění jsou:

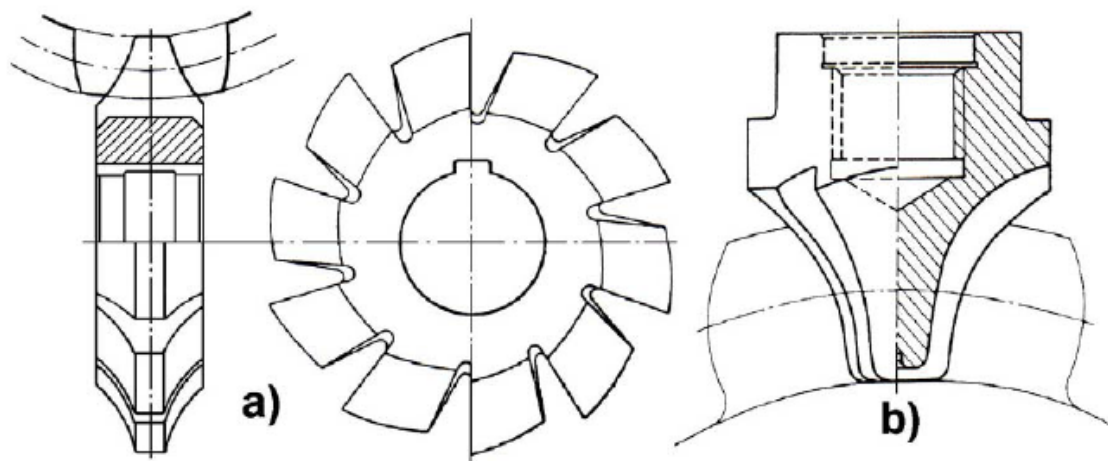
- ševingování (u kol bez tepelného zpracování),
- broušení dělicím nebo odvalovacím způsobem (u kalených kol),
- lapováním,
- zaběháváním,
- válcováním.

Výběr technologie závisí na počtu obráběných kol, velikosti a typu kola (samostatné kolo nebo soukolí), umístění zubů (vnitřní nebo vnější ozubení) a tvaru zubů (přímé, šikmé, šípové).

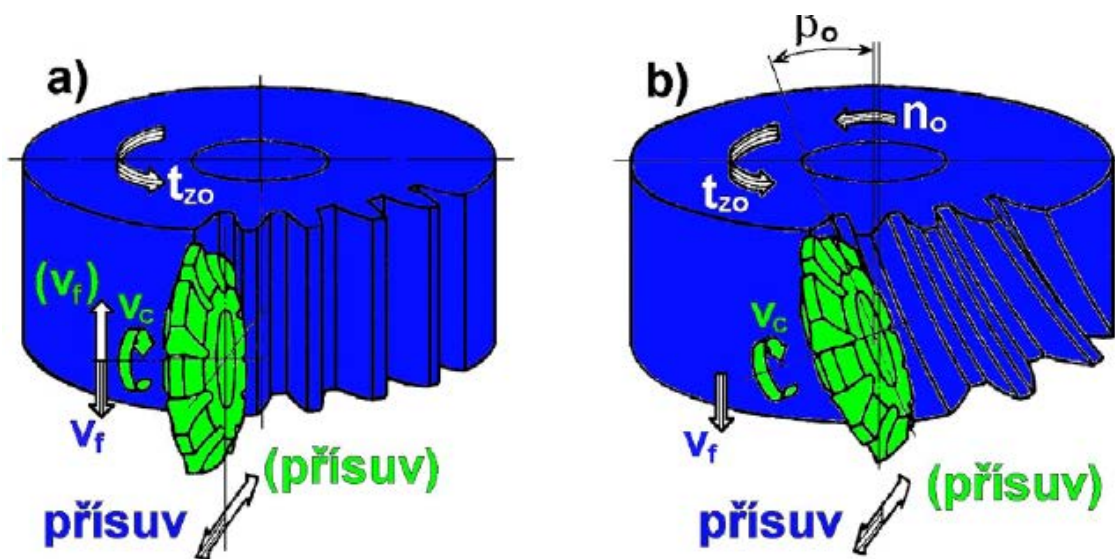
### 1.1.1 Frézování ozubení dělicím způsobem

Čelní ozubená kola s přímými zuby se dělicím způsobem frézují tvarovou čepovou nebo kotoučovou modulovou frézou. Po obrobení jedné zubové mezery dělicím přístrojem se obrobek pootočí o jednu zubovou rozteč  $t_{zo}$  a frézuje se následná zubová mezera. Profil frézy musí být shodný s profilem požadované zubové mezery.





Obr. 2.1 Modulové frézy a) kotoučová, b) čepová (stopková)



Obr. 2.2 Kinematika frézování ozubení

Z hlediska hospodárnosti je možno používat jeden nástroj pro určitý rozsah počtu zubů. Všechny modulové frézy jsou dodávány v sadách, které obsahují 8 (viz tabulku 2.1), 15 nebo 26 členů pro příslušný modul v závislosti na požadavcích přesnosti obráběného ozubení.

Tab. 2.1 Rozložení počtu zubů pro osmičlennou sadu kotoučových fréz

Číslo frézy	1	2	3	4	5	6	7	8
Pro počet zubů	12÷13	14÷16	17÷20	21÷25	26÷34	35÷54	55÷134	135÷

Dělicím způsobem se čelní ozubená kola frézují na odvalovacích, univerzálních nebo speciálních frézách, zejména při kusové výrobě a výrobě ozubených kol velkých modulů ( $m > 20$  mm) a průměrů. Kotoučové modulové frézy jsou pro moduly v rozsahu od 0,2 do 16 mm. Pro hrubování ozubení větších modulů ( $m > 12$  mm) slouží hrubovací kotoučové frézy s odstupňovaným profilem. Čepové modulové frézy pro hrubování ozubení s modulem  $m > 30$  mm mají lichoběžníkový profil a břity ve šroubovici, což umožňuje použít větší posuvy při obrábění.

Při frézování šikmých zubů kotoučovou modulovou frézou je pracovní stůl s obrobkem natočen vzhledem k ose vřetena o úhel sklonu zubů  $\beta$ . Šikmé zuby se vytvoří kombinací



podélného posuvu stolu a rotačního pohybu obrobku. Frézování šikmého ozubení čepovou frézou je analogické, ale pracovní stůl se nenatáčí.

Výhodou frézování kotoučovou frézou je výkonnější, ale stopková fréza umožňuje frézování kol se šípovým ozubením, které jsou využívána pro přenos velkých točivých momentů. Vyrábí se tak ozubená kola zejména v kusové výrobě. K nevýhodám patří malá přesnost a nízká produktivita, mezi výhody nízká cena nástroje a možnost použít běžné obráběcí stroje.

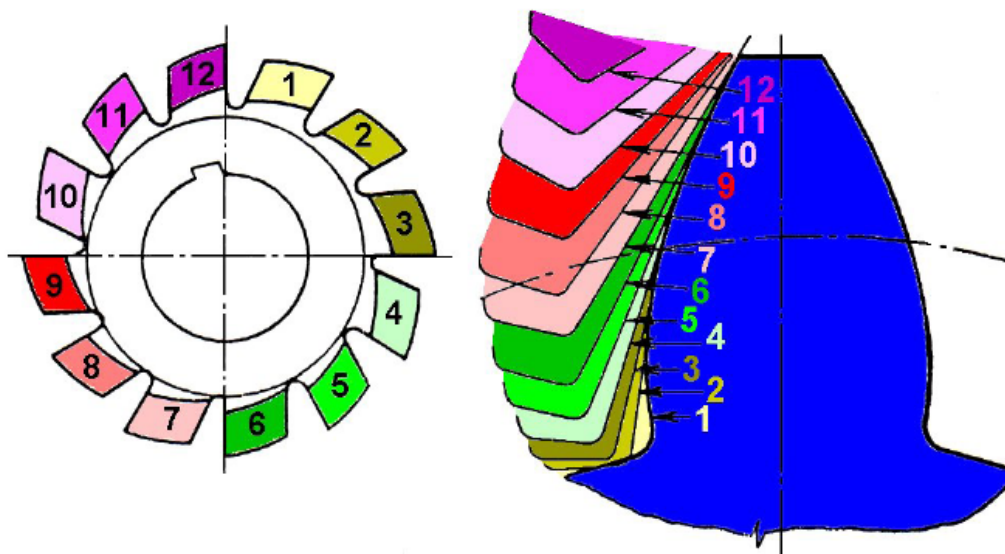
### 1.1.2 Frézování ozubení odvalovacím způsobem

Frézování odvalovacím způsobem je nejčastější způsob výroby ozubení. Při této metodě se používá tzv. odvalovacích fréz, což jsou válcové tvarové frézy, představující šnek, spoluzabírající s obráběným ozubeným kolem. Spirála šneku je po obvodu přerušena vyfrézovanými drážkami, které vytvářejí čelní plochy břitů zubů.

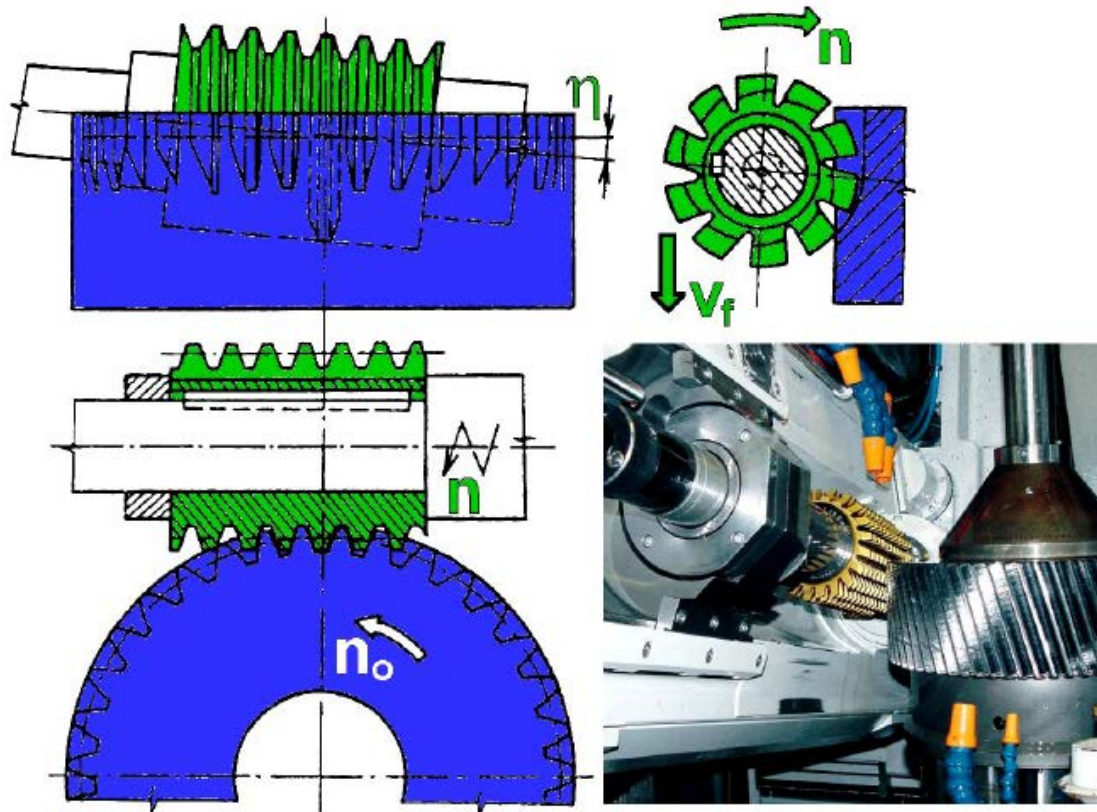
Profil zubů frény je lichoběžníkový (tzv. základní profil). Evolventa boku zubů frézovaného kola vznikne odvalením boku zubů frény. Proto lze odvalovací frézou příslušného modulu přesně vyrobit ozubená kola bez ohledu na počet zubů.

Řezný pohyb je dán rotací frény  $n$ . Současně s rotací frény rotuje obrobek otáčkami  $n_o$  tak, že se za jednu otáčku frény pootočí obrobek o jednu zubovou rozteč, čímž se plynule frézují všechny zuby. Aby se vytvořilo ozubení po celé šířce frézovaného kola, musí se fréza současně pohybovat ve směru obráběných zubů rychlostí  $v_f$ .

Smysl posuvu frény se může shodovat se smyslem její rotace (nesousledné frézování), nebo může být opačný (sousedné frézování). Boky zubů se vytvářejí jako obalové plochy jednotlivých poloh nástroje (obr. 2.3). Jednou odvalovací frézou lze obrábět ozubená kola stejného modulu s libovolným počtem a sklonem zubů.



Obr. 2.3 Princip vytvoření evolventy při odvalovacím frézování



Obr. 2.4 Kinematika pohybů při odvalovacím frézování čelního ozubení

### 1.1.3 Obrázení hřebenovým nožem

Obrázení je založeno na principu záběru ozubeného hřebene (nástroj) s ozubeným kolem (obrobek). Nástroj je nastaven na hloubku řezu  $a_p$  a koná přímočarý vratný pohyb. Odvalování je dosaženo složením otáčivého pohybu  $n_o$  a posuvového pohybu  $v_f$  obrobku při délce zdvihu  $l$ , při výrobě šikmého ozubení obrážecím hřebenovým nástrojem se šikmými zuby navíc ještě dodatečným posuvem nástroje  $v_n$ ,  $v_z$ .

Nástroj a obrobek se proti sobě vzájemně otáčejí v poměru otáček:

$$\frac{n_k}{n_o} = \frac{z_o}{z_k} \quad (2.1)$$

kde:  $n_k$  jsou otáčky kotoučového nože [-]

$n_o$  jsou otáčky obrobku [-]

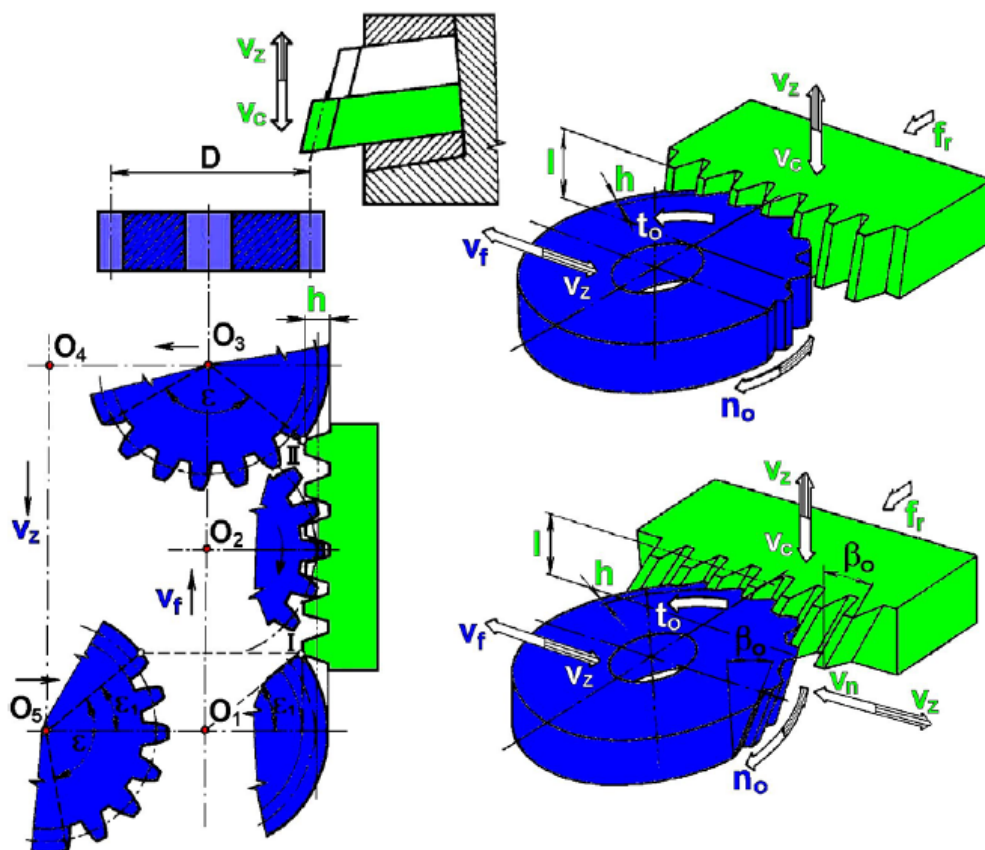
$z_k$  je počet zubů nástroje [-]

$z_o$  je počet zubů obráženého kola [-].

Na obráběcích strojích lze jedním nástrojem daného modulu vyrábět kola s různým počtem zubů, a to korigovaná i nekorigovaná, s přímými i šikmými zuby. Výhodou hřebenových nožů je jednoduchá konstrukce (tvar, geometrie, výroba, ostření), což se projevuje vysokou přesností vyrobeného ozubení.

Při výrobě ozubených kol velkých modulů jsou hřebenové nože málo produktivní, avšak při výrobě ozubených kol velkých modulů při použití hrubovacích nožů dosahují při nízkých nákladech na nástroje produktivity velmi vysoké.





Obr. 2.5 Kinematika pohybů při obrábění čelního ozubení metodou Maag

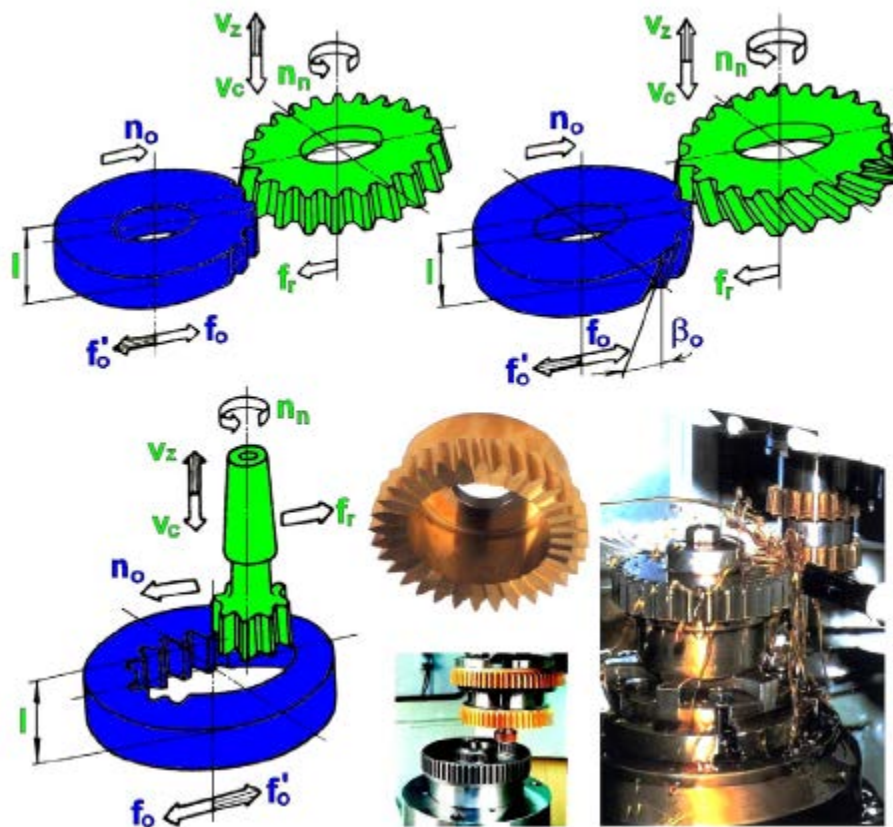
Hřebenový obrážecí nůž je výrobně jednodušší se zuby lichoběžníkového tvaru základního profilu. Obrábění hřebenovým nožem je charakterizováno zejména relativně levným nástrojem, poměrně vysokými náklady na obrážecí stroj a dlouhými výrobními časy. Popsaný způsob obrábění je v provozních podmínkách označován jako systém Maag.

#### 1.1.4 Obrábění kotoučovým nožem

Kotoučovým nožem se obrábějí čelní kola s přímými a šikmými zuby a kola se šípovým ozubením. Tato metoda obrábění je založena na principu záběru dvou ozubených kol bez vůle. Při obrábění se po sobě odvalují způsobem, jakoby spolu zabírala dvě čelní ozubená kola. Nástroj upnutý ve smyčadle koná přímočarý vratný pohyb ve směru osy a rotuje otáčkami  $n_n$ , obráběné kolo rotuje otáčkami  $n_o$ . Uvedenou kombinací pohybů je obroben výsledný evolventní profil zubů. Při zpětném pohybu se nástroj oddaluje od obrobku, aby bříty zubů netřely o obrobenou plochu (toho lze dosáhnout radiálním nebo šikmým odskokem  $f_o$ ).

Kolo je tedy vyrobeno asi za jednu a čtvrt otáčky. U velkých modulů je plně hloubky zubové mezery dosaženo až po několika otáčkách vyráběného ozubeného kola. U kol se šikmými zuby vykonává nástroj během pracovního zdvihu navíc šroubový pohyb a má šikmé zuby. Obrábění kotoučovým nožem je produktivní, při použití rychloběžných strojů může konkurovat i odvalovacímu frézování.





Obr. 2.6 Kinematika pohybů při obrábění čelního ozubení metodou Fellows

### 1.1.5 Protahování a protlačování ozubení

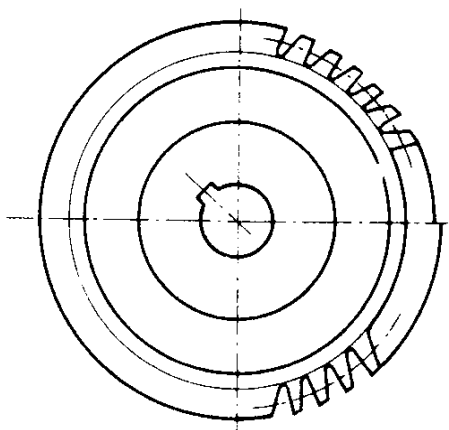
Používá se pro výrobu ozubených kol jak vnitřních, tak i vnějších ve velkosériové a hromadné výrobě. Nástrojem je protahovací trn, který bývá vyroben z rychlořezné oceli jako monolitní nebo má tělo z konstrukční oceli a na něm segmenty z rychlořezné oceli nebo slinutých karbidů.

Vnější ozubení se vyrábí dělicím způsobem, kdy je po protažení jedné zubové mezery obrobkem pootočeno o jednu rozteč a celá operace se opakuje. U malých kol se může použít kruhového protahovacího nástroje. Vnitřní ozubení se protahuje najednou válcovým nástrojem, který má břity rozmístěny po obvodu a ve tvaru zubových mezer obráběného kola. V obou případech má nástroj kalibrovací část, která zajistí přesný tvar zubové mezery vyráběného ozubení.

Nevýhodou je, že pro každý tvar zubu je potřeba zvláštní nástroj, který je velmi nákladný a proto se hodí jen pro velkosériovou a hromadnou výrobu. Přesnost vyrobeného ozubení je přímo závislá na přesnosti nástroje.

Vyrábíme-li ozubení protlačováním, využívá se metody dopředného protlačování. Nástrojem na výrobu ozubení je průtlačnice. Při protlačování dochází zpočátku v důsledku tvářecího odporu k deformaci čela a určité délky vnějšího povrchu vyráběného kola. Proto nemají zuby v celé své délce stejný profil. V další operaci se potom zpětným protlačováním dutiny, kalibrováním nebo pěchováním „s přetokem“ dohotoví objemovým tvářením požadovaný tvar zubů.





Obr. 2.7 Kruhový protahovací trn

Přesnost ozubení je přímo závislá na způsobu a přesnosti výroby protlačovacích nástrojů. Kvalita povrchu ozubení je dostatečná. Velkou předností je značné zpevnění materiálu kola, takže se dosáhne zvýšení životnosti ozubení. Nástroje se konstruuji pro jednu nebo několik zubových mezer s ohledem na koncepci výrobního zařízení. Metoda protlačování ozubení je vhodná pouze pro velkosériovou výrobu, protože cena nástrojů je vysoká.

### 1.1.6 Dokončovací operace ozubení

Ozubená kola, u kterých je požadovaná vyšší přesnost, se dokončují ševingováním, broušením, lapováním a zaběháváním. Dokončováním se získává přesnější profil tvaru zubu a menší drsnost povrchu boků zubů, čímž se zvyšuje účinnost a snižuje nežádoucí hlučnost ozubení.

#### Ševingování ozubených kol

Používá se na dokončování čelních ozubených kol zejména nekalených. Z boků zubů jsou odebrány jemné třísky, a tím se zlepšuje profil zubu a jakost povrchu jednotlivých zubů. Nástrojem je přesné modifikované ševingovací kolo, což je ozubené kolo se šikmými zuby, které zabírá s obráběným kolem. Břity ševingovacího nástroje jsou vytvořeny drážkami na bocích zubů. Záběr ševingovacího (hnací) a obráběného (hnané) kola lze modelovat jako záběr šroubového válcového soukolí (pohyb po šroubovici). Kola navíc vykovává vratný pohyb.

Ševingování lze podle směru posuvu rozdělit na podélné, diagonální, příčné neboli tangenciální a zapichovací. Nejpoužívanější z uvedených je podélné ševingování, u kterého šířka nástroje nezávisí na šířce ozubení, čímž je využití nástroje nepříznivé. Při diagonálním ševingování je nástroj využit v celé šířce, je však omezena šířka ozubení, a to do 60 mm. Příčné a zapichovací ševingování vyžaduje zvláštní nástroje a je vhodné pro úzká kola.



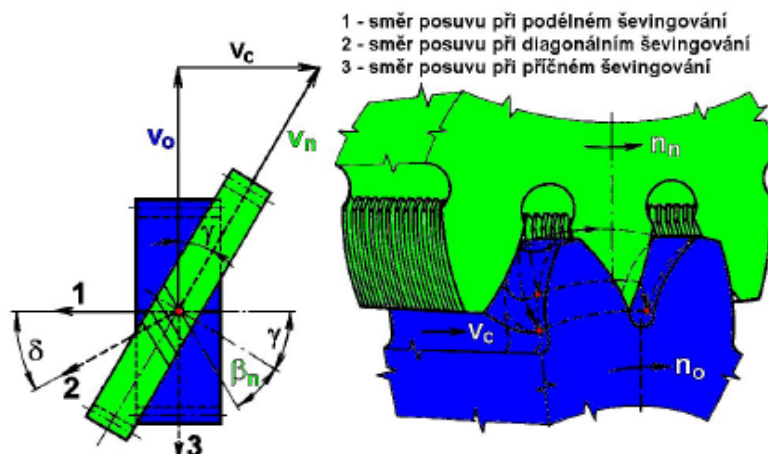
Obr. 2.8 Ševingovací kola

Úhel zkřížení os je pro všechny způsoby ševingování 10 až 15°. Ševingovací nástroje pro moduly 1,5 až 5 mm mají sklon zubů 0° až 15° a průměry 175 a 250 mm. Používají se pro kola s počtem zubů větším než 30, menší počet zubů a korigovaná kola se ševingují zvláštními nástroji. Nástroj i obrobek se při ševingování otáčejí rychlostí 80 až 120 m.min<sup>-1</sup>





(hodnoty  $v_n$  a  $v_o$  musí však být rozdílné), rychlost ševingování ( $v_c$ ) dosahuje až  $30 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ . Hodnoty radiálního přísmvu se při podélném ševingování volí 0,015 až 0,045 mm na jeden dvojdvih stolu, podélný posuv 0,2 až 0,5 mm na otáčku obrobku. Přídavky jsou 0,04 až 0,1 mm na bok zubu.



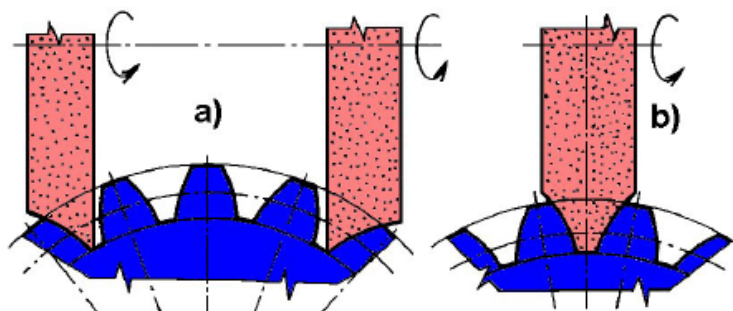
Obr. 2.9 Kinematika podélného ševingování

Velmi podobné ševingování je **honování** ozubených kol, při kterém je ševingovací kolo nahrazeno kolem ze směsi plastu a brusiva. Používá se ke zlepšení geometrického tvaru a drsnosti povrchu kalených ozubených kol.

### Broušení ozubených kol

Broušením se odstraňují nepřesnosti po předchozím obrábění a deformace po tepelném zpracování ozubených kol. Ozubená kola se brousí dělicím způsobem tvarovými kotouči, dělicím způsobem s odvalem boku zubu a odvalovacím způsobem.

**Broušení dělicím způsobem tvarovými kotouči** se provádí kotouči s tvarem jednoho boku zubu **a**, kterým se brousí odpovídající boky zubu, nebo kotoučem ve tvaru zubové mezery **b**. Po vybroušení se ozubené kolo pootočí o rozteč a celý proces probíhá znovu. Orovnávání se provádí diamantovými kotouči podle šablony nebo podle tvarového zařízení u kterého je přesně vyroben profil. Tento způsob je velmi produktivní, ale méně přesný a má vysoké náklady z důvodu nutnosti velkého počtu kotoučů (na každý počet zubů a modul).



Obr. 2.10 Broušení čelních ozubených kol dělicím způsobem: a) dva kotouče s profilem ve tvaru boku zubu, b) jeden kotouč s profilem ve tvaru zubové mezery

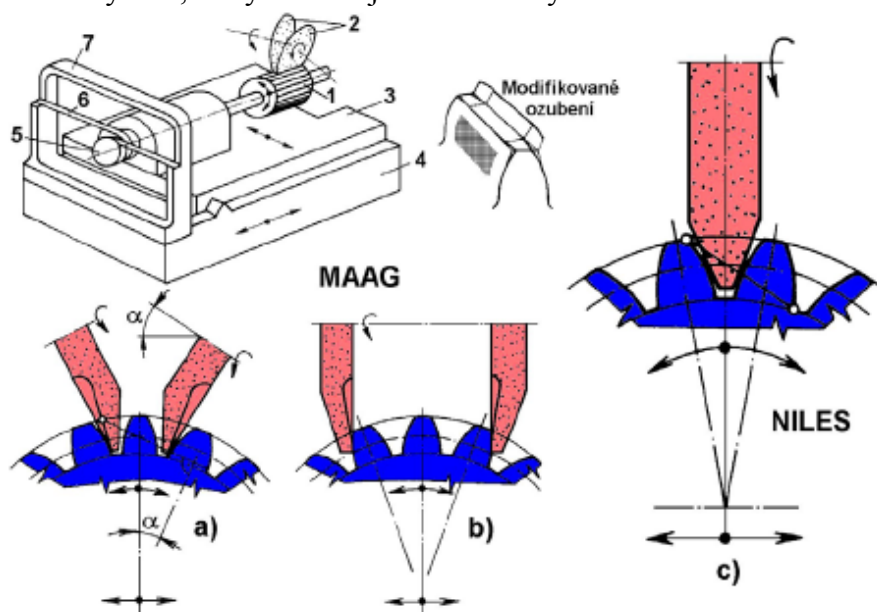
Broušení dělicím způsobem s odvalem boku zubu se realizuje dvěma systémy, a to systémem Maag, kdy se broušený zub odvaluje po dvou broušicích kotoučích, a nebo systémem Niles, kdy se odvaluje po jednom broušicím kotouči - viz obrázek 2.11.

U systému Maag je odvalovací pohyb vytvářen superpozicí příčného a rotačního pohybu obrobku. Otáčení obrobku se dosahuje odvinováním ocelových pásů z kotouče (nebo kruhového segmentu), jehož poloměr je roven poloměru základní kružnice broušeného kola, zmenšeného o tloušťku odvinovaných pásů. Střídavým pohybem příčného suportu je zajištěno postupné odvalování a broušení zubové mezery. Kromě toho koná podélný suport pohyb ve

směru osy kola, čímž je dosaženo obroušení zubu po celé jeho délce. Po dokončení jedné zubové mezery se broušené kolo pootočí o jednu rozteč a cyklus se opakuje. Vždy po každém cyklu jsou brousící kotouče srovnávány diamanty a automaticky orovňány a nastaveny do správné polohy.

Brousit lze pomocí kotoučů skloněných pod úhlem záběru  $\alpha$  (obr. 2.11a) nebo kolmo postavenými kotouči (obr. 2.11b). Broušení odvalovacím způsobem je přesnější a hospodárnější než broušení dělicím způsobem. Brousit lze hranou nebo plochou kotouče. Produktivnější je broušení plochou, protože při něm lze použít vyšší posuvovou rychlost. Zvláštním zařízením lze dosáhnout podélné i výškové modifikace zubů. Při broušení ozubených kol se šikmými zuby se vřeteník s brousícími kotouči natočí vzhledem k ose ozubeného kola pod úhlem sklonu zubů.

Při broušení kolmo postavenými kotouči vytvářejí pracovní plochy kotoučů rovnoběžné plochy dvou zubů pomyslného hřebene s úhlem záběru nula stupňů. Brousící kotouč se dotýká boku zubu v jediném bodě, takže dokončený povrch zubu nemá křížový výbrus, ale podélné rovnoběžné stopy, jak je tomu v případě, kdy skloněné kotouče brousí plochou (2.11b). Pomocí zvláštního zařízení lze při tomto způsobu broušení upravit (modifikovat) zuby výškově i podélně (obr. 2.11). Úprava evolventy na hlavě a patě, tj. modifikace profilu, se uskutečňuje tak, že se obrysová křivka profilu odsune za evolventu v místech hlavy a paty, a tím se omezuje dotyk hlavy zubů jednoho kola se zuby druhého kola. Úpravou po délce zubu se odsunuje obrysová čára na obou koncích zubu, takže zub dostane soudečkovitý tvar, který zabraňuje nosnému styku na hranách zubu.



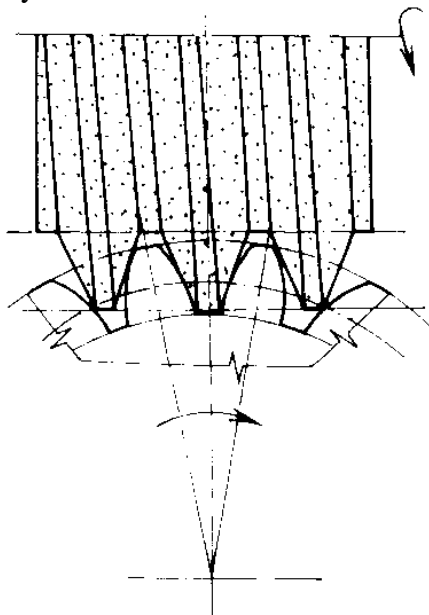
Obr. 2.11 a) broušení Maag pomocí kotoučů skloněných pod úhlem záběru, b) broušení Maag kolmo postavenými kotouči, c) broušení Niles, 1- obrobek, 2- brousící kotouče, 3 - příčný suport, 4- podélný suport, 5- odvalovací kotouč, 6- ocelový pás, 7- stojan odvalovacího zařízení

Schéma odvalování boku zubu po jednom brousícím kotouči, jehož profil se shoduje s profilem zubu ozubeného hřebenu - systém Niles - je uvedeno na obrázku 2.11c. Brousící kotouč se otáčí a vykonává přímočarý vratný pohyb ve směru osy broušeného kola. Odvalovací pohyb v obou směrech vzniká otáčením broušeného kola kolem jeho osy, při současném posuvu ve směru osy brousícího kotouče. Broušení se postupně od paty k hlavě zubu bok po bok, dělicí pohyb vykonává obráběné ozubené kolo. Při broušení ozubených kol se šikmými zuby se vykloní smykadlo s brousícím kotoučem o úhel sklonu zubů.

**Broušení odvalovacím způsobem** se provádí pomocí brousícího kotouče, který má tvar šneku - systém **Reishauer**. Tento způsob je podobný odvalovacímu frézování, přičemž



odvalovací fréza je nahrazena jednochodým nebo dvouchodým brousicím šnekem, který nekonečným počtem obálkových profilů svého závitu vytváří požadovaný profil broušeného ozubení. Používá se zejména pro ozubení malých modulů, u kol s modulem menším než 3 mm je možno brousit do plného materiálu. Základní podmínkou tohoto způsobu je zcela synchronní běh nástroje a obrobku, rozhodujícím faktorem pro parametry přesnosti broušeného ozubení je tvarování brousicího kotouče z hlediska jeho profilu a stoupání. Brousicí kotouč má obvykle průměr 350 až 400 mm a značná pozornost se musí věnovat jeho vyvážení, jak statickému tak i dynamickému.



Obr. 2.12 Broušení ozubených kol brousicím šnekem

### Lapování a zaběhávání

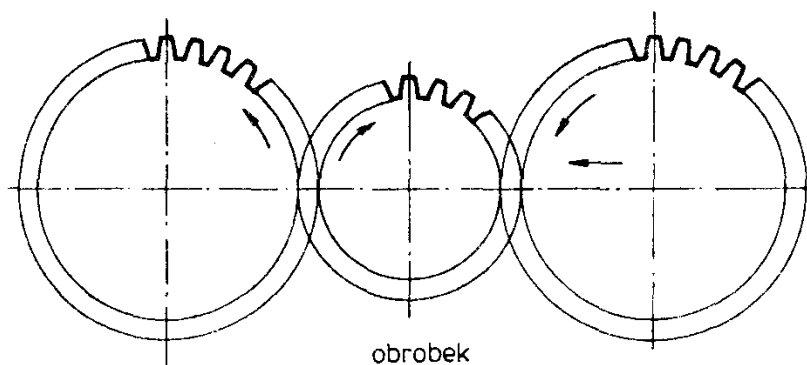
Zlepšují drsnost povrchu ozubení zejména tepelně zpracovaných kol. Lapování se provádí litinovým ozubeným kolem, které zabírá s lapovaným kolem. Litinové kolo jako nástroj je hnané, lapované kolo je brzděné a vykonává kmitavý pohyb ve směru osy. Do záběru kol je přiváděna lapovací pasta nebo směs oleje s brusivem. Přídavky na lapování jsou od 0,02 do 0,05 mm a obvodová rychlost je do  $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ .

Zaběhávání ozubených kol se odlišuje od lapování tím, že jsou v záběru dvě spoluzabírající kola. Zaběhávání probíhá stejně jako lapování (jedno kolo je hnané a druhé brzděné) a do záběru se přivádí proud oleje s brusivem, popřípadě lapovací pasta. Přídavky na zaběhávání jsou poloviční než u lapování. Zaběhávání se používá zejména u kol, která není možno dokončovat jiným způsobem.

### Válcování ozubení

Válcování ozubení na čisto za studena je možno používat místo ševingování nebo broušení. Dokončování ozubení se dosahuje plastickou deformací kovu v povrchových vrstvách na bocích zubů. Pro tuto metodu se konstruují stroje se třemi, dvěma a jedním válcem. Nejvíce se používají stroje se dvěma válci (obr. 2.13). Jeden z válců je posuvný, druhý pevný. Válce se otáčejí synchronně konstantní úhlovou rychlostí. Polotovar se upíná na trn, který má u některých strojů samostatný pohon pro záběr dokončovacích zubů s otáčejícími se válci. Posuv je uskutečněn válcem s pohyblivým vřeteníkem.



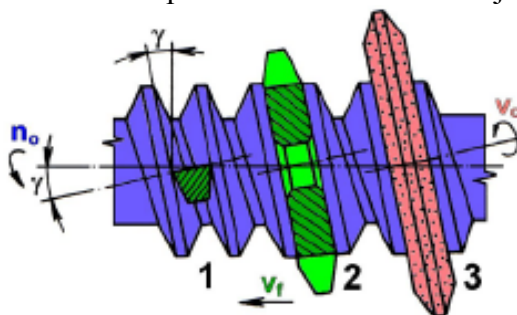


Obr. 2.13 Schéma dokončování ozubení válčováním

Přestože metoda dokončování ozubení válčováním za studena je perspektivní, může v současné době nahradit např. ševingování pouze tehdy, když není požadována vysoká přesnost. V porovnání se ševingováním je produktivita válčování třikrát až čtyřikrát vyšší. Předpokládaná hospodárná sériovost pro válčování je 500 000 až 1 000 000 kol.

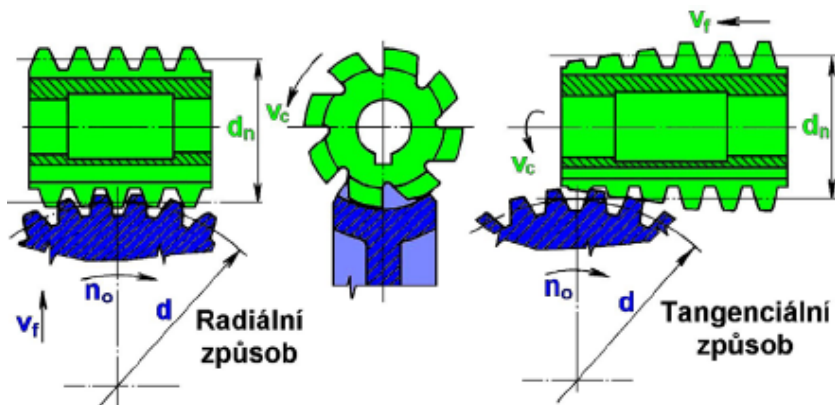
## 1.2 OBRÁBĚNÍ ŠNEKŮ A ŠNEKOVÝCH KOL

Šneky se vyrábí soustružením nebo frézováním a k dokončování je používáno broušení, popřípadě lapování. Soustružení (1) se provádí tvarovým nožem na univerzálních soustruzích. Používá se zejména pro šneky malých modulů a v malých sériích. Frézováním (2) jsou šneky vyráběny pomocí kotoučové nebo čepové tvarové frézy na univerzálních frézkách. Broušení (3) je prováděno tvarovými kotouči na speciálních broušicích strojích.



Obr. 2.14 Schéma výroby válcového šneku 1- soustružení tvarovým nožem, 2 - frézování kotoučovou frézou, 3 - broušení tvarovým kotoučem

Šneková kola se vyrábí frézováním na univerzálních nebo odvalovacích frézkách několika způsoby. Na univerzální frézce se obvykle předfrézuje ozubení tvarovou kotoučovou frézou a poté dokončuje šnekovou frézou, které má rozměry šneku vyráběného soukolí. Na odvalovací frézce se vyrábí pomocí odvalovací frézy, která má tvar a rozměry shodné jako vyráběné kolo. Šneková kola lze vyrábět buď radiálně, tj. obrobek (šnekové kolo) se posouvá radiálně proti odvalovací fríze. Používá se obvykle při výrobě šnekových kol s úhlem stoupání  $6^\circ$  až  $8^\circ$ . Další způsob je tangenciální, při němž se odvalovací friza posouvá ve směru tečny k roztečné kružnici. Tento způsob umožňuje přesnější výrobu těchto kol. Poslední způsob je radiálně tangenciální, při němž se při radiálním posuvu hrubuje a při osovém posuvu obrábí načisto.



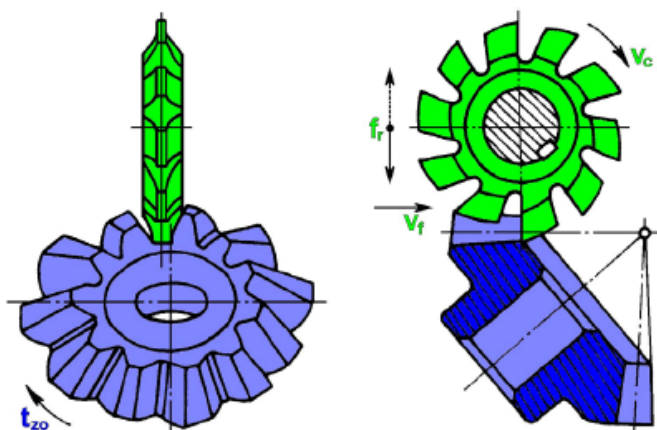
Obr. 2.15 Odvalovací frézování šnekových kol

## 1.3 OBRÁBĚNÍ KUŽELOVÝCH OZUBENÝCH KOL

### 1.3.1 Obrábění kuželových kol s přímými a šikmými zuby

Kuželová kola s přímými a šikmými zuby se vyrábějí frézováním tvarovou frézou, což je málo přesné z důvodu neschopnosti lineárně zmenšovat modul směrem k vrcholu ozubení. Dále se vyrábějí frézováním nožovými hlavami, obrážením podle šablony, obrážením dvěma noži a protahováním. Profil zubu je vytvářen tvarovým nástrojem, kopírováním nebo odvalováním. Ozubení s tvarovými nástroji kopírováním se vyrábí dělicím způsobem, odvalování se provádí dělicím způsobem nebo plynulým odvalem.

**Frézování tvarovou frézou (kotoučovou nebo stopkovou)** se provádí na univerzálních frézkách dělicím způsobem, tedy po obrobení jedné zubové mezery se ozubené kol pootočí o jednu rozteč a postup se opakuje. Tvarovou frézou nelze vyrobit teoreticky správné kuželové ozubení, protože nástroj není schopen lineárně zmenšovat modul ozubení směrem k vrcholu kužele obráběného kola. Způsob se používá pro výrobu kuželových kol s malou přesností a k hrubování kol před dokončením odvalovacími způsoby (obrábí se každý bok zubu zvlášť). Kotoučovou frézou se vyrábějí ozubená kola s přímými a šikmými zuby, čepovou frézou lze navíc vyrábět i ozubení se šípovými a zakřivenými zuby (v tomto případě se obráběné kolo musí současně natáčet kolem své osy). Čepové frézy se používají pro výrobu ozubení větších modulů (až do hodnoty 50 mm).

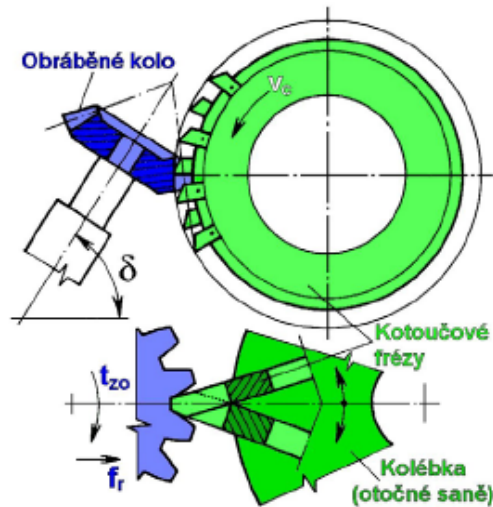


Obr. 2.16 Frézování ozubení kuželového kola kotoučovou tvarovou frézou

**Frézování nožovými hlavami** - používá se při výrobě kol menších a středních rozměrů (modul  $m = 0,3$  až 10 mm), kdy jsou nástroji dvě kotoučové nožové hlavy (pravá a levá) se vsazenými břity, které se v zubové mezeře překrývají (obr. 2.17). Princip práce spočívá v odvalování vyráběného ozubení po plochém základním kole, jehož zuby jsou tvořeny vnějšími břity dvou frézovacích hlav. Odvalování je zajištěno natáčením kolébky nebo

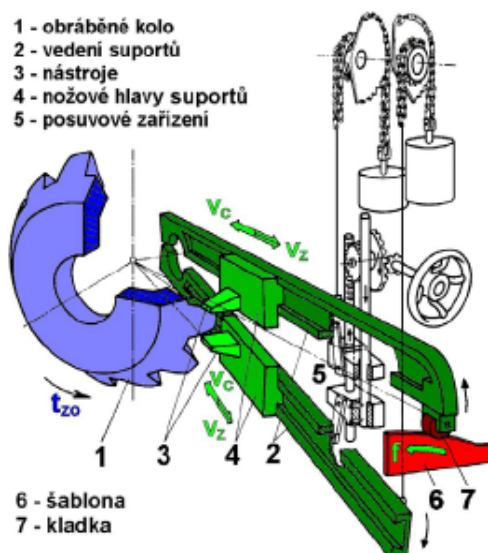


odvalováním frézovacích hlav a natáčením obrobku. Zubová mezera je tedy vytvořena zapichováním a odvalováním, bez podélného posuvného pohybu frézovacích hlav. Ozubení se frézuje dělicím způsobem, obrobek vykoná radiální posuv na hloubku zubu (zapichování), pak následuje frézování boku zubu odvalem. Zuby mají soudečkový tvar, zubové mezery mají tvar kruhového oblouku.



Obr. 2.17 Frézování ozubení kuželového kola pomocí dvou kotoučových nožových hlav

**Obrázení kuželového ozubení podle šablony** se používá při výrobě přesnějších kol s většími moduly. Pro stejný počet zubů kol s různými moduly stačí jedna šablona, která má tvar zvětšeného boku zubu na vzdálenost 1500 mm od vrcholu kužele obráběného kola. Kinematické schéma obrážecích suportů je uvedeno na obrázku 2.18. Obráběné kolo (1) se upíná na hřídel dělicího přístroje, po vyrobení jednoho zubu se pootočí o jednu rozteč. Obrážecí nože (3), upevněné v nožových hlavách suportů (4), se přímočarým vratným pohybem ( $v_c$  - do řezu,  $v_z$  - zpětný pohyb) pohybují po vedeních suportů (2) a po každém dvojdvihu se pomocí vačky posuvového zařízení (5) posunou o hodnotu  $f$ . Polohu nástroje, nutnou pro obrobení boku zubu určuje kopírovací kladka (7), umístěná na konci vedení suportu, která se odvaluje po šabloně (6) - na obrázku 2.18 znázorněno pouze pro jeden bok zubu.



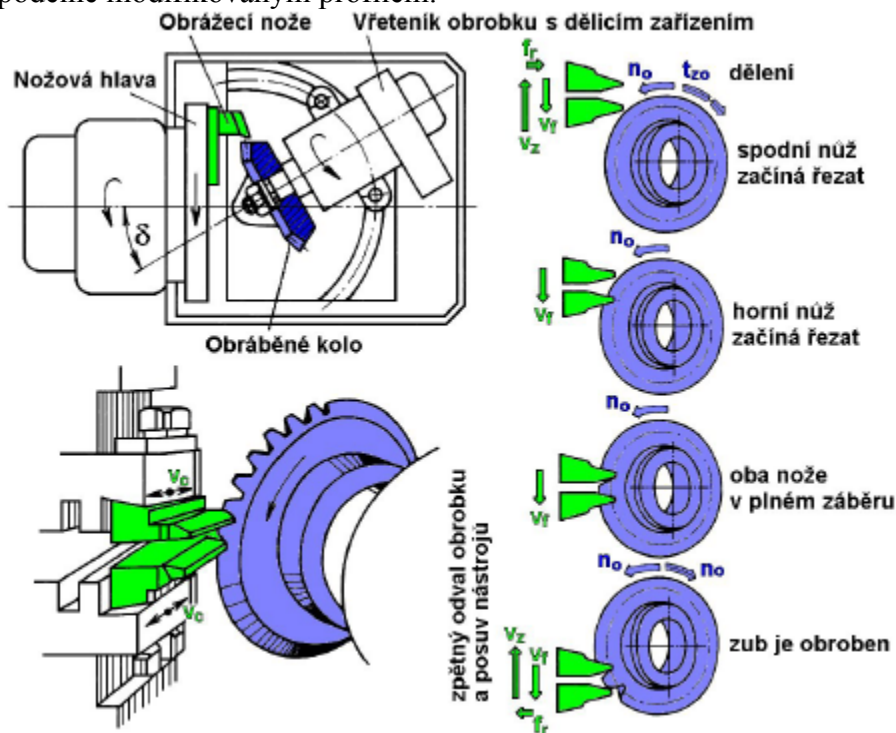
Obr. 2.18 Kinematické schéma obrázení ozubení kuželového kola podle šablony

K výhodám tohoto způsobu obrábění patří možnost výroby přesného kuželového ozubení, u kterého se modul zubů zmenšuje směrem k vrcholu kužele obráběného kola. K nevýhodám



patří nízká kvalita povrchu vyrobených zubů (nástroje obrábějí pouze svými špičkami) a menší produktivita.

**Obrázení dvěma noži** - je způsob výroby s odvalem boku zubu - obr. 2.19. Nože lichoběžníkového profilu, upnuté v otočné hlavě, konají řezný pohyb ( $v_c$ ) ve směru povrchových přímk boků zubů. Jejich ostří představují zubovou mezeru pomyslného plochého základního kola (kuželové kolo s úhlem roztečného kužele  $\delta = 90^\circ$ ), se kterým je obráběné kolo v záběru. Boky vyráběných zubů ve tvaru evolventy jsou vytvořeny jako obálka postupných poloh břitů nástrojů při záběru obráběného a základního kola ( $n_o$  - rotace obráběného kola,  $v_f$  - posuvový pohyb nožů odvozený z rotace nožové hlavy). Po obrobení jednoho zubu (každý nůž obrábí jeden bok) se nožová hlava i obrobek vrátí do výchozí polohy a obrobek se dělicím zařízením pootočí o jednu rozteč. Tímto způsobem se hrubují nebo dokončují ozubená kola do hodnoty modulu  $m = 20$  mm a průměru 1200 mm. Na některých typech strojů lze obrázením dvěma noži vyrábět kuželová kola se šikmými zuby, s výskově i podélně modifikovaným profilem.

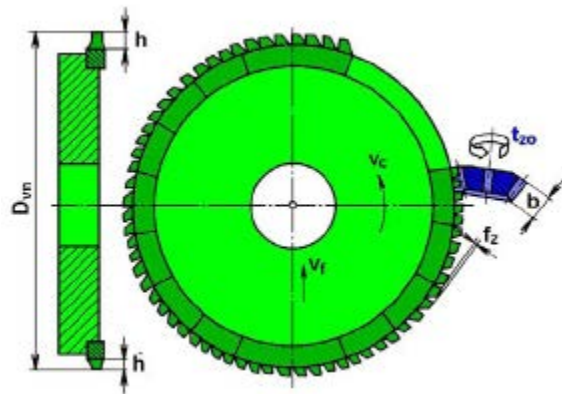


Obr. 2.19 Odvalovací obrázení ozubení kuželového kola dvěma noži

### Protahování

Tento způsob výroby ozubení kuželových kol s přímými zuby (obr. 2.20) se uplatňuje ve velkosériové a hromadné výrobě, zejména v automobilovém průmyslu. Nástrojem je vodorovně upnutý kotoučový nástroj (protahovák) o průměru 450 až 600 mm, který má na svém obvodu mechanicky upevněné segmenty s jednotlivými břity odstupňovanými ve tvaru zubové mezery. Profily břitů jsou vytvořeny kruhovými oblouky, kterými je nahrazeno evolventní zakřivení boku zubu, velikost profilu jednotlivých břitů se po obvodě nástroje postupně zvětšuje. Nástroj koná rotační pohyb a posouvá se podél zubu od menšího profilu k většímu, při průchodu části s vynechanými břity je obrobek pomocí dělicího zařízení otočen o jednu zubovou mezeru. Protahování je velmi produktivním způsobem výroby, vzhledem k velmi krátkým časům potřebným pro obrobení jedné zubové mezery (řádově v sekundách).





Obr. 2.20 Protahování ozubení kuželového kola

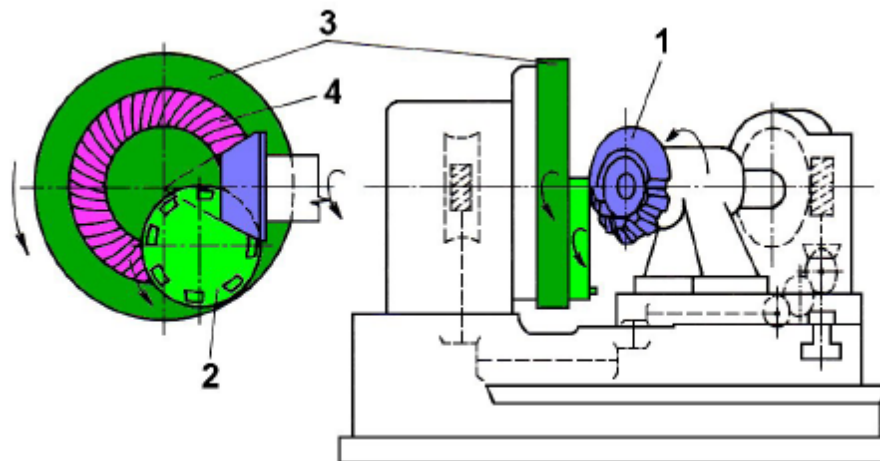
### 1.3.2 Obrábění kuželových kol se zakřivenými zuby

Obrábění ozubení kuželových kol se zakřivenými zuby se provádí odvalovacím frézováním následujícími způsoby:

- metoda Gleason - kruhově zakřivené zuby (ozubení Zerol, Hypoid),
- metoda Oerlikon - zuby zakřivené podle prodloužené epicykloidy (eloidní ozubení),
- metoda Klingelnberg - zuby zakřivené podle prodloužené evolventy (paloidní ozubení) nebo epicykloidy (cyklopaloidní ozubení).

**Metoda Gleason** je odvalovací frézování kuželových kol dělicím způsobem pomocí čelní nožové hlavy (obr. 2.21). Princip obrábění vyplývá ze záběru základního kola (4) s obráběným ozubeným kolem (1). Základní kolo je tvořeno unášecí deskou (3), na níž je upnuta čelní nožová hlava (2).

Nože frézovací hlavy mají lichoběžníkový profil a jsou uspořádány obvykle za sebou, s vystřídáními vnějšími a vnitřními břity. Řezná rychlost, která není vázána na ostatní pracovní pohyby, je určena rotací frézovací hlavy. Obrobek se nejprve přisune na hloubku zubové mezery a odvalovacím pohybem se frézuje celá zubová mezera. Pak se obrobek odsune, nastane odval do výchozí polohy, kterým se uskuteční dělení na další zub a cyklus se opakuje.



Obr. 2.21 Frézování ozubení kuželových kol se zakřivenými zuby způsobem Gleason

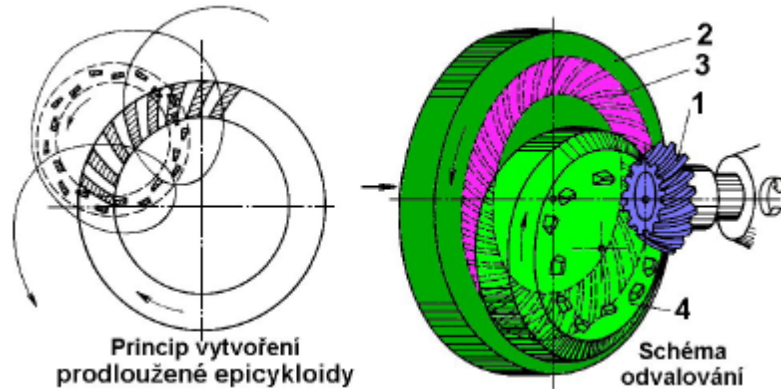
1 - obráběné kolo, 2 - nožová hlava, 3 - unášecí deska, 4 - pomyslné základní kolo

**Metoda Oerlinkon** je odvalovacím frézováním čelní nožovou hlavou s plynulým odvalem. Ozubení vzniká při kombinaci tří pohybů, a to rotačním pohybem nožové hlavy, otáčením obrobku, které je současně dělicím pohybem a natáčením kolébky, na níž je výstředně upnuta čelní nožová hlava. Jednotlivé břity čelní nožové hlavy (s přímkovým ostřím) jsou uspořádány po skupinách tak, že tvoří části samostatných spirál. Tento způsob výroby je





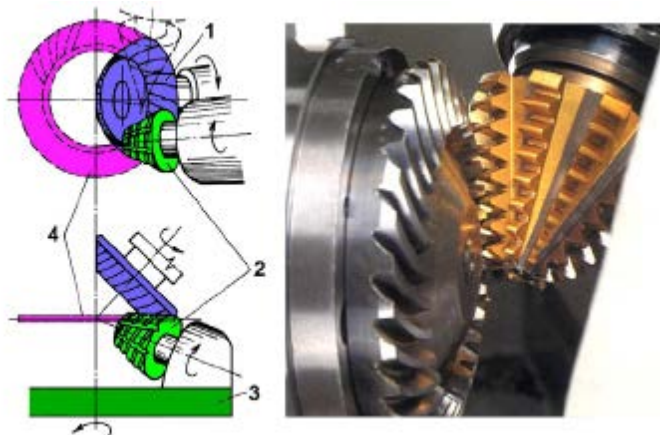
s oblibou využíván pro výrobu kol v kusové, sériové i hromadné výrobě s moduly 3 až 15 mm, do průměru kol 650 mm.



Obr. 2.22 Frézování kuželových kol metodou Oerlikon

1 – obrobek, 2 – unášecí deska, 3 – pomyslné základní kolo, 4 – nožová hlava

**Metoda Klingelberg** je odvalovací frézování kuželových kol se zakřivenými zuby plynulým odvalem kuželovou odvalovací frézou. Toto ozubení je shodné s ozubením Oerlikon s druhem G. Rozdíl tkví ve způsobu podélné modifikace. Obrábění podobně jako u metody Oerlikon se vytváří kombinací tří pohybů: rotačního pohybu frézy a obrobku a odvalovacího pohybu frézy na unášecí desce. Způsob je vhodný pro kusovou a malosériovou výrobu kuželových ozubených kol s evolventním zakřivením zubů, s moduly 1 až 7 mm.



Obr. 2. 23 Frézování kuželových kol s paloidním ozubením metodou Klingelberg

1 – obráběné kolo, 2 – kuželová odvalovací fréza, 3 – unášecí deska,  
4 – pomyslné základní kolo

Výroba kol s cyklopaloidním ozubením se provádí odvalovacím frézováním čelní nožovou hlavou. Princip je stejný jako u způsobu Oerlikon. Rozdíl spočívá v konstrukci nožové hlavy, která je dvoudílná a uspořádaná tak, že všechny vnější nože jsou v jedné části a vnitřní nože v druhé části hlavy. Obě části se mohou vzájemně posouvat, což umožňuje vnitřním i vnějším nožům vytvářet křivky s různými poloměry křivosti. Tím vzniká požadované zakřivení s podélnou modifikací tvaru zubu. Je to velmi produktivní způsob výroby kuželových kol menších a středních modulů do průměru až 850 mm.

## 1.4 VÝROBA ZÁVITŮ

Závity jsou konstrukčně technologické prvky součástí. Ve strojírenství jsou závity používány jako důležité spojovací nebo pohybové elementy výrobků. Přesnost a kvalita má vliv na správnou funkci a spolehlivost. Technologii výroby závitů je možno rozdělit na:



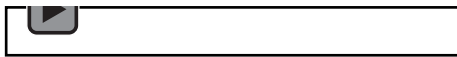
- lití a lisování v plastickém tvaru, což je proces uplatňovaný při lisování termoplastů a termosetů,
- obrábění (nejrozšířenější způsob výroby závitů),
- tváření (použitelné u tvárných materiálů).

Náplní této kapitoly je popis závitových nástrojů a metod, kterými jde vyrobit vnější i vnitřní závit, tj. drážku předepsaného profilu probíhající ve šroubovici na válcové nebo kuželové ploše. Cílem je zaměřit se na výrobu závitů těmito způsoby:

- řezáním (strojně i ručně),
- soustružením,
- frézováním,
- broušením (přesněji i lapováním),
- tvářením.



#### Audio 1.2 Výroba závitů



### 1.4.1 Řezání závitů

#### Řezání vnějších závitů

Pro ruční i strojní řezání vnějších závitů se používají různé druhy dělených a nedělených závitových čelistí. Závitová čelist je vlastně matice, která má v tělese vyvrtané drážky, vytvářející řezný klín a odvádějící třísky.

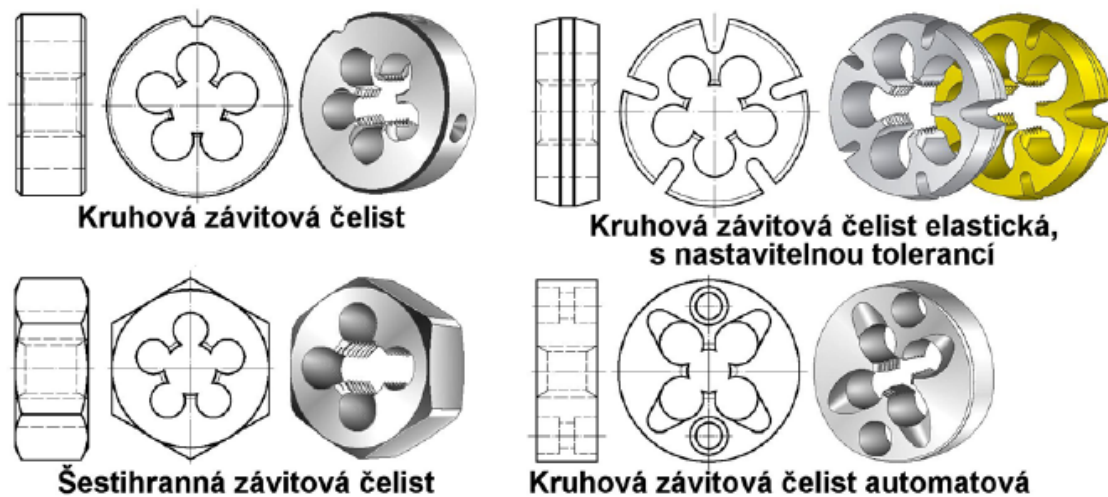
Vyrábí se převážně z nástrojové legované nebo rychlořezné oceli (19 802, 19 830) s tvrdostí řezné části 680 až 830 HV, a to s povlakem i bez nich. Při řezání se čelisti otáčejí kolem osy (hlavní pohyb) a podle stoupání řezaného závitu (vedlejší pohyb) se ve směru osy posouvají. Postupným odebráním třísky se pak vytváří povrch závitu předepsaného profilu a rozměru.

Závitovými čelistmi lze řezat závity metrické (standardní, jemné, trapézové), unifikované hrubé i jemné závity, Whitworthovy závity (trubkové, kuželové a válcové závity, oblé závity, i další typy závitů v závislosti na sortimentu výrobce čelistí.

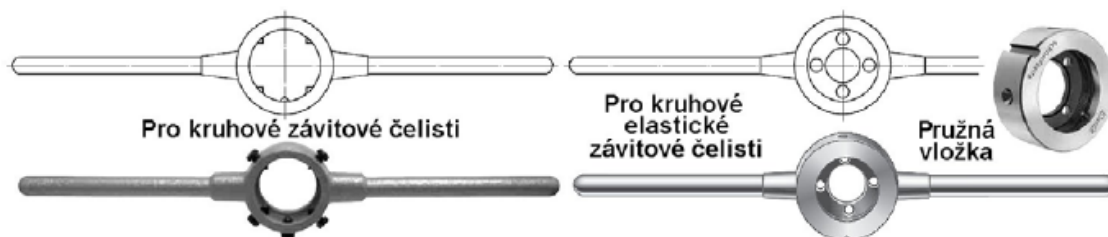
Kruhové závitové čelisti se vyrábějí pro levý i pravý závit. Mají řezný kužel na obou čelních plochách a jsou vhodné i pro řezání na soustruhu. Při ručním řezání má výchozí polotovar tvar válce odpovídající průměru, u větších průměrů (od 30 mm) se doporučuje na soustruhu předřezat a poté čelistmi dořezat.

Závitové čelisti jsou při ručním řezání upínány do vratidel a při strojním řezání do držáku, který umožňuje otáčení závitnice po nařezání potřebné délky závitu s nařezaným šroubem. Pro strojní řezání závitů na soustruzích se využívá strojních automatových závitových čelistí. Z ekonomického hlediska se doporučuje řezat závity jednou stranou až do otupení a poté otočit a použít druhý řezný kužel.





Obr. 3.1 Závité čelisti



Obr. 3.2 Vratidla pro kruhové závitové čelisti

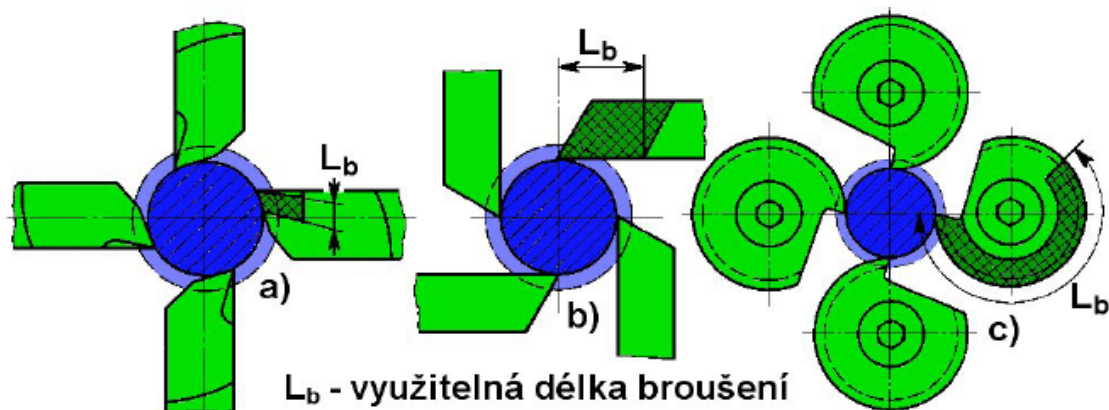
Pro strojní řezání závitů na soustruzích se využívají automatové závitové čelisti nebo produktivní závitové hlavy viz obr. 3.2 s radiálními (a), tangenciálními (b) nebo kotoučovými noži (c).

Radiální čelisti se ustavují na požadovaný průměr stavěcími šrouby a natáčecí objímkou podle kalibru nebo vzorového šroubu. Maximálně vyrobitelný závit touto metodou je metrický závit M60. Tangenciální čelisti jsou uloženy ve výkyvném držáku a posuvně upnuty v rybinové drážce. Těmito čelistmi je možno vyrobřit maximálně závit M64. Kotoučové nože mají menší průměr než předchozí dva typy. Jsou výrobně jednoduché a vykazují dlouhou životnost, a to z důvodu vysokého počtu přestřehů.

Nože závitových hlav jsou hřebínkové (břit je vytvořen řadou za sebou umístěných závitových profilů). První profily jsou seříznuté, proto lze závit vyříznout najednou, bez radiálního přísuvu. Posuv obrobku je buď nucený, nebo se obrobek samočinně zařezává do čelisti. Čelisti hlavy se po vyříznutí požadované délky závitu automaticky rozevřou. Řezná rychlost (měřená na vnějším průměru závitu) se obvykle volí v rozmezí 4 až 15 m.min<sup>-1</sup>.

Před začátkem řezání je nutno zajistit, zda materiál a hlava jsou v jedné ose, aby nedošlo k vyštípnutí čelisti, a tím ke znehodnocení celé sady. Ze stejného důvodu se doporučuje osoustružit na materiálu kuželové sražení. Přesnost závitu je závislá na počátečním tlaku čelisti na materiál. Proto je nutno zajíždět čelistmi do záběru zvolna. Zvláště opatrně se musí řezat závity malých průměrů. Třisky vzniklé řezáním nesmějí ucpávat čelisti a vnikat do hlavy. Tomu lze zabránit přiváděním procesní kapaliny otvorem v hlavě.

Závitové hlavy se používají pro řezání závitů na hrotových soustruzích, revolverových a automatických soustruzích, dále také na speciálních závitořezných strojích. Ruční závitové hlavy se používají nejčastěji pro řezání závitů na trubkách pro plynové a vodovodní potrubí.

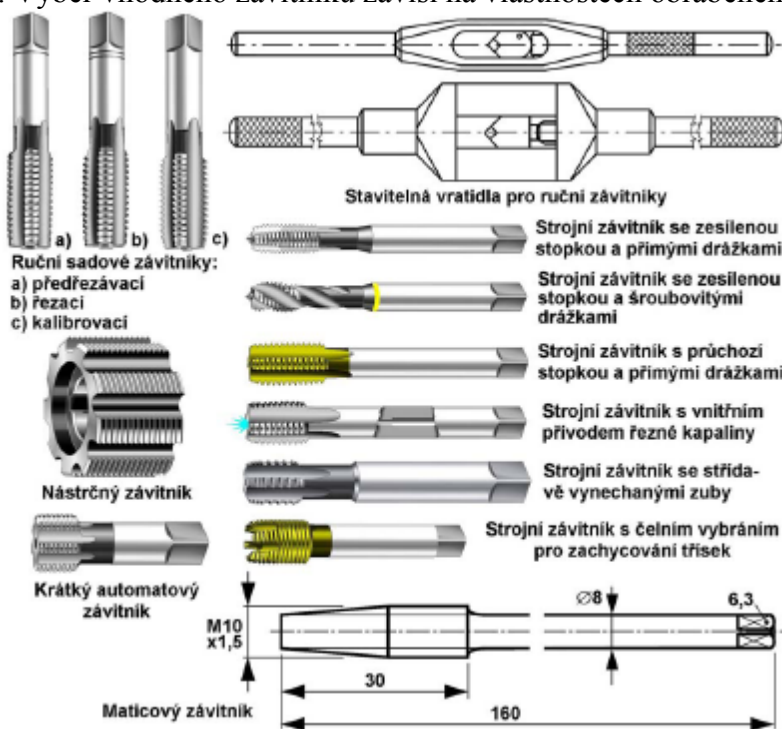


$L_b$  - využitelná délka broušení

Obr. 3.3 Schémata typů nožových hlav  
a – radiální čelisti, b – tangenciální čelisti, c – kotoučové nože

### Řezání vnitřních závitů

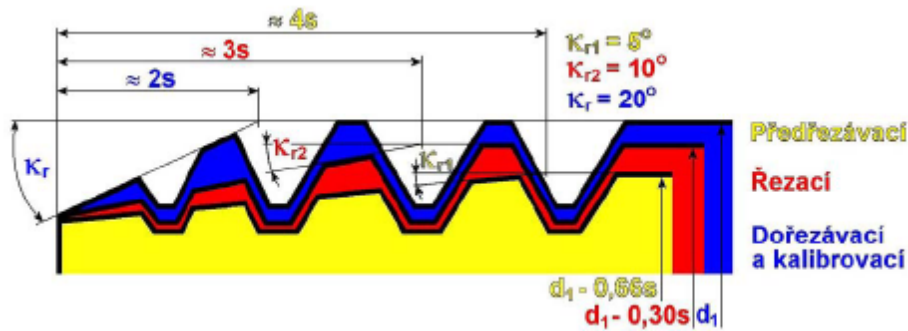
Pro strojní i ruční řezání vnitřních závitů se používají tzn. závitníky. Jsou vyráběny z rychlořezné oceli nebo slinutých karbidů, a to povlakované i nepovlakované. Závitník je v podstatě šroub s náběhovým kuzelem, ve kterém jsou vytvořeny břity jednou až osmi drážkami. Potřebných řezných úhlů u břitů je dosaženo vhodným tvarem drážek a podbroušením. Výběr vhodného závitníku závisí na vlastnostech obráběného materiálu.



Obr. 3.4 Strojní a ruční sadové závitníky

Při ručním řezání závitu se používá sady dvou nebo tří závitníků, tzv. sadové závitníky. Dva závitníky se používají pro řezání jemných závitů. První z nich závit předřeže, druhý řeže a třetí dořezává a kalibruje. Tvar řezných kuželů jednotlivých závitníku v sadě je na obr. 3.5. Závitníky v pořadí první, druhý, třetí odeberou 60, 30 a 10 % materiálu. Upínají se do vratidel různé konstrukce.





Obr. 3.5 Tvar řezných kuželů ručních sadových závitníků

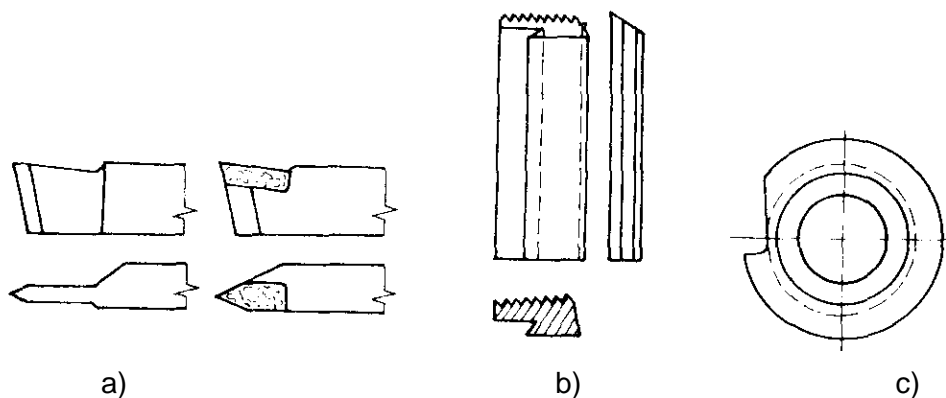
Pro strojní řezání se používá obvykle jeden s krátkým řezným kuzelem s přímými nebo šroubovitými drážkami, které lépe odvádějí třísku z místa řezu. Do velikosti závitů M60 se používají se stopkou, pro větší průměry jsou nástrčné. Upínají se do závitových hlav, které umožňují osové vyrovnání. Efektivní jsou stroje - speciální závitorezy nebo vrtačky, které umožňují automatickou reverzaci smyslu otáčení pracovního vřetene při najetí na narážku.

Pro výrobu matic (ruční i strojní) se používají maticové závitníky. Mají dlouhý řezný kužel, krátkou závitovou část a průchozí stopku. Výhodou je, že není nutná reverzace závitníku, protože dlouhá stopka pojme určitý počet hotových matic, takže se závitník nemusí často uvolňovat. Na stejném principu je založena konstrukce závitníku automatických strojů pro hromadnou výrobu matic. Stopka, po které odcházejí hotové matice, je zahnutá. V místě řezné části je pouzdro se šestihrannou dírou, do něhož jsou přiváděny skluzem matice ze zásobníku. Rotační pohyb vykonává buď závitník, nebo pouzdro, do něhož se přivádějí matice. Hotové matice vypadávají ze závitníku přímo do palety.

#### 1.4.2 Soustružení závitů

Závity se soustruží na univerzálních, revolverových, poloautomatických a automatických soustružích. Posuv nástroje na otáčku je roven stoupání soustruženého závitu. Pro soustružení vnějších i vnitřních závitů se používají speciální závitové nože, jejichž profil je odvozen z profilu řezaného závitu. Nože bývají celistvé, vyrobené z rychlořezné oceli nebo s připájenou destičkou, popř. s VBD mechanicky upnutou. Umožňují výrobu levých i pravých závitů.

Závitové nože jsou buď jednopřilové (radiální nebo kotoučové) nebo hřebenové (víceprofilové prizmatické nebo kotoučové). Jednopřilovým se řeže závit postupně na několik záběrů, u hřebíkových nožů jsou první profily zkoseny, takže umožňují vyřezat závit na jeden záběr.

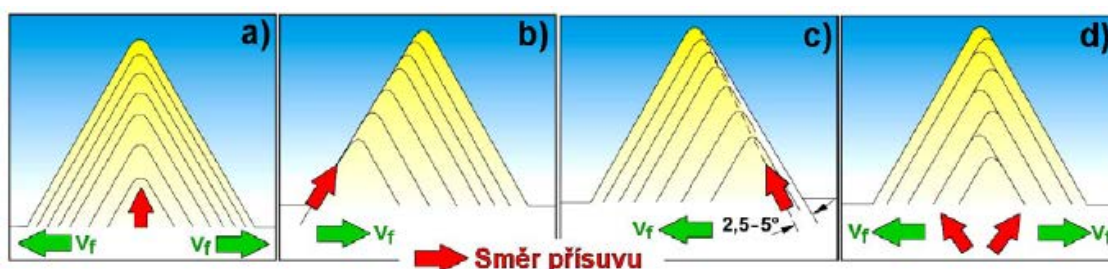


Obr. 3.6 Závitové nože a) ploché, b) prizmatický, c) kotoučový

Způsoby postupného soustružení závitů závitovým nožem jsou následující. Lze v zásadě řezat závit podle obr. 3.7 třemi způsoby:



- radiálním přísuvem (obr. 3.7 a), který je prováděn kolmo na osu rotace. Dochází k rovnoměrnému úběru obráběného materiálu na obou bocích závitů a tím k rovnoměrnému opotřebení po obou bocích závitorezného nástroje. Tento způsob je vhodný pro výrobu závitů s menším stoupáním do 3 mm u obrobků z litiny a z ocelí náchylných ke zpevňování za studena, jako jsou zejména austenitické nerezavějící oceli. Nevýhodou je náchylnost ke kmitání u větších stoupání. Jedná se o nejčastěji používaný způsob.
- bočním přísuvem (obr. 3.7 b) se snižuje tepelné zatížení špičky a tím i opotřebení nástroje. Tříška je dobře tvarována a odváděna z místa řezu. Používá se pro řezání závitů s větším stoupáním a u trapézových závitů. Nevýhodou je tření na pravém břitu nástroje, nepravidelné opotřebení a horší jakost na pravé straně závitů.
- bočním přísuvem s odklonem (obr. 3.7 c) 3° až 5° se eliminuje tření na boku profilu. Upřednostňuje se při stoupáních nad 3 mm a při řezání lichoběžníkových závitů.
- střídavým přísuvem (obr. 3.7 d), který se doporučuje u velmi velkých stoupání a materiálu se špatně se utvářející třískou. Výhodou je rozložení úběru materiálu a opotřebení, nevýhodou náročnost na programování strojů.



Obr. 3.7 Způsoby postupného soustružení závitů

*radiální přísluv, b) boční přísluv, c) boční přísluv s odklonem, d) střídavý přísluv*

Pro nože z rychlořezné oceli se volí řezná rychlost 10 až 30  $\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$  pro hrubování a 20 až 60  $\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$  pro obrábění načisto. Při soustružení noži s břity ze slinutých karbidů lze soustružit závitů rychlostí až do 160  $\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$ . Současné nože s vyměnitelnými břitovými destičkami umožňují řezat závitů rychlostí přes 200  $\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$ .

### 1.4.3 Frézování závitů

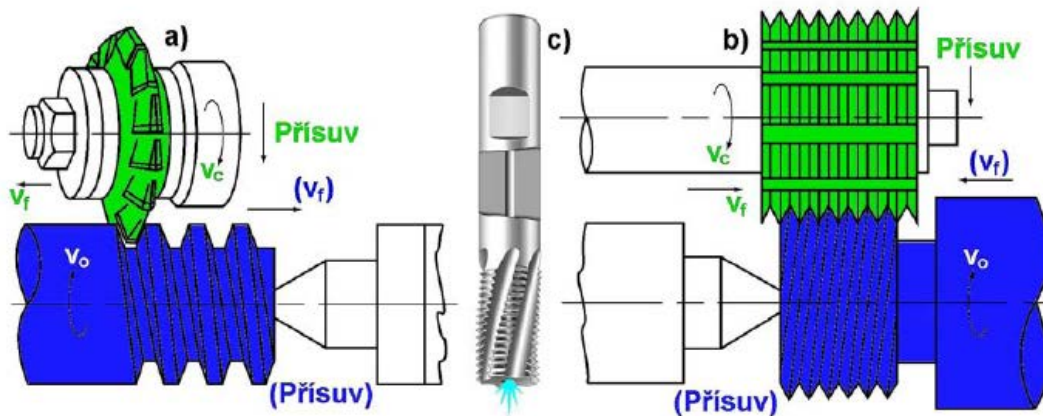
Pro frézování závitů se používají tyto druhy frézovacích nástrojů:

- kotoučové závitové frézy,
- hřebenové válcové závitové frézy,
- stopkové závitové frézy.

Kotoučové závitové frézy jsou jednoprofilové nástroje, které se používají pro frézování dlouhých vnějších závitů, například pohybových šroubů. Pro frézování je fréza vykloněna do směru tečny šroubovice středního průměru závitů. Fréza má profil závitové mezery a je vykloněna o úhel stoupání závitů. Za jednu otáčku obrobku se fréza nebo obrobek posune o stoupání závitů. Stejnou frézou lze frézovat závitů různých průměrů s odpovídající změnou úhlu stoupání šroubovice, je-li rozteč závitů stejná.

Hřebenové válcové závitové frézy se vyrábějí buď jako nástrčné nebo stopkové. Válcová plocha je tvořena závitovým profilem, přerušeným drážkami (přímými nebo ve šroubovici). Fréza a obrobek konají rotační pohyb kolem své osy a současně se musí posouvat relativně proti sobě.



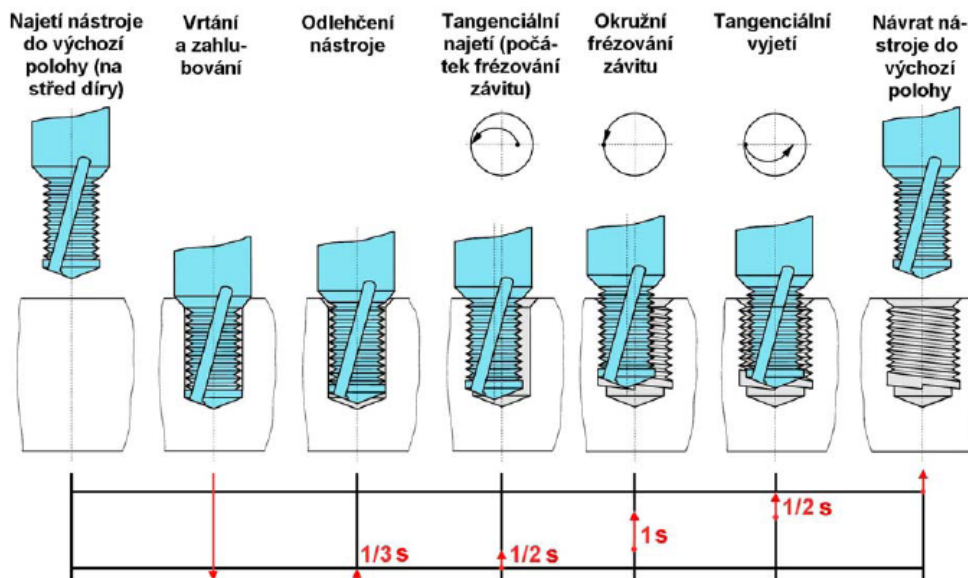


Obr. 3.8 Metody frézování závitů: a) kotoučová fréza, b) hřebenová válcová nástrčná fréza, c) hřebenová válcová stopková fréza s vnitřním přívodem řezné kapaliny

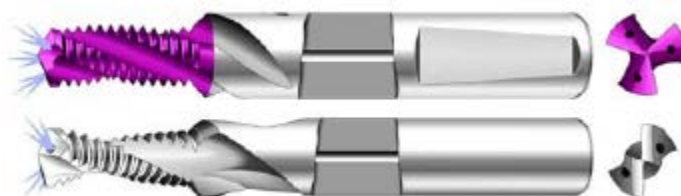
Obkružovací frézovací hlavy umožňují velmi produktivně frézovat vnější, vnitřní pravé i levé závit. Frézovací hlava s jedním až čtyřmi noži s profilem závitů se otáčí řeznou rychlostí 100 až 300  $\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$  a současně se relativně posouvá vzhledem k ose obrobku za jednu otáčku obrobku o jedno stoupání závitů. Výhodou je, že jedním nástrojem lze obrábět závitů různých průměrů a délek. Limitujícím faktorem je pouze použitý CNC stroj.

Pro frézování závitů se používají také tyto speciální metody:

- Metoda BGF – umožňuje během jednoho pracovního cyklu provést 3 pracovní operace bez výměny nástroje (vrtání díry, sražení hrany a frézování závitů). Ušetří se tím náklady na další nástroje a čas na výměnu těchto nástrojů. Na obr. 3.9 je vyobrazena monolitní vrtací závitová fréza BGF firmy Emuge-Franken, která se vyrábí z nepovlakovaných i povlakovaných slinutých karbidů. Frézy BGF mají vnitřní přívod řezné kapaliny a jsou vyráběny v provedení se dvěma nebo třemi šroubovitými drážkami.

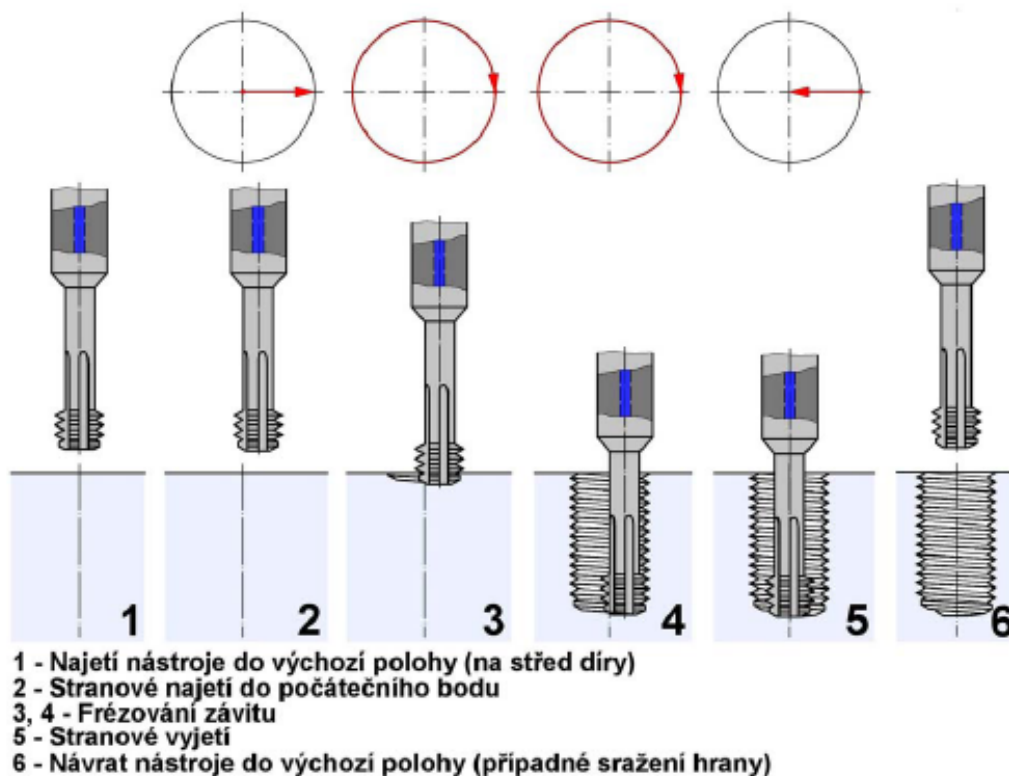


Obr. 3.9 Cyklus frézování závitů frézou BGF



Obr. 3.10 Monolitní SK vrtací závitové frézy BGF firmy Emuge-Franken

- Metoda ZBGF – pro výrobu vnitřních závitů pomocí kruhové interpolace do plného materiálu bez předchozího vyvrtání díry. Monolitní vrtací závitové frézy řady ZBGF firmy Emuge-Franken pro výrobu vnitřních závitů frézují závit pomocí kruhové interpolace do plného materiálu, bez předchozího vyvrtání díry. Mají vnitřní přívod rezné kapaliny a jsou vyráběny v provedení se třemi nebo čtyřmi přímými nebo šroubovitými drážkami.



Obr. 3.11 Cyklus frézování závitu frézou BGF



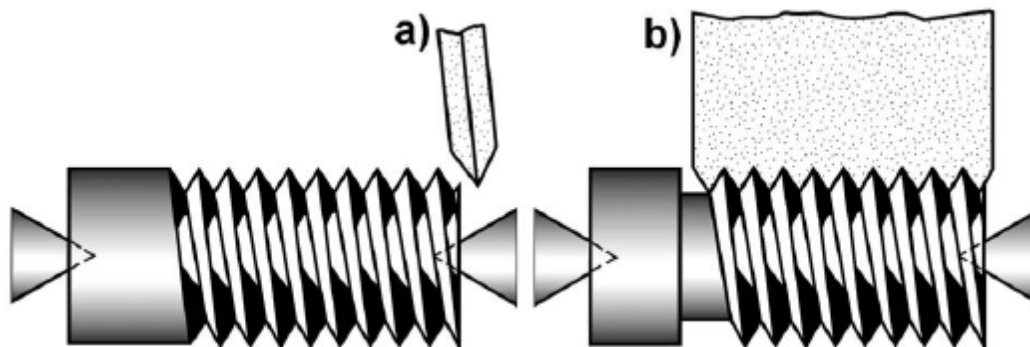
Obr. 3.12 Monolitní SK vrtací závitové frézy ZBGF firmy Emuge-Franken

#### 1.4.4 Broušení závitů

Broušení závitů se používá při výrobě přesných šroubů, u kterých je kladen důraz na drsnost, profil a stoupání závitů. Nejčastěji se brousí na speciálních bruskách viz obr. 3.13 jednoprofilovým nebo hřebenovým kotoučem.







Obr. 3.13 Broušení vnějších závitů a) jednoprofilový kotouč, b) hřebenový kotouč

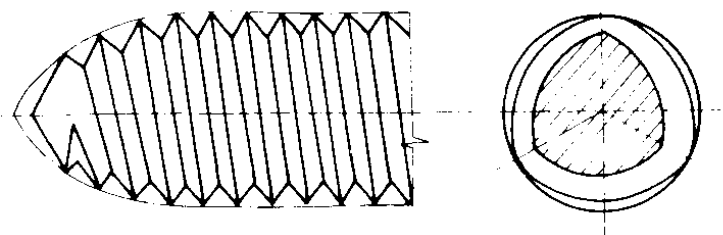
Jednoprofilový kotouč je při broušení vykloněn o úhel stoupání závitů a nastaven na plnou hloubku závitů. Obrobek se otáčí rychlostí 1 až 4 m.min<sup>-1</sup> a posouvá se v axiálním směru o délku stoupání závitů na jednu otáčku. Dosahuje se tak nejvyšší přesnosti, ale při malé produktivitě.

Hřebenový kotouč má na svém obvodu několik negativních profilů závitů. Je nastaven rovnoběžně s osou obrobku a postupně se axiálně posouvá k obrobku až k dosažení plné hloubky závitů. Obrobek se přitom otáčí a posouvá. Závitů se stoupáním menším než 1mm se dají brousit bez předchozího obrábění.

#### 1.4.5 Tváření závitů

Je to nejproduktivnější způsob výroby závitů. Nedochozí k úběru materiálu ve formě třísky, ale k deformaci materiálu. Deformovaný materiál se zpevňuje, přičemž není poškozena vnitřní struktura materiálu. Proto válcované závitů snesou větší zatížení než obráběné.

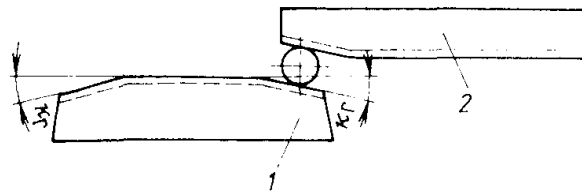
Tváření vnitřních závitů se provádí speciálními tvářecími závitníky běžně v materiálech s nižší pevností (do 500 MPa) a tažností min. 12 %, zejména v hliníkových slitinách, slitinách mědi a ocelích nižší pevnosti. Předvrtaná díra musí být větší než střední průměr závitů. Tvářecí závitník má speciální tvar tvářecí části (viz obr. 3.14). Předností tohoto způsobu je, že odpadá odstraňování třísek po vyříznutí závitů. Jakost a mechanické vlastnosti závitů jsou lepší než u závitů řezaného.



Obr. 3.14 Přečtová část a průřez tvářecím závitníkem

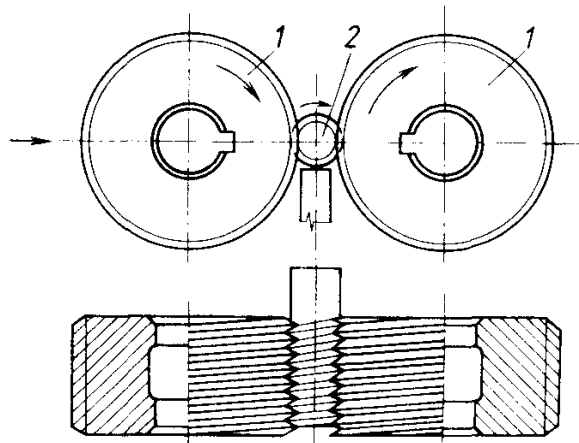
Nejproduktivnější metoda výroby vnějších závitů je válcování závitů. Podstata spočívá ve vytlačování závitů pomocí plochých nebo kotoučových čelistí, které mají tvar profilu závitů. Protože při vnikání válcovacích čelistí do materiálu se zvětšuje jeho výchozí průměr, je třeba volit výchozí průměr menší, než je požadovaný vnější průměr závitů.

Válcování závitů se provádí plochými válcovacími čelistmi zejména pro výrobu šroubů. Ploché válcovací čelisti jsou zobrazeny na obr. 3.15. Na povrchu mají vytvořeny drážky s negativním profilem závitů (pro každou rozteč závitů je zvláštní pár čelistí) a na náběžné hraně zkosení pro usnadnění vniknutí válcovaného dířku. Při každém pohybu čelisti je vyválcován závit na jednom dířku, který přitom vykoná asi dvě otáčky.

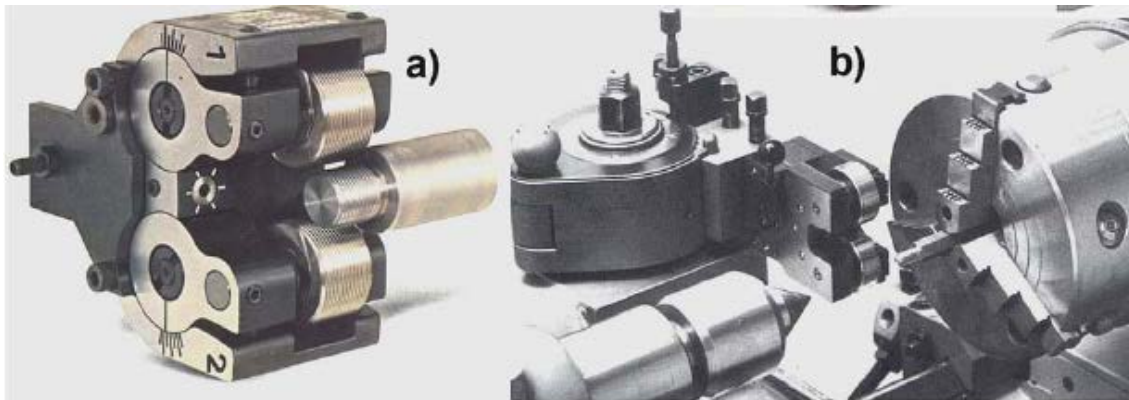


Obr. 3.15 Ploché válcovací čelisti závitů (1 – pevná část, 2 – pohyblivá část)

Závity se také válcují kotouči na válcování závitů (obr. 3.16). Funkční část těchto kotoučů tvoří vícechodý závit s negativním tvarem profilu válcovaného závitu. Závit se válcuje radiálním způsobem, oba kotouče jsou hnané, otáčejí se ve stejném smyslu a při válcování se přibližují.



Obr. 3.16 Radiální válcovací čelisti závitů

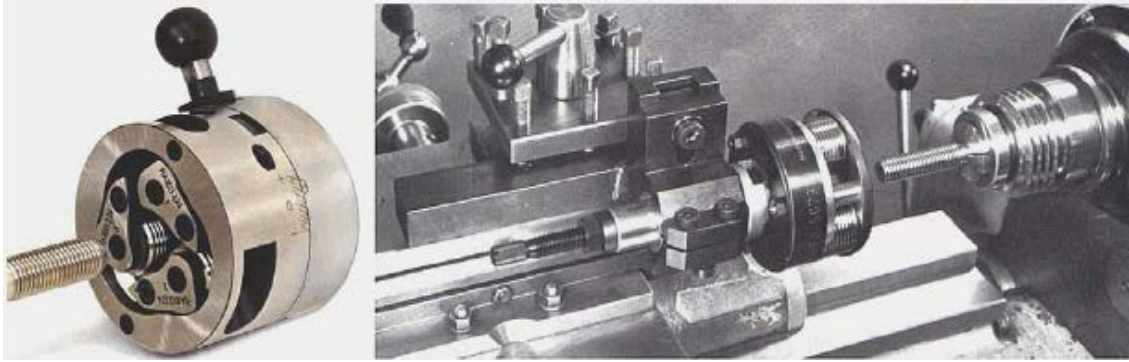


Obr. 3.17 Radiální způsob válcování závitu

a) hlava s kotoučovými čelistmi, b) sestava stroj - nástroj - součást

Axiálním způsobem se na soustruzích válcují závity pomocí závitových válcovacích hlav. Tyto hlavy jsou buď rotační nebo stojící. Rotační hlava, upnutá ve vřetenu se otáčí, stojící hlava je upnutá v revolverové hlavě nebo koníku a otáčí se obrobek. Pro válcování se používá sada tří kotoučů, které jsou vůči obrobku uloženy v radiálním směru a mají osy vzhledem k ose obrobku mimoběžné.





Obr. 3. 18 Axiální způsob válcování závitu

a) hlava s kotoučovými čelistmi, b) sestava stroj - nástroj - součást

Zřejmou výhodou válcování je, že šrouby mají zmíněným zpevněním po tváření o 10 až 15 % vyšší pevnost v tahu a o 50 až 100 % vyšší mez únavy. Tomu napomáhá, že vlákna vzniklá po tváření polotovaru, nejsou porušena. Nevýhodou je horší tvarová přesnost a drsnost závitu. Válcování je vhodné pro materiály s pevností do 1 000 MPa (vyjimečně až do 1 200 MPa) s tažností větší než 8 %. U materiálů s pevností vyšší než asi 800 MPa se tváření závitu provádí za tepla.

## 1.5 VÝROBA KUŽELŮ

Kuželové plochy se používají k pevnému spojení strojních součástí, u nichž se požaduje přesná sousost a také k utěšňování vodovodních a plynovodních armatur. Rozdělujeme je na vnější a vnitřní.

Vnější kuželové plochy se vyskytují na upínacích stopkách nástrojů, jako jsou šroubovitě vrtáky, frézy, výstružníky, upínací trny, redukční vložky, středící hroty pevné i otočné a na mnoha jiných strojních součástech (obr. 4.1). Často používané kužele jsou normalizovány, např. u upínacích hrotů.

Vnitřní kuželové plochy se tvoří např. v dutinách upínacích vřeten obráběcích strojů vrtaček, frézek, soustruhů a brusek.



Obr. 4.1 Nástrojové kužele, upínací trny a redukční pouzdra

Výhodou nástroje s kuželovou stopkou vloženého do kuželové dutiny vřetene je, že lze snadno a rychle upnout do vřetene a vytvořit soustředné spojení bez vůle. U samosvorných



kuželů dojde k pevnému spojení, které může přenášet velké výkony. Podmínkou je však přesné obrobení a naprostá čistota obou spojovaných ploch. Samosvorné nástrojové kužele jsou např. metrické s kuželovitostí 1 : 20 a vrcholovým úhlem  $2^\circ 51' 52''$ .

### 1.5.1 Výpočet základních rozměrů kužele

Kužel je rotační těleso s kruhovou podstavou, které se stejnoměrně zužuje k vrcholu. Vrcholový úhel kužele  $\alpha$  je úhel, který spolu svírají dvě protilehlé povrchové úsečky. Polovina tohoto úhlu ( $\alpha/2$ ) je označován jako úhel sklonu kužele. Úhel sklonu kužele je buď na dílenském výkrese zakótován, nebo si jej lze vypočítat, popřípadě vyhledat v příslušných tabulkách. Kuželovitost se na výkrese přepisuje k ose kužele, sklon kužele k povrchové úsečce. Kužele se kótují různě, většinou v závislosti na způsobu výroby, měření, návaznosti na ostatní díly sestavy nebo u normovaných dílů podle příslušných norem.

#### Výpočet kuželovitosti

Kuželovitost  $k$  se udává jako poměr dvou čísel např. 1 : 20, což znamená, že na délce 20 mm se průměr kužele mění o 1 mm. Pro přímý kužel se kuželovitost  $k$  vypočte podle vzorce:

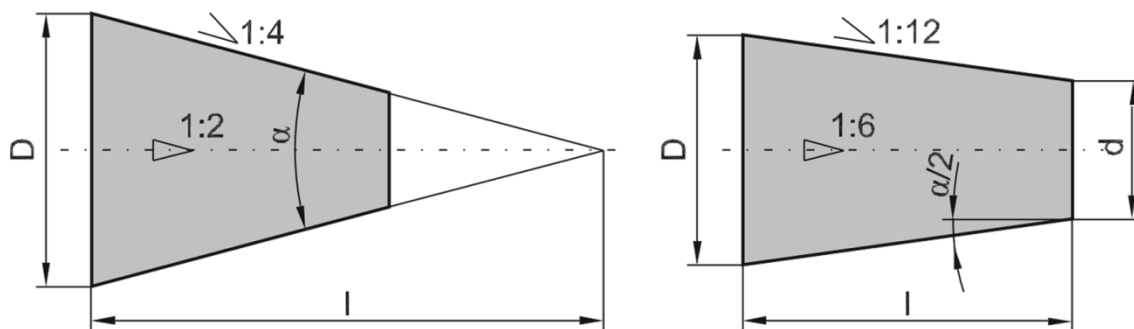
$$k = \frac{D}{l} \quad (4.1)$$

kde:  $D$  - velký průměr kužele,  
 $l$  - délka kužele.

Pro komolý kužel použijeme pro výpočet kuželovitosti  $k$  vzorec:

$$k = \frac{D-d}{l} \quad (4.2)$$

kde:  $d$  - malý průměr kužele.



Obr. 4.2 Hodnoty pro výpočet kuželů

#### Výpočet sklonu kužele

Sklon kužele je poloviční kuželovitost. Tato hodnota je důležitá pro výpočet úhlu sklonu kužele, který je potřebné znát pro seřízení stroje. U normalizovaných kuželů jsou úhly sklonu uvedeny ve strojnických tabulkách a není je proto třeba počítat.

V případě, že nemáme k dispozici příslušné tabulky, nejprve vypočteme sklon a využitím goniometrických funkcí převedeme na úhel. Například sklon se udává poměrem  $1 : 2x$ , tzn. na délce velikosti  $2x$  se změní poloměr o 1 mm. Z tangenty poměru odvěsen se určí úhel sklonu kužele  $\alpha/2$ .

Pro přímý kužel se sklon kužele vypočte:

$$s = \frac{D}{2l} = \frac{k}{2} \quad (4.3)$$

popřípadě pro komolý kužel

$$s = \frac{D-d}{2l} = \text{tg} \alpha / 2 \quad (4.4)$$



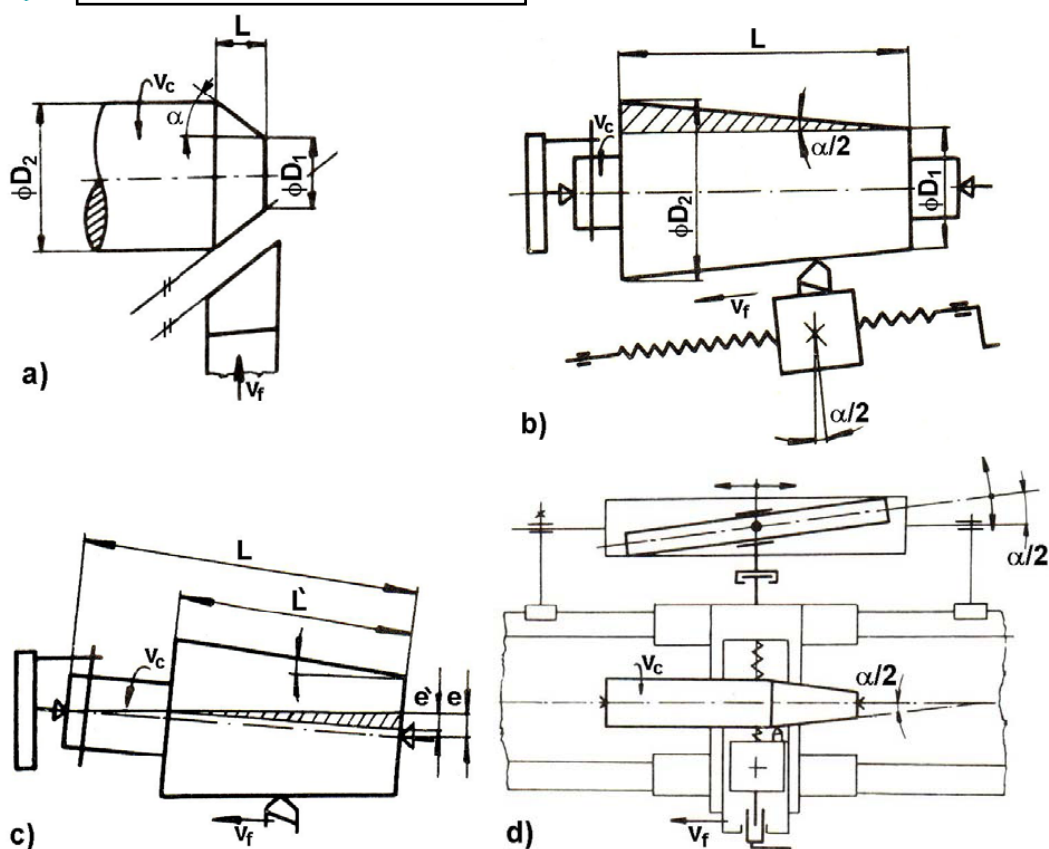
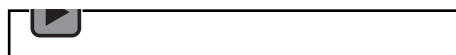
### Způsoby obrábění kuželových ploch

Kuželové plochy lze obrábět těmito způsoby:

- zapichovacím způsobem – velmi krátké kužele tvarovým nožem (viz obr. 4.3 a),
- natočením nožového suportu o polovinu vrcholového úhlu (viz obr. 4.3 b),
- vyosením koníku – pouze vnější velmi štíhlé kužele (viz obr. 4.3 c),
- pomocí vodícího pravítka (viz obr. 4.3 d),
- kuželovými výstružníky – pouze vnitřní kuželové plochy.



#### Audio 1.3 Obrábění kuželových ploch



Obr. 4.3 Soustružení kuželů

- a) zapichovací způsob - velmi krátké kužele, b) natočením nožového suportu,  
c) vyosením koníku - velmi štíhlé kužele, d) pomocí vodícího pravítka

Při **zapichovacím způsobu výroby kuželů** se nůž musí posouvat rovnoběžně s přední povrchovou úsečkou, a proto je nutno natočit nožové saně o úhel  $\alpha/2$ . Takto však lze soustružit jen poměrně krátké plochy. Nožové saně suportu se nastavují podle úhlové stupnice na nožovém suportu, úhloměrem, nebo pomocí vzorku či kalibru a číselníkového úchylkoměru.

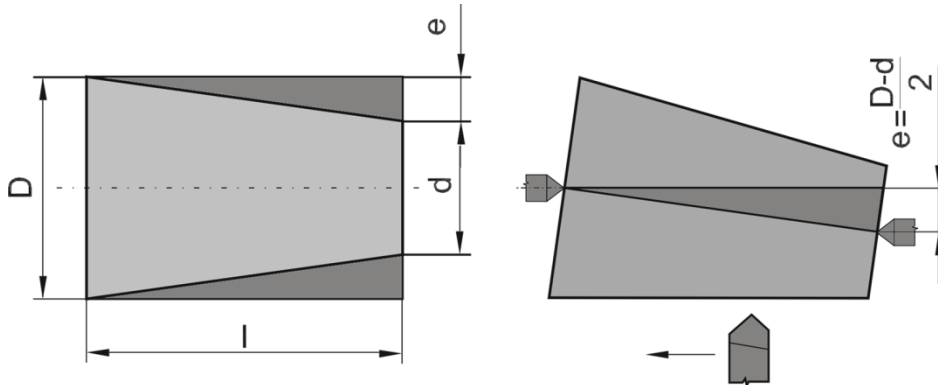
Nastavení nožových saní podle úhlové stupnice se provádí tak, že se nožové saně natočí z nulové polohy o předem vypočítanou hodnotu. Při nastavování pomocí kuželového kalibru se kalibr (vzorek) upne mezi hroty a číselníkový úchylkoměr upnutý v nožové hlavě. Dotyk úchylkoměru se stupnicí nastavenou na nulu se zlehka přitlačí ke kalibru, a pak se jím pojíždí podél kalibru. Je-li pootočení nožových saní správné, pak se ručička úchylkoměru nevychyluje.



Při **příčném vysunutí koníku** z osy soustružení vznikne na obrobku upnutém mezi hroty kuželová plocha. Délka příčného vysunutí se označuje jako excentricita. Toto vysunutí však může být jen malé, a proto se tímto způsobem soustruží jen táhlé kuželové plochy. Výhodou však je, že se dá použít strojního podélného posuvu suportu, čímž se zpravidla dosahuje hladké obrobenej plochy.

Výpočet excentricity  $e$  koníku se vypočte v závislosti na typu obrobku. Je-li žádaná kuželová plocha po celé délce obrobku (obr. 4.4) nebo jen na jeho části (obr. 4.5). Je-li kuželová plocha po celé délce obrobku, pak je potřeba vysunout koník o hodnotu excentricity:

$$e = \frac{D-d}{2} \quad (4.5)$$



Obr. 4.4 Příčné vysunutí koníku při soustružení kužele

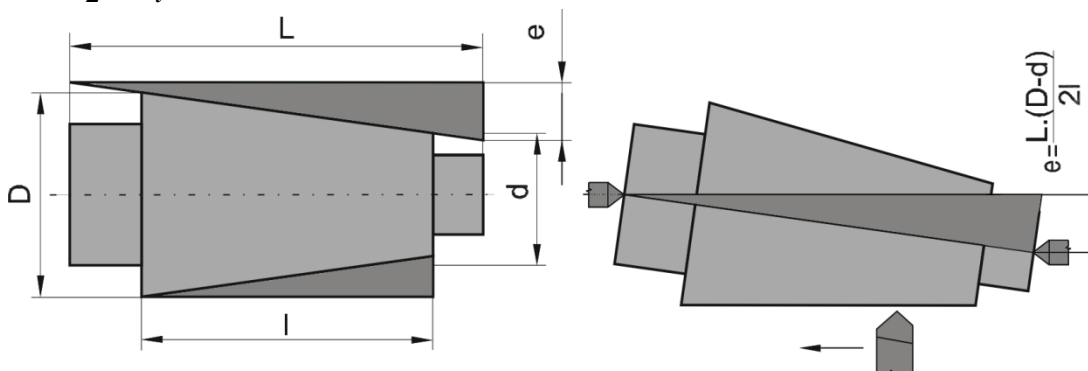
V případě, že je kuželová plocha jen na části obrobku, pak se na základě podobnosti trojúhelníků vypočte excentricita jako:

$$e : L = \frac{D-d}{2} : l \quad (4.6)$$

kde:  $L$  - délka celého obrobku v [mm],

$l$  - délka soustruženého kužele v [mm], z toho pak délka příčného vysunutí koníku bude:

$$e = \frac{D-d}{2} \cdot \frac{L}{l} \quad (4.7)$$



Obr. 4.5 Příčné vysunutí koníku při soustružení kuželové plochy části obrobku

Velikost příčného vysunutí koníku nemá přesahovat 1/50 délky obrobku, aby upínací hroty ve středících důlcích obrobku přiléhaly, neotlačovaly se, a tím se pak obrobek neuvolňoval.

**Pomocí vodícího (kopírovacího) pravítka** – pravítko bývá uloženo na konzole soustruhu na zadní straně stroje a je otočné kolem čepu na základní desce. Po pravítku se posouvají saně, jež jsou táhlem spojeny s příčnými saněmi. Vodicí pravítko se nastavuje pomocí úhlové stupnice, která je vytvořena na základní desce (na saních) pravítka. Rozsah nastavení bývá 10° až 15° na obě strany, tzn. pro vrcholový úhel 20° až 30°. Po nastavení úhlu sklonu kužele  $\alpha/2$  se pravítko zajistí šrouby.



Vnitřní kuželové plochy soustružené při pootočených nožových saních a pomocí vodícího pravítka se soustruží podle stejných zásad jako vnější kuželové plochy. K soustružení se použije nožů pro vnitřní soustružení, nebo vyvrtávacích tyčí.

K zásadám soustružení kuželových ploch neodmyslitelně patří seřizování a upínání nožů, kdy nůž musí být ustaven tak, aby špička jeho ostří byla přesně v ose rotace obrobku. Při nastavení špičky nože nad či pod osu soustružení se nedosáhne přesné kuželové plochy, ale namísto přímých povrchových úseček vzniknou hyperboly. Při soustružení kuželů při pootočených nožových saních nesmí být nůž se suportem odtlačován, aby nedocházelo k nepřesnostem kuželovitosti.

Upínání obrobků mezi hroty musí být souosé (při pootočených nožových saních nebo nožového pravítka), jinak by kuželovitost byla nepřesná i přes přesně nastavený úhel  $\alpha/2$ . Při soustružení několika stejných obrobků s kuželovou plochou při příčném vysunutí koníku musí být i délky obrobků a hloubky středících důlků stejné.

Řezné podmínky při soustružení vnějších i vnitřních kuželových ploch se volí v zásadě stejné jako při soustružení válcových ploch. Jen u součástí upnutých mezi hroty je při větším vysunutí koníku nutno volit menší průřez třísky, protože hrot nelícuje po celé ploše středícího důlku. Důlek by se velkým tlakem nadměrně opotřebovával, obrobek by se uvolňoval a po osoustružení by byl nepřesný. Řezné podmínky při soustružení kuželových děr kuželovými výstružníky jsou stejné jako při vystružování válcových děr válcovými výstružníky. Posuv na otáčku musí být plynulý, a to nejlépe v rozsahu od 0,02 do 0,05 mm.

**Kuželovými výstružníky** se obrábějí pouze vnitřní kuželové plochy s malým vrcholovým úhlem, a to postupným rozšiřováním válcové díry. Protože je nutno odebrat mnoho materiálu, používá se sady výstružníků o třech kusech. Nejvíce materiálu odebere předhrubovací výstružník s hrubými přerušovanými zuby. Hrubovací výstružník vyhrubuje předhrubovaný kužel, kterému dá správný tvar. Hladicí výstružník nemá břity přerušované a vyhrubovaná díra se jím proto vyhladí. U kuželů větších průměrů by bylo ubírání materiálu zdlouhavé, a proto se díra nejprve stupňovitě předvrtá vrtákem, nebo vysoustruží. Krátké táhlé kuželové díry se stupňovitě nepředvrtávají.



## 2 KONTROLNÍ OTÁZKY

- Jaké znáte metody výroby kuželů?
- Jaké znáte metody výroby čelních ozubení?
- Jaké znáte metody výroby šnekových ozubení?
- Jaké znáte metody výroby kuželových ozubení?
- Jaké znáte metody výroby závitů?
- K čemu slouží ševingování?
- Popište odvalovací způsob obrábění ozubení.
- Popište obrázení ozubených kol.
- Jak se vyrábí velké závitů?
- Čemu se musí rovnat posuv při soustružení šneků nebo závitů?
- Popište způsob a principy frézování závitů.
- Jak se vypočítá excentricita koníku při soustružení kužele?





### 3 PŘEDNÁŠKOVÝ TEXT SE VZTAHUJE K TĚMTO OTÁZKÁM.

- 22. Výroba ozubených kol – základní principy
- 23. Výroba závitů – základní principy
- 27. Výroba kuželů – základní principy



## 4 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] BILÍK, O. *Obrábění I. (2.Díl): Fyzikálně mechanické záležitosti procesu obrábění*. Ostrava: Vysoká škola báňská –TU Ostrava, 2002. 80 s. ISBN 80-248-0033-0.
- [2] BILÍK, O. *Obrábění II. (1.Díl): Fyzikálně mechanické záležitosti procesu obrábění*. Ostrava: Vysoká škola báňská –TU Ostrava, 1994. 132 s. ISBN 80-7078-228-5.
- [3] BILÍK, O. *Obrábění II. (2.Díl)*. Ostrava: Vysoká škola báňská –TU Ostrava, 2001. 118 s. ISBN 80-7078-994-1.
- [4] BRYCHTA, J. *Obrábění I. Návody pro cvičení 1. část*. Ostrava: Vysoká škola báňská - TU Ostrava, 1998. 84 s. ISBN 80-7078-436-9.
- [5] BRYCHTA, J. *Obrábění I. Návody pro cvičení 2. část*. Ostrava: Vysoká škola báňská - TU Ostrava, 1998. 120 s. ISBN 80-7078-470-9.
- [6] BRYCHTA, J. *Výrobní stroje obráběcí*. Ostrava: Vysoká škola báňská - TU Ostrava, 2003. 150 s. ISBN 80-248-0237-6.
- [7] HOFMAN, P. *Technologie montáže*. Plzeň: Vydavatelství Západočeské univerzity Plzeň, 1997. 90 s. ISBN 80-7082-382-8.
- [8] KOČMAN, K. *Speciální technologie obrábění*. Brno: PC-DIR Real, s.r.o., 1993. 213 s. ISBN 80-214-1187-2.
- [9] KOČMAN, K., PROKOP, K. *Technologie obrábění*. Brno: Akademické nakladatelství CERN Brno, s.r.o., 2001. 274 s. ISBN 80-214-196-2.
- [10] KRÍŽ, R., VÁVRA, P. a kol. *Strojírenská příručka*. Praha: Scientia, spol. s r. o., 1996. 220 s. ISBN 80-7183-024-0.
- [11] TICHÁ, Š. *Strojírenská metrologie část 1*. Ostrava: Vysoká škola báňská –TU Ostrava, 2004. 112 s. ISBN 80-248-0672-X.
- [12] VIGNER, M., PŘIKRYL, Z. a kol. *Obrábění*. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, n. p., 1984. 808 s.
- [13] VLACH, B. a kol. *Technologie obrábění a montáží*. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, n. p., 1990. 472 s. ISBN 80-03-00143-9.
- [14] HAVRILA, M., ZAJAC, J., BRYCHTA, J., JURKO, J. *Top trendy v obrábění 1. část – Obráběné materiály*. Žilina: MEDIA/ST, s. r. o., 2006. ISBN 80-968954-2-7.
- [15] JURKO, J., ZAJAC, J., ČEP, R., *Top trendy v obrábění 2. část – Nástrojové materiály*. Žilina: MEDIA/ST, s. r. o., 2006. ISBN 80-968954-2-7.
- [16] VASILKO, K., HAVRILA, M., NOVÁK – MARCINČIN, J., MÁDL, J., ZAJAC, J. *Top trendy v obrábění 3. část – Technologická obrábění*. Žilina: MEDIA/ST, s. r. o., 2006. ISBN 80-968954-2-7.
- [17] MONKA, P., PAULIKOVÁ, A. *Top trendy v obrábění 4. část – Upínanie, prípravky a meradlá*. Žilina: MEDIA/ST, s. r. o., 2007. ISBN 80-968954-2-7.
- [18] PŘIKRYL, Z., MUSÍLKOVÁ, R. *Teorie obrábění*. Praha : SNTL – Nakladatelství technické literatury, n. p., 1971. 200 s.
- [19] HUMÁR, A. *TECHNOLOGIE I TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ – 1. část*. Studijní opory pro magisterskou formu studia "Strojírenská technologie". Brno: VUT Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2003. 138 s. Dostupné na World Wide Web: <[http://www.fme.vutbr.cz/opory/pdf/TI\\_TO-1cast.pdf](http://www.fme.vutbr.cz/opory/pdf/TI_TO-1cast.pdf)>.
- [20] HUMÁR, A. *TECHNOLOGIE I TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ – 2. část*. Studijní opory pro magisterskou formu studia "Strojírenská technologie". Brno: VUT Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2004. 94 s. Dostupné na World Wide Web: <[http://www.fme.vutbr.cz/opory/pdf/TI\\_TO-2cast.pdf](http://www.fme.vutbr.cz/opory/pdf/TI_TO-2cast.pdf)>.



- [21] HUMÁR, A. *TECHNOLOGIE I TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ – 3. část*. Interaktivní multimediální text pro bakalářský a magisterský studijní program "Strojírenství". Brno: VUT Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2005. 57 s. Dostupné na World Wide Web: <[http://www.fme.vutbr.cz/opory/pdf/TI\\_TO-3cast.pdf](http://www.fme.vutbr.cz/opory/pdf/TI_TO-3cast.pdf)>.
- [22] HUMÁR, A. *Výrobní technologie II* [online]. Studijní opory pro podporu samostudia v oboru "Strojírenská technologie" BS studijního programu "Strojírenství". VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2002. 84 s. Dostupné na World Wide Web: <[http://www.fme.vutbr.cz/opory/pdf/VyrobniTecnologie\\_II.pdf](http://www.fme.vutbr.cz/opory/pdf/VyrobniTecnologie_II.pdf)>.
- [23] AB SANDVIK COROMANT - SANDIK CZ s.r.o. *Příručka obrábění - Kniha pro praxi*. Přel. M. Kudela. 1. vyd. Praha: Scientia, s. r. o., 1997. 857 s. Přel. z: *Modern Metal Cutting - A Practical Handbook*. ISBN 91-97 22 99-4-6.
- [24] STEPHENSON, D. A., AGAPIOU, J. S. *Metal Cutting Theory and Practice*. New York: Marcel Dekker, Inc., 1996. 905 s. ISBN 0-8247-9579-2.
- [25] VASILKO, K., NOVÁK – MARCINČIN, J., HAVRILA, M. *Výrobné inžinierstvo*. Prešov: Technická univerzita v Košiciach, Fakulta výrobných technológií so sídlom v Prešove, 2003. 424 s. ISBN 80-7099-995-0.
- [26] PILC, J., STANČEKOVÁ, D. *Základy stavby obrábacích strojov*. Žilina: Žilinská univerzita v Žilině, 2004. 110 s. ISBN 80-8070-281-0.
- [27] VASILKO, K., HRUBÝ, J., LIPTÁK, J. *Technológia obrábania a montáže*. Bratislava: Alfa, š. p., 1991. 494 s. ISBN 80-05-00807-4.



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

**VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA  
FAKULTA STROJNÍ**



# TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ V PŘÍKLADECH

---

## 5 Nekonvenční metody

doc. Ing. Robert ČEP, Ph.D.  
Ing. et Ing. Mgr. Jana PETRŮ, Ph.D.

Ostrava 2013

© doc. Ing. Robert ČEP, Ph.D., Ing. et Ing. Mgr. Jana PETRŮ, Ph.D.

© Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

ISBN 978-80-248-3014-8



Tento studijní materiál vznikl za finanční podpory Evropského sociálního fondu (ESF) a rozpočtu České republiky v rámci řešení projektu: CZ.1.07/2.2.00/15.0463, MODERNIZACE VÝUKOVÝCH MATERIÁLŮ A DIDAKTICKÝCH METOD

## OBSAH

<b>1</b>	<b>NEKONVENČNÍ METODY .....</b>	<b>3</b>
<b>1.1</b>	<b>Nekonvenční metody.....</b>	<b>4</b>
<b>1.1.1</b>	<b>Nekonvenční metody tepelným účinkem.....</b>	<b>5</b>
<b>1.1.2</b>	<b>Nekonvenční metody elektrochemickým nebo chemickým účinkem.....</b>	<b>8</b>
<b>1.1.3</b>	<b>Nekonvenční metody mechanickým účinkem.....</b>	<b>8</b>
<b>2</b>	<b>KONTROLNÍ OTÁZKY .....</b>	<b>11</b>
<b>3</b>	<b>PŘEDNÁŠKOVÝ TEXT SE VZTAHUJE K TĚMTO OTÁZKÁM. ....</b>	<b>12</b>
<b>4</b>	<b>POUŽITÁ LITERATURA .....</b>	<b>13</b>



# 1 NEKONVENČNÍ METODY



## OBSAH KAPITOLY:

Nekonvenční metody s tepelným účinkem

Nekonvenční metody s elektrochemickým nebo chemickým účinkem

Nekonvenční metody s mechanickým účinkem



## MOTIVACE:

U nekonvenčních metod se nepoužívá standardní řezný nástroj, u kterého lze definovat pracovní části nástroje, jako například čela, hřbet, břit, ostří atd.). Netvoří se tříska v pravém slova smyslu, protože k úběru dochází účinky tepelnými, chemickými nebo mechanickými (převážně abrazivními), či jejich vzájemnou kombinací.



## 1.1 NEKONVENČNÍ METODY

Nekonvenční metody se používají tam, kde nelze konvenčními metodami hospodárně obrábět nové konstrukční materiály s vysokou pevností, tvrdostí a houževnatostí, materiálů odolných proti opotřebení (titanové a jiné „superslitiny“, karbidy, keramika apod.). Základními charakteristikami nekonvenčních technologií jsou:

- rychlost a výkonnost obrábění nezávisí na mechanických vlastnostech obráběného materiálu,
- materiál nástroje nemusí být tvrdší a pevnější než obráběný materiál,
- možnost obrábění složitých tvarů součástí,
- možnost zavedení do plné mechanizace a automatizace,
- možnost zvýšení technologičnosti konstrukce, sériovosti výroby a snížení pracnosti výroby,
- současně s výrobou dochází někdy k cílené změně vlastností povrchové vrstvy, zejména zvýšená odolnost proti korozi, zvýšení únavové pevnosti apod.).

Podle převládajících účinků oddělování materiálu se nekonvenční metody obrábění dělí na:

a) 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).

b) oddělování materiálu elektrochemickým nebo chemickým účinkem:

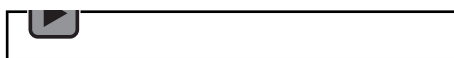
- elektrochemické obrábění (Electro Chemical Machining - ECM),
- chemické obrábění (Chemical Machining - CM, CHM).

c) oddělování materiálu mechanickým účinkem:

- ultrazvukové obrábění (Ultrasonic Machining - USM),
- obrábění paprskem vody (Water Jet Machining - WJM, Abrasive Water Jet Machining - AWJM).



Audio 1.1 Nekonvenční metody



Pro tyto technologie se používají CNC řízené stroje, které výrazně rozšiřují možnosti aplikace nekonvenčních metod v praxi.



Tab. 1.11 Aplikační oblasti nekonvenčních metod obrábění

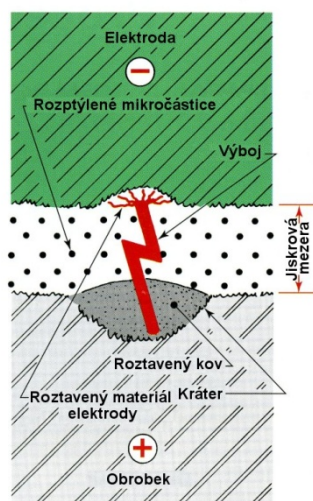
Obráběný materiál	Nekonvenční metody obrábění								Konvenční obrábění	
	Mechan. Účin.		Tepelný účinek				Chemický účin.		Fréz.	Soust.
	USM	AWJM	EDM	EBM	LBM	PBM	CM	ECM		
Slitiny Al	C	C	B	B	B	A	A	B	A	A
Oceli	B	D	A	B	B		A	A	A	A
Superslit.	C	D	A	B	B		B	A	B	B
Keramika	A	D	D	A	A		C	D	D	C
Sklo	A	D	D	B	B		B	D	D	C
Křemík			D	B	B		B	D	D	B
Plasty	B	B	D	B	B		C	D	B	C
Lepenky	D	A	D				D	D	D	D
Textil	D	A	D				D	D	D	D

A – velmi vhodné, B – vhodné, C – obtížné, D – nelze aplikovat.

### 1.1.1 Nekonvenční metody tepelným účinkem

**Elektroerozivní obrábění** zahrnuje řadu metod, jejichž charakteristickým znakem je, že 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, které jsou odplavovány dielektrickou kapalinou (petrolej, vodní sklo, solné roztoky, ...).

Obrábění je založeno na principu dvou elektrod (z vodivého materiálu), oddělených jiskrovou mezerou a ponořených v dielektrické kapalině. Celkový proces se skládá ze střídavých výbojů rozložených po celé aktivní ploše nástroje. Při každém výboji dojde k narušení materiálu a vytvoří se kráter.



Obr. 1. 163 Elektroerozivní obrábění

**Elektrojiskrové hloubení** je jedna ze základních metod elektroerozivního obrábění. Vytváří se tak zejména vnitřní plochy složitých tvarů, zápustek, střížných nástrojů, apod.

Výhody:

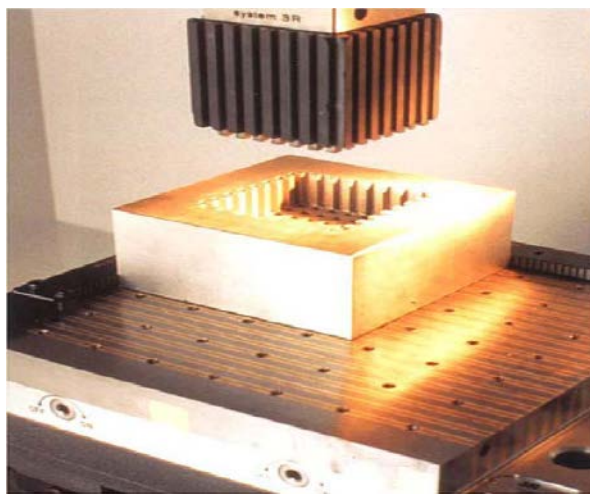
- možnost obrábění vodivých materiálů bez ohledu na jejich mechanické vlastnosti,





- velký rozsah pracovních parametrů,
- možnost výroby součástí složitých tvarů,
- na obrobek nepůsobí žádné mechanické zatížení,
- při výrobě ploch složitých tvarů se snižuje pracnost,
- poměrně jednoduchá výroba nástrojových elektrod,
- na hranách obrobku nezůstávají otřepy,
- výrobní proces lze snadno automatizovat.
- 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.

Tato metoda se vyznačuje minimální šířkou řezu a uplatňuje se při výrobě střížných a lisovacích nástrojů a při dělení velmi tvrdých a pevných materiálů. Elektrodoou je tenký drát, který se průběžně odvíjí z cívky a přes vodící zařízení prochází místem řezu. Drát je napínán konstantní silou a prostor mezi obrobkem a drátem je zaplněn dielektrickou kapalinou. Elektrody jsou vyráběny z mědi a jejich slitin, molybdenu, případně povlakované dráty obsahující vysoké procento zinku.



Obr. 1.164 Elektrojiskrové hloubení

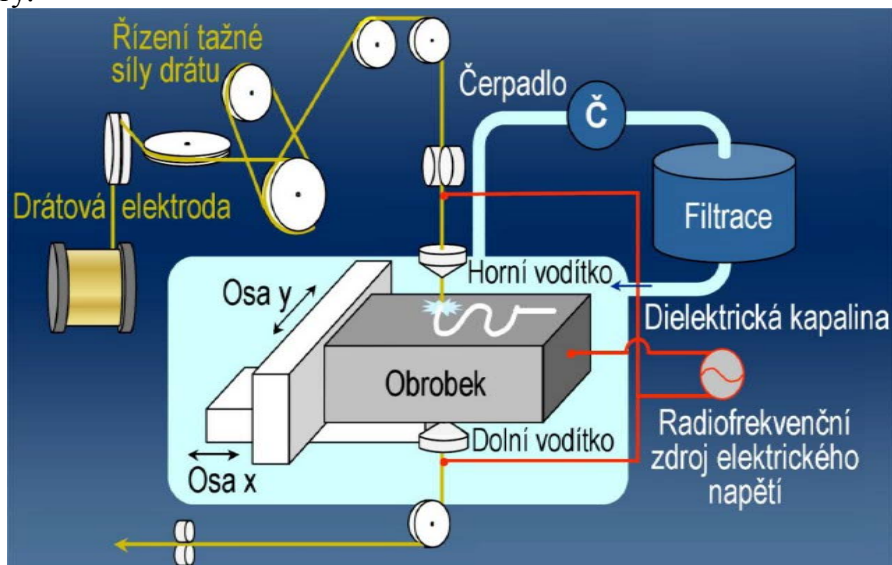
**Elektrojiskrové řezání** - metoda elektrojiskrového obrábění se vyznačuje minimální šířkou řezu a nachází uplatnění zejména při výrobě střížných a lisovacích nástrojů a při dělení velmi pevných a tvrdých materiálů (např. elektricky vodivých keramických materiálů - SiC, Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, slinutých karbidů, kalených ocelí, titanových slitin, „superslitin“ atd.). Nástrojovou elektrodou je tenký drát, který se pomocí speciálního zařízení průběžně odvíjí z cívky (kvůli zamezení opotřebení) a přes vodící zařízení prochází místem řezu. Drát je napínán konstantní tahovou silou (předpětí ovlivňuje přesnost řezu), prostor mezi obrobkem a drátem je zaplněn dielektrickou kapalinou.

Dráty (průměr 0,03 až 0,35 mm) jsou vyráběny z mědi a jejich slitin, nejčastěji z mosazi, pro velmi jemné řezy z molybdenu (průměr 0,03 až 0,07 mm). V současné době jsou též velmi často používány povlakované dráty s jádrem ze slitiny mědi (např. Cu-Cr,



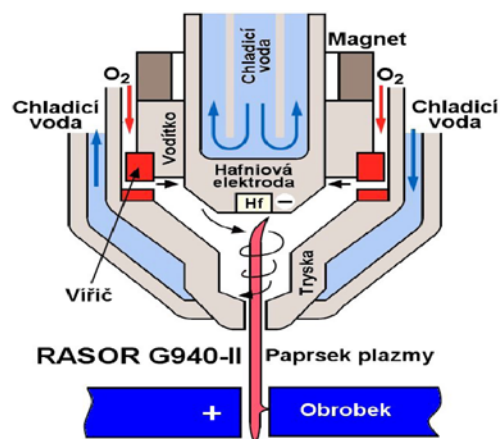
Cu-Zr, Cu-Ag, Cu-Sn, Cu-Sn-In) a povlakem, obsahujícím vysoké procento zinku - jádro umožňuje práci s vysokými řeznými rychlostmi, povlak udržuje stabilní výboj a zaručuje vysokou jakost povrchu obrobené plochy.

Pohyb stolů pro upnutí obrobku je u řezacích strojů řízen CNC systémem, který zajišťuje přesnost odpovídající nástrojařským pracím. Stroje mohou být navíc vybaveny CNC řízeným nakláněním drátové elektrody v rozsahu  $0^\circ$  až  $30^\circ$ , což umožňuje vyřezávat kuželovité a jiné složitější tvary.



Obr. 1.165 Elektrojiskrové řezání

**Obrábění paprskem plazmy** - při tomto způsobu obrábění je materiál 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 ( $30\,000^\circ\text{C}$  i více). Proces obrábění je tak intenzivní, že se částice obráběného materiálu odtavují velmi rychle a tepelně ovlivněná vrstva nepřesáhne 1 mm. Vzhledem k velké rychlosti odpovídá přesnost hrubovacím operacím a řezání různých materiálů.



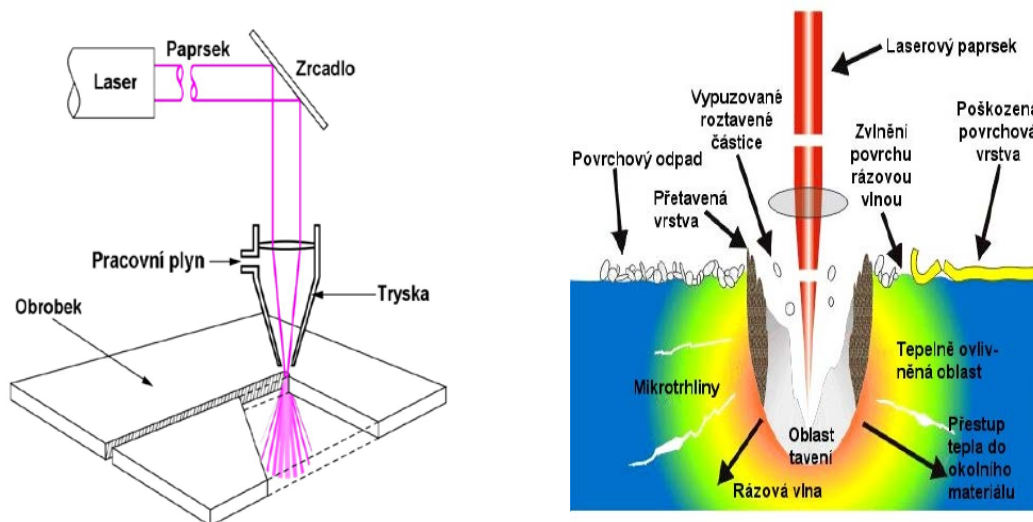
Obr. 1. 166 Obrábění paprskem plazmy

**Obrábění laserem** - laserové světlo vzniká v prostředí elektromagnetického záření potlačením spontánní emise na úkor emise stimulované. Laserový paprsek lze využít ve 4 základních oblastech klasifikovaných podle technologie:

- úběr materiálu (řezání, obrábění, popisování, rytí, ...),
- pájení a svařování,
- tepelné zpracování (kalení, žíhání, povlakování, ...),



- nové procesy (barvení, dělení skla a keramiky, tažení, ...).



Obr. 1. 167 Obrábění paprskem laseru

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

### 1.1.2 Nekonvenční metody elektrochemickým nebo chemickým účinkem

**Elektrochemické obrábění** - je to řízený proces oddělování materiálu prostřednictvím anodického rozpouštění v elektrolytu, který proudí mezerou mezi elektrodami (anoda – obrobek, katoda – nástroj). Vyrábí se takto tvarově složité součásti (zápustky, lisovací formy, apod.) a obrábí materiály s vysokou tvrdostí a pevností. Touto metodou lze frézovat, vrtat, řezat a brousit. Nástroj má tvar negativu vyráběné součásti a jsou vyráběny z mosazi, bronzů, titanů, SK, apod.

Existují 4 základní způsoby:

- v proudícím elektrolytu,
- rotující elektrodou,
- leštění,
- odstraňování ostřin.

**Chemické obrábění** - podstatou je 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. V praxi se uplatňují dvě metody:

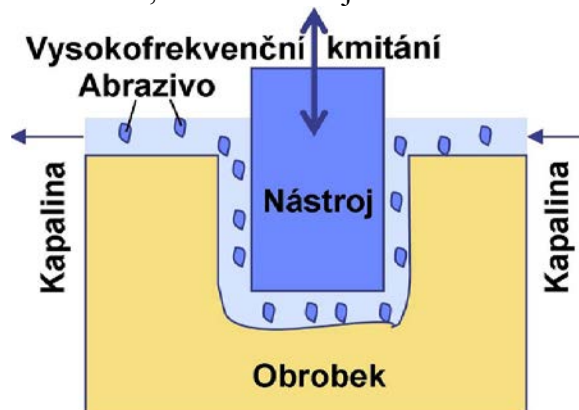
- chemické prostřihování (umožňuje zhotovovat tenké a složité výlisky z tenkého plechu nebo fólie bez otřepů),
- chemické rozměrové leptání (metoda je označována jako chemické frézování, tvar se na obrobek přenáší pomocí šablon).

### 1.1.3 Nekonvenční metody mechanickým účinkem

**Obrábění ultrazvukem** - obrábění probíhá společným účinkem abrazivních zrn, které se nacházejí mezi obrobkem a nástrojem, kmitajícím s ultrazvukovou frekvencí (20 – 30 kHz) a chemickým a kavitacním účinkem kapaliny. Tímto způsobem se obrábí tvrdé materiály (nad

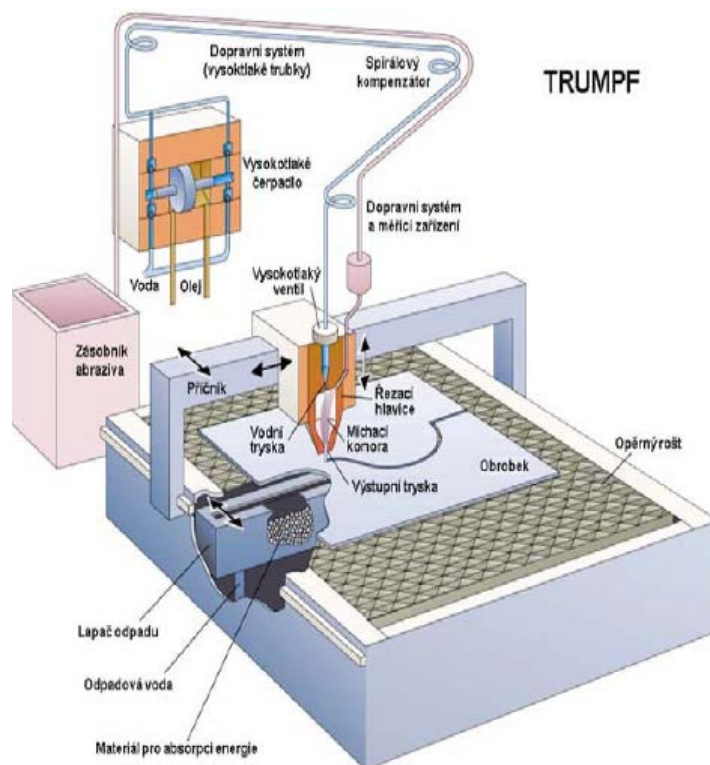


40 HRC) a křehké materiály jako sklo, křemík, keramika apod. Nevýhodou je, že abrazivní účinek zrn působí nejen na obrobek, ale i na nástroj.

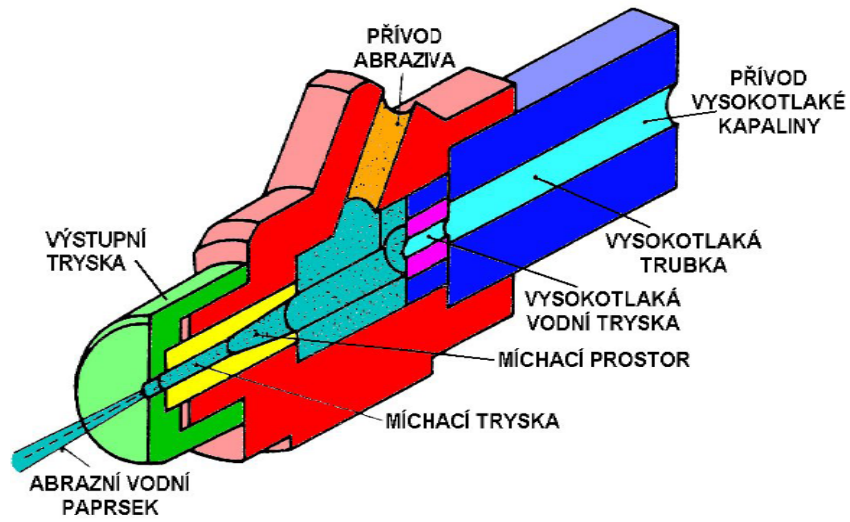


Obr. 1. 168 Princip obrábění ultrazvukem

**Obrábění vodním paprskem** - využívá k oddělování materiálu kinetickou energii vysokotlakého a vysokorychlostního vodního proudění (rychlost  $600 - 900 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ), 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.



Obr. 1. 169 Obrábění vodním paprskem



Obr. 1. 170 Vysokotlaká vodní tryska



## 2 KONTROLNÍ OTÁZKY

- Jaké znáte metody obrábění pomocí tepelného účinku?
- Jaké znáte metody obrábění pomocí elektrochemického účinku?
- Jaké znáte metody obrábění pomocí mechanického účinku?
- Popište elektroerozivní obrábění.
- Popište elektrojiskrové hloubení.
- Popište princip drátového řezání.
- Jaké znáte metody obrábění paprskem?



### **3 PŘEDNÁŠKOVÝ TEXT SE VZTAHUJE K TĚMTO OTÁZKÁM.**

- 26. Nekonvenční způsoby obrábění



## 4 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] BILÍK, O. *Obrábění I. (2.Díl): Fyzikálně mechanické záležitosti procesu obrábění*. Ostrava: Vysoká škola báňská –TU Ostrava, 2002. 80 s. ISBN 80-248-0033-0.
- [2] BILÍK, O. *Obrábění II. (1.Díl): Fyzikálně mechanické záležitosti procesu obrábění*. Ostrava: Vysoká škola báňská –TU Ostrava, 1994. 132 s. ISBN 80-7078-228-5.
- [3] BILÍK, O. *Obrábění II. (2.Díl)*. Ostrava: Vysoká škola báňská –TU Ostrava, 2001. 118 s. ISBN 80-7078-994-1.
- [4] BRYCHTA, J. *Obrábění I. Návody pro cvičení 1. část*. Ostrava: Vysoká škola báňská - TU Ostrava, 1998. 84 s. ISBN 80-7078-436-9.
- [5] BRYCHTA, J. *Obrábění I. Návody pro cvičení 2. část*. Ostrava: Vysoká škola báňská - TU Ostrava, 1998. 120 s. ISBN 80-7078-470-9.
- [6] BRYCHTA, J. *Výrobní stroje obráběcí*. Ostrava: Vysoká škola báňská - TU Ostrava, 2003. 150 s. ISBN 80-248-0237-6.
- [7] HOFMAN, P. *Technologie montáže*. Plzeň: Vydavatelství Západočeské univerzity Plzeň, 1997. 90 s. ISBN 80-7082-382-8.
- [8] KOČMAN, K. *Speciální technologie obrábění*. Brno: PC-DIR Real, s.r.o., 1993. 213 s. ISBN 80-214-1187-2.
- [9] KOČMAN, K., PROKOP, K. *Technologie obrábění*. Brno: Akademické nakladatelství CERN Brno, s.r.o., 2001. 274 s. ISBN 80-214-196-2.
- [10] KRÍŽ, R., VÁVRA, P. a kol. *Strojírenská příručka*. Praha: Scientia, spol. s r. o., 1996. 220 s. ISBN 80-7183-024-0.
- [11] TICHÁ, Š. *Strojírenská metrologie část 1*. Ostrava: Vysoká škola báňská –TU Ostrava, 2004. 112 s. ISBN 80-248-0672-X.
- [12] VIGNER, M., PŘIKRYL, Z. a kol. *Obrábění*. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, n. p., 1984. 808 s.
- [13] VLACH, B. a kol. *Technologie obrábění a montáží*. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, n. p., 1990. 472 s. ISBN 80-03-00143-9.
- [14] HAVRILA, M., ZAJAC, J., BRYCHTA, J., JURKO, J. *Top trendy v obrábění 1. část – Obráběné materiály*. Žilina: MEDIA/ST, s. r. o., 2006. ISBN 80-968954-2-7.
- [15] JURKO, J., ZAJAC, J., ČEP, R., *Top trendy v obrábění 2. část – Nástrojové materiály*. Žilina: MEDIA/ST, s. r. o., 2006. ISBN 80-968954-2-7.
- [16] VASILKO, K., HAVRILA, M., NOVÁK – MARCINČIN, J., MÁDL, J., ZAJAC, J. *Top trendy v obrábění 3. část – Technologická obrábění*. Žilina: MEDIA/ST, s. r. o., 2006. ISBN 80-968954-2-7.
- [17] MONKA, P., PAULIKOVÁ, A. *Top trendy v obrábění 4. část – Upínanie, prípravky a meradlá*. Žilina: MEDIA/ST, s. r. o., 2007. ISBN 80-968954-2-7.
- [18] PŘIKRYL, Z., MUSÍLKOVÁ, R. *Teorie obrábění*. Praha : SNTL – Nakladatelství technické literatury, n. p., 1971. 200 s.
- [19] HUMÁR, A. *TECHNOLOGIE I TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ – 1. část*. Studijní opory pro magisterskou formu studia "Strojírenská technologie". Brno: VUT Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2003. 138 s. Dostupné na World Wide Web: <[http://www.fme.vutbr.cz/opory/pdf/TI\\_TO-1cast.pdf](http://www.fme.vutbr.cz/opory/pdf/TI_TO-1cast.pdf)>.
- [20] HUMÁR, A. *TECHNOLOGIE I TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ – 2. část*. Studijní opory pro magisterskou formu studia "Strojírenská technologie". Brno: VUT Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2004. 94 s. Dostupné na World Wide Web: <[http://www.fme.vutbr.cz/opory/pdf/TI\\_TO-2cast.pdf](http://www.fme.vutbr.cz/opory/pdf/TI_TO-2cast.pdf)>.





- [21] HUMÁR, A. *TECHNOLOGIE I TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ – 3. část*. Interaktivní multimediální text pro bakalářský a magisterský studijní program "Strojírenství". Brno: VUT Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2005. 57 s. Dostupné na World Wide Web: <[http://www.fme.vutbr.cz/opory/pdf/TI\\_TO-3cast.pdf](http://www.fme.vutbr.cz/opory/pdf/TI_TO-3cast.pdf)>.
- [22] HUMÁR, A. *Výrobní technologie II* [online]. Studijní opory pro podporu samostudia v oboru "Strojírenská technologie" BS studijního programu "Strojírenství". VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2002. 84 s. Dostupné na World Wide Web: <[http://www.fme.vutbr.cz/opory/pdf/VyrobniTecnologie\\_II.pdf](http://www.fme.vutbr.cz/opory/pdf/VyrobniTecnologie_II.pdf)>.
- [23] AB SANDVIK COROMANT - SANDIK CZ s.r.o. *Příručka obrábění - Kniha pro praxi*. Přel. M. Kudela. 1. vyd. Praha: Scientia, s. r. o., 1997. 857 s. Přel. z: *Modern Metal Cutting - A Practical Handbook*. ISBN 91-97 22 99-4-6.
- [24] STEPHENSON, D. A., AGAPIOU, J. S. *Metal Cutting Theory and Practice*. New York: Marcel Dekker, Inc., 1996. 905 s. ISBN 0-8247-9579-2.
- [25] VASILKO, K., NOVÁK – MARCINČIN, J., HAVRILA, M. *Výrobné inžinierstvo*. Prešov: Technická univerzita v Košiciach, Fakulta výrobných technológií so sídlom v Prešove, 2003. 424 s. ISBN 80-7099-995-0.
- [26] PILC, J., STANČEKOVÁ, D. *Základy stavby obrábacích strojov*. Žilina: Žilinská univerzita v Žilině, 2004. 110 s. ISBN 80-8070-281-0.
- [27] VASILKO, K., HRUBÝ, J., LIPTÁK, J. *Technológia obrábania a montáže*. Bratislava: Alfa, š. p., 1991. 494 s. ISBN 80-05-00807-4.

