

# TEORIE OBRÁBĚNÍ

1. Základní pojmy (obrobek, řezný nástroj, roviny a úhly)
2. Kinematika obrábění
3. Nástrojové materiály
4. Mechanika tvoření třísky
5. Druhy třísek
6. Objemový součinitel třísky
7. Tvoření nárůstku a jeho vliv na obrábění
8. Zpevňování obrobené plochy a zbytková pnutí po obrábění
9. Drsnost obrobené plochy
10. Práce a síla řezání (řezná síla, řezný odpor)
11. Teplo a teplota řezání
12. Chlazení a mazání při obrábění, řezné kapaliny
13. Opotřebením břítu nástroje
14. Trvanlivost a životnost nástroje
15. Produktivita obrábění
16. Volba optimálních řezných podmínek
17. Obrobitelnost materiálů (třídění)
18. Upínání obrobků (výpočet upínacích sil)

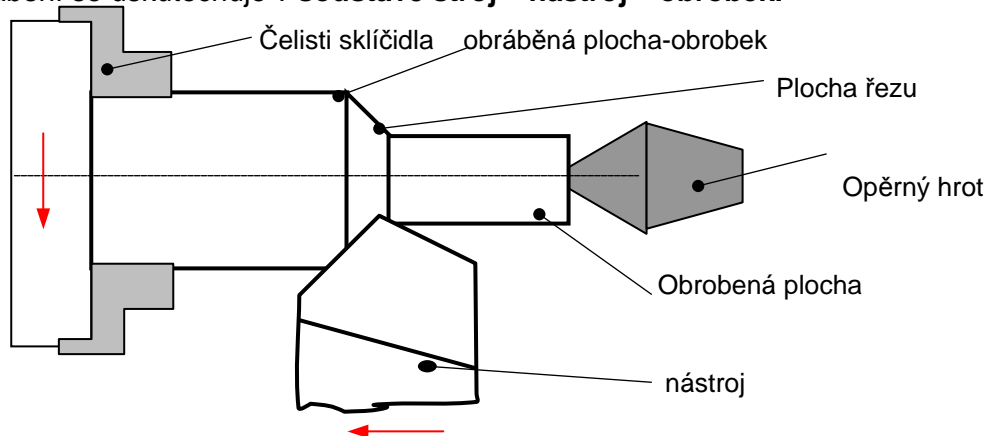
## 1. ZÁKLADNÍ POJMY

Obrábění je technologický proces, při kterém vytváříme součásti požadovaného tvaru, rozměrů, jakosti povrchu odebráním nebo oddělováním částic materiálu pochody fyzikálními (např. mechanickými, tepelnými, elektrickými) a chemickými, popřípadě jejich kombinacemi.

**Konvenční obrábění** je vytváření požadovaných tvarů, rozměrů a jakosti povrchu oddělováním přebytečné části materiálu z obrobku ve formě třísky břitem řezného nástroje.

Při **nekonvenčním obrábění** se k úběru materiálu používá pochodů elektrických, chemických nebo jejich kombinacemi.

Obrábění se uskutečňuje v **soustavě stroj – nástroj – obrobek**.



**Obrobek** je obráběný nebo již obrobený předmět. Předmět, který se bude teprve obrábět je polotovár. **Obráběná plocha** je ta část povrchu obrobku, z níž bude odebírán materiál. Plocha vzniklá obráběním je **obrobená plocha**. Plocha vznikající bezprostředně za břitem nástroje je **plocha řezu**.

### **Řezný nástroj**

Je aktivním prvkem při obrábění. Řezná část (břit) má tvar klínu ohraničeného plochou čela (po kterém odchází tříška) a plochou hřbetu. Průsečnice ploch čela a hřbetu je **ostří (hlavní a vedlejší)**.

Část za kterou je nástroj upínán, je nástrojový držák. Má plochu ustavovací a upínací. U některých nástrojů (výhrubníků, výstružníků, vrtáků, fréz apod.) je ustavovací plocha totožná s upínací.

### **Geometrie břitu nástroje**

Je souhrn úhlových parametrů určujících jeho tvar. Doporučené hodnoty těchto úhlů jsou získané pro určité druhy obrábění ze zkušenosti ve výrobě nebo jako výsledek výzkumu. Jsou uvedeny v ČSN 22 00 11 nebo v normativech.

Prvky geometrie břitu definujeme ze dvou hledisek:

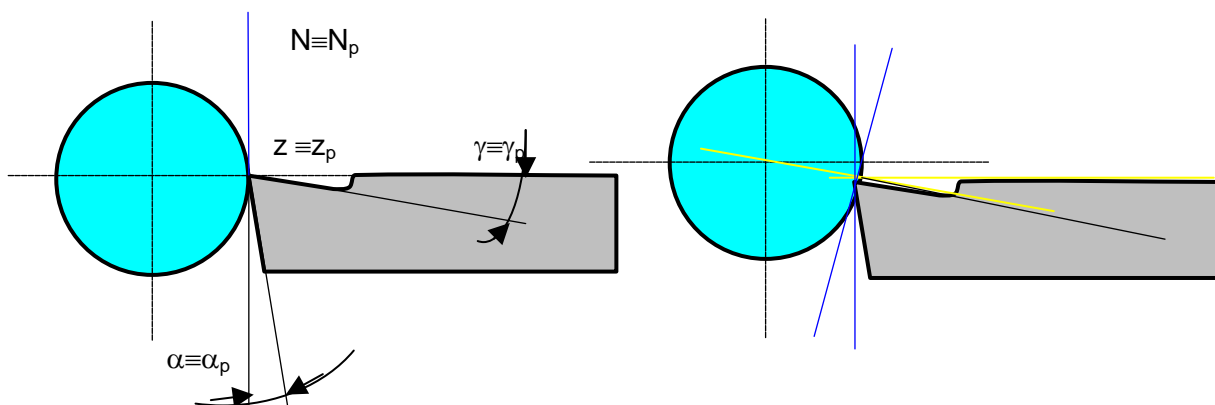
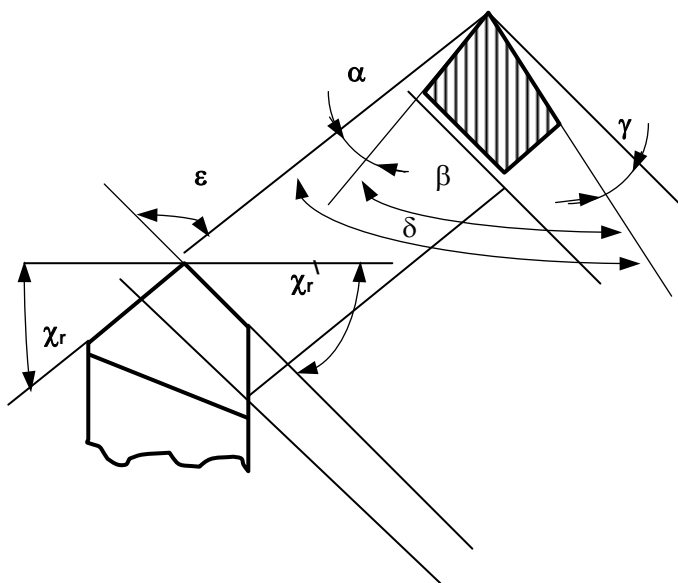
- ⇒ Z hlediska geometrického tvaru jako **nástrojové řezné úhly**
- ⇒ Z hlediska polohy břitu vůči obrobku jako **pracovní řezné úhly**

Názvosloví geometrie břitu vychází od soustružnického nože a od jeho ustavení vůči obrobku.

Břit soustružnického nože, tvořený klínem, který jako činná část řezného nástroje vniká do materiálu obrobku, je omezen těmito plochami:

- ✓ **Plocha čela** (čelo) je rovina nebo zakřivená plocha, po které odchází tříška z místa řezu
- ✓ **Hlavní hřbet** je plocha na straně postupující do záběru
- ✓ **Vedlejší hřbet** je plocha na opačné straně
- ✓ **Hlavní ostří** je průsečnice plochy čela a hlavního hřbetu
- ✓ **Vedlejší ostří** je průsečnice plochy čela a vedlejšího hřbetu

Poloha všech výše uvedených hlavních a vedlejších ploch břitu se určuje **nástrojovými řeznými úhly**, jejichž velikost určíme v nástrojové souřadnicové soustavě pomocí tří navzájem kolmých rovin.



## 2. KINEMATIKA OBRÁBĚNÍ

Řezný pohyb je vzájemný pohyb mezi obrobkem a nástrojem. Uskutečňuje se určitou relativní rychlostí a po určité dráze. Ve většině případů obrábění je řezný pohyb složen ze dvou složek:

1. **Hlavního řezného pohybu**, který se shoduje se základním pohybem obráběcího stroje. Např. otáčivý pohyb vřetena u soustruhů, vrtaček, frézek, apod., nebo přímočarý vratný pohyb smýkadla u obrázeček, pracovního stolu u hoblovek apod.
2. **Vedlejšího řezného pohybu**, který je zpravidla kolmý na složku hlavního řezného pohybu. Vedlejší řezný pohyb se nazývá **posuv**. Podle způsobu obrábění je **posuv podélný, příčný** nebo **kruhový, plynulý** nebo **přerušovaný**. Velikost posuvu se udává:

- ⇒ v mm na jednu otáčku obrobku nebo nástroje -  $f_o$
- ⇒ v mm na jeden zdvih nebo dvojsdvih pracovního stolu nebo smýkadla  $f$
- ⇒ v mm na jeden zub vícebřitových nástrojů  $f_z$
- ⇒ v mm  $\text{min}^{-1}$  jako posuvová rychlost pracovního stolu  $f_{\text{min}}$
- ⇒

$$f_{\min} = f_o \cdot n = f_z \cdot z \cdot n$$

$n$  = otáčky za minutu ( $\text{ot} \cdot \text{min}^{-1}$ )

$z$  = počet zubů nástroje

**Přísuv** je vzájemný pohyb mezi nástrojem a obrobkem. Je zpravidla kolmý na obráběnou plochu a umožňuje nastavení hloubky řezu  $h$ .

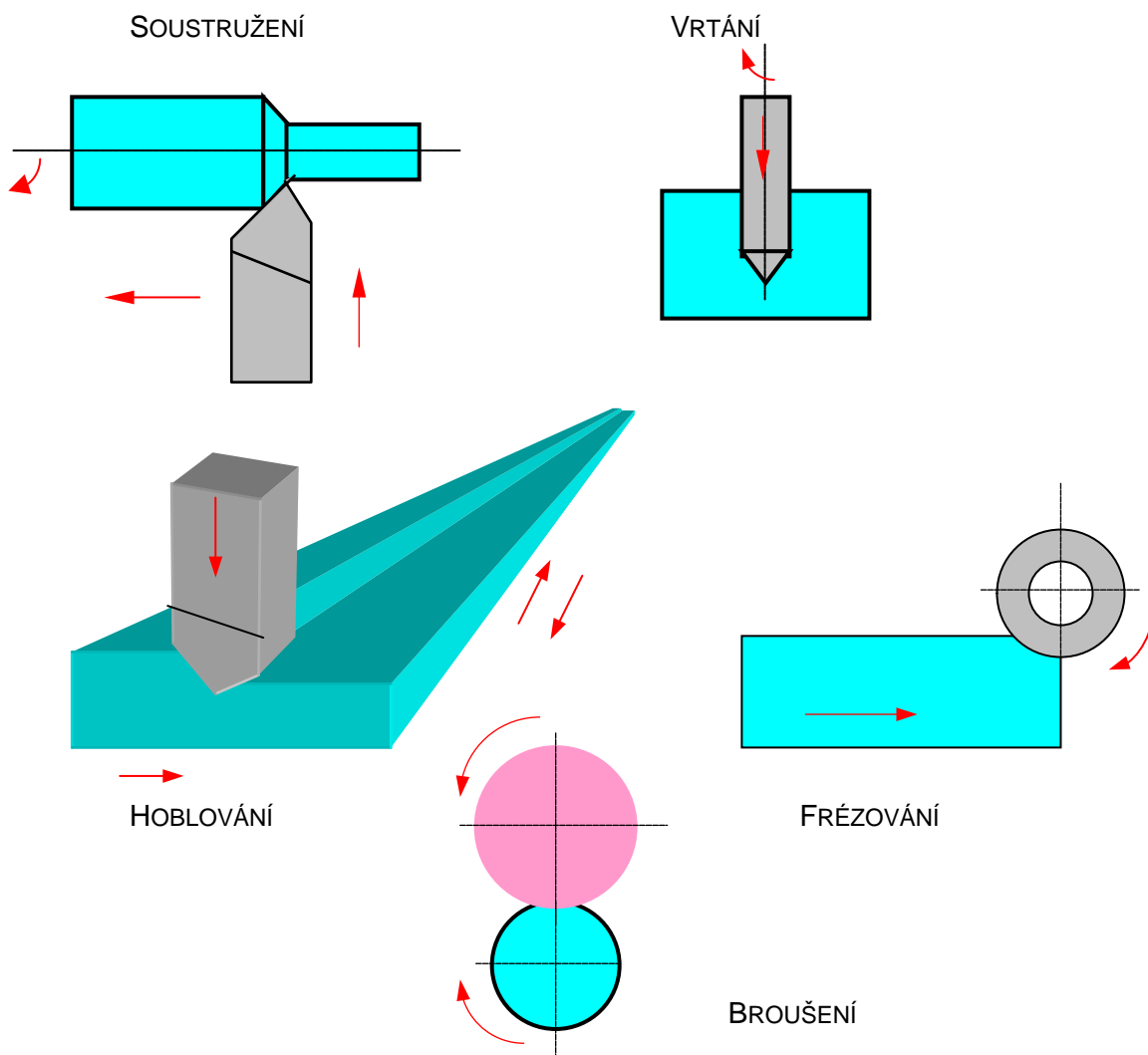
Měřítkem hlavního řezného pohybu je **řezná rychlost**  $v$ . Pro otáčivý pohyb se určí podle vztahu:

$$v = \pi \cdot D \cdot n \quad (\text{m} \cdot \text{min}^{-1})$$

$D$  = průměr obrobku nebo nástroje  $v$  (  $\text{m}$  )

$n$  = otáčky vřetena (obrobku nebo nástroje) - ( $\text{ot}/\text{min}$ )

U přímočarého pohybu je řezná rychlost dána rychlostí pracovního stolu nebo smýkadla.



### 3. NÁSTROJOVÉ MATERIÁLY

Podmínky, v nichž se nachází břit nástroje při obrábění, určují mechanické, fyzikální a chemické vlastnosti řezných materiálů. Vzhledem k těmto podmínkám je třeba volit vždy nástrojový materiál přiměřených řezných vlastností. Souhrn vlastností nástrojového materiálu, které ovlivňují jeho vhodnost k obrábění, se nazývá **řezivost nástroje**. K základním vlastnostem řezného materiálu patří:

- ⇒ tvrdost, která převyšuje tvrdost obráběného materiálu minimálně o 5 až 6 HRC
- ⇒ udržení tvrdosti i při vysokých teplotách po dostatečnou dobu
- ⇒ odolnost proti opotřeбенí při příslušných teplotách řezání
- ⇒ vyhovující tepelnou odolnost
- ⇒ houževnatost
- ⇒ odolnost proti ohybu – ohybová pevnost

#### Přehled nástrojových materiálů:

- 1) Nástrojové oceli
  - a) Nelegované
  - b) Legované
  - c) Rychlořezné
  - d) Legované na lité nástroje
- 2) Slinuté karbidy
- 3) Keramické řezné materiály
- 4) Polykrystalické řezné materiály
- 5) Brousící materiály

#### Ad.1 Nástrojové oceli

##### Ad. 1.a) Nástrojové oceli nelegované 19 0xx, 19 1xx, 19 2xx

Na vlastnosti těchto ocelí má převážně vliv obsah uhlíku, podle kterého se rozdělují na:

- Velmi houževnaté - do 0,7 % C (*nástroje na zpracování potravin, dřeva, papíru aj.*)
- Houževnaté a tvrdé - od 0,8 do 1,2 % C (*ruční nástroje na kovové materiály*)
- Tvrdé a velmi tvrdé – 1,25 až 1,4 % C (*např. pilníky*).

Tepelným zpracováním získají tyto oceli tvrdost 62 až max. 67 HRC, do teploty 250 – 300° C.

Použitá řezná rychlost do  $v = 12$  m/min.

##### Ad. 1.b) Nástrojové oceli legované

Jsou určeny pro vyšší řezné rychlosti a tedy pro větší výkonnost. Jsou legovány zejména Mn – 19 3xx , Cr – 19 4xx , W – 19 7xx , dále V, Mo, Co. Odolávají teplotám do 400°C, aniž by se otupily. Jsou charakteristické vyšší prokalitelností. Mohou pracovat s 1,2 až 1,5 krát vyššími řeznými rychlostmi, než NO nelegované.

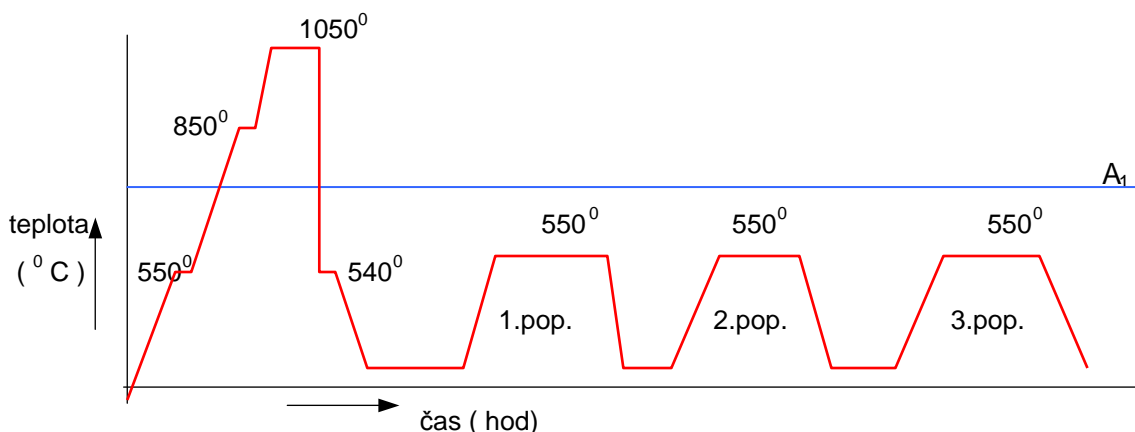
**Manganové oceli** se používají tam, kde záleží na dodržení tvarové a rozměrové přesnosti např. závitníky, závitové čelisti, závitové frézy, ruční výstružníky a měřidla.

**Chromové oceli** se používají na šroubovitě vrtáky, výstružníky, tvarové nože, závitořezné nástroje, tvarové frézy, protahovací trny. Jsou vhodné k obrábění i velmi tvrdých materiálů jako skla, mramoru, břidlice a nebo materiálů se špatným odvodem tepla. Dále na stříhací nástroje.

**Wolframové oceli** se používají na nejkvalitnější šroubovitě vrtáky, závitořezné nástroje, frézy, výstružníky.

### Ad. 1.c) Rychlořezné oceli – RO

Obsahují vysoké procento wolframu a další karbidotvorné prvky Cr, V, Mo a nekarbidotvorný kobalt. Uhlíku obsahují zpravidla méně než 1 %. Po odlití mají ledeburitickou strukturu, která se žháním a kování přetvoří na jemná zrna cementitu. Zachovávají si svoji tvrdost cca 64 až 68 HRC při teplotách do 600 °C, umožňují dvoj- až trojnásobné zvýšení řezné rychlosti proti NO nelegovaným. Od ostatních legovaných ocelí se RO liší svým způsobem tepelného zpracování.



RO jsou velice citlivé na prudký ohřev. Proto se při kalení ohřívají stupňovitě. Během výdrže se prohřejí v celém průřezu a následuje ochlazení kritickou rychlostí do solné lázně na 540 °C s výdrží 15 min (za účelem vyrovnání teploty) a s dochlazením na vzduchu. Ve výsledné struktuře je obsažen martenzit a značné množství zbytkového austenitu, který částečně odstraníme několikanásobným popouštěním. Za účelem snížení zbytkového austenitu se často zařazuje zmrazování.

### Ad. 1.d) NO legované na lité nástroje

Používají se z ekonomických důvodů s ohledem na nedostatek a cenu legujících prvků. Nástroje lité mají lepší řezivost než nástroje z ocelí tvářených, ale jsou křehčí, např. frézy, výhrubníky aj.

### Ad. 2. Slinuté karbidy

Slinuté karbidy ( SK ) jsou nástrojové materiály vyráběné práškovou metalurgií z karbidů těžkých kovů – karbidu wolframu (WC), karbidu titanu (TiC), karbidu tantalu (TaC) a nízkotavitelného slinovadla – kobaltu (Co).

Nejsou slitinou, ale směsí dvou i více fází. Dodatečné tepelné zpracování není možné. Protože jsou SK velmi tvrdé, dají se tvarově a rozměrově upravovat jen v omezené míře pouze broušením, elektroerozivním obráběním a lapováním.

Množstvím jednotlivých složek při výrobě SK lze ovlivňovat jejich tvrdost, houževnatost a odolnost proti otěru. Obecně se vyznačují těmito vlastnostmi:

- q Vysoká tvrdost a velká pevnost v tlaku
- q Velká odolnost proti opotřebení při teplotách do 900 °C
- q 5 až 8 násobné zvýšení řezné rychlosti proti RO
- q odolnost proti korozi
- q vysoká měrná hmotnost

**q** špatná tepelná a elektrická vodivost

Nedostatkem SK je velká křehkost (malá ohybová pevnost) vyžadující tuhou soustavu stroj – nástroj – obrobek. Přes tuto skutečnost tvoří SK základ rychlostního obrábění.

Podle chemického složení se SK dělí do tří skupin:

1. **K** – jednodobidové ( WC + Co ) – pro obrábění materiálů s drobivou třískou jako šedá litina, temperovaná a tvárná litina, neželezné kovy, plasty.
2. **P** – dvojdobidové ( WC + TiC + Co ) pro obrábění nelegované a legované oceli a ocelolity, nerezavějící feritická a martenzitická ocel, ocel na odlitky.
3. **M** – kombinované ( WC + TiC + TaC + Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub> + Co ) - univerzální použití, pro austenitickou ocel , těžkoobrobitelných materiálů.

Podle mechanických vlastností jsou SK v každé skupině dále tříděny a číselně označeny dvoumístným číslem (01, 10, 20, 30, 40 ). SK s nízkými čísly (P01, P10, M10,...) jsou velmi tvrdé a odolné proti otěru. Mají však malou houževnatost a malou pevnost v ohybu. Jsou určeny na jemné obrábění s nepřerušovaným řezem. SK s vysokými čísly (P40, M30, K40,...) mají vysokou pevnost v ohybu a houževnatost. Jsou určeny pro velké třísky a přerušované řezy.

**Nepovlakované SK ( ISO – skupina HW )**

Použití především pro práce s malými tloušťkami třísky, které vyžadují ostré břity. Též se používají při obrábění neželezných kovů a nekovů.

**Povlakované SK ( ISO – skupina HC )**

Výhody povlakovaných SK:

- q** Dobré třecí vlastnosti ( snižuje tření o 15 – 25% )
- q** Vysoká mikrotvrdość
- q** Odolnost proti difúzi
- q** Umožňují zvýšit řeznou rychlost o 30 – 70 %, ve srovnání se stejným, avšak nepovlakovaným SK
- q** Jejich optimální využití je v rozsahu posuvů,  $f = 0,5 – 0,8 \text{ mm/ot}$  .

Povlak o tloušťce 4 až 8  $\mu\text{m}$  má homogenní jemnozrnou strukturu a dobře kopíruje tvar funkční geometrie, vícevrstvé povlaky dosahují tloušťky až do 15  $\mu\text{m}$ . Nanesená vrstva má vysokou tvrdost a umožňuje použití vyšších řezných rychlostí, neboť povlakové vrstvy nedifundují do třísky tak rychle jako karbid wolframu. Povlakovou technologií – vakuové plazmatické nanášení chemických par karbidu titanu TiC, karbonitridu titanu TiCN, Nitridu titanu TiN, případně oxidu hlinitého Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

Barva povlakovaných destiček závisí na složení povlaku.

100 % TiC – žlutá

70 % TiN + 30% TiC – modrofialová

50% TiN + 50% TiC – stříbrošedou, samotný TiN – šedou

Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - bílou

**Ad. 3. Keramické řezné materiály**

KM se vyrábějí práškovou metalurgií. Jsou velmi tvrdé za vysokých teplot – do 1200<sup>0</sup>C, odolné proti opotřebení, ale mají velmi malou ohybovou pevnost. Pro úspěšné použití řezné keramiky jsou nutné stabilní technologické podmínky obrábění, dostatečné výkonné stroje s vysokými otáčkami vřetena, vysokou tuhostí a přesností chodu vřetena, mechanizovaný odběr třísek při provozu, tuhé obrobky s tuhým upnutím apod. Řezná rychlost pro běžné oceli se volí kolem 350 m/min, pro neželezné kovy až 1000 m/min. Dělí se na tři základní skupiny podle chemického složení, vlastností a doporučeného použití:

1. **Čisté oxidy** - je to téměř čistý oxid hlinitý  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 99% s malým množstvím mineralizátorů (hořečnatých sloučenin). Používají se pro dokončovací soustružení šedé litiny, nelegovaných a nízkolegovaných ocelí.
2. **Cermety (ISO – skupina HT)** - jsou slinuté materiály, které kromě oxidu hlinitého obsahují čisté kovy (Ni, Mo, Cr), nebo jsou na bázi karbonitridu titanu s pojící fází kobaltu a niklu. Cermety se vyznačují vysokou tepelnou odolností, odolností proti otěru hřbetu a tvorbě výmolů na čele. Jsou vhodné pro jemné a dokončovací soustružení nelegovaných, legovaných, kalených a popouštěných ocelí do pevnosti 1000 MPa nepřerušovaným řezem při vysokých řezných rychlostech.
3. **Karbidové oxidy** – Základem je oxid hlinitý  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , až s 50% karbidů kovů (TiC,  $\text{Mo}_2\text{C}$ , WC).

#### Ad. 4. Polykrystalické řezné materiály

- ◆ **Kubické nitridy bóru (ISO – skupina BN)**
- ◆ **Polykrystalické diamanty (ISO – skupina DP)**

Oba jsou řezné materiály, vyrobené vysokoteplotní a vysokotlakou syntézou. Využití výborných řezných vlastností těchto vývojových řezných materiálů spočívá ve spojení s nástroji pro CNC stroje. Jejich hlavní nevýhodou je vysoká pořizovací cena.

**Kubický nitrid bóru (CBN)** je po diamantu nejtvrdějším řezným materiálem, má vysokou odolnost proti opotřebení i při řezných teplotách přes cca 1000°C. Používá se při soustružení tvrdých a žáruvzdorných materiálů, kalené oceli, nežíhané tvrdé litiny, kalených nástrojových ocelí, kobaltových a niklových slitin apod. Výhodné je také jejich použití při dokončovacím obrábění jako náhrady za broušení.

**Polykrystalický diamant (PKD)** je zcela izotropní, tj. z vlastnostmi nezávislými na směrové orientaci a tím i méně choulostivější vůči zlomení. Jeho jemná zrnitá struktura dovoluje vybroušení velmi ostrých břitů. Doporučuje se pro obrábění všech neželezných kovů a nekovových materiálů, např. sklolaminátů, kaučuku, grafitu, skla atd.

#### Ad. 5. Brousící materiály

K výrobě brousících nástrojů a pomůcek se jako řezného materiálu (ostřiva) používá ostrohranných zrn velké tvrdosti. Zrna o velikosti několika  $\mu\text{m}$ , v podobě jemných prášků, se používají k leštění a výrobě lapovacích past. Větší zrna jsou tmelena různými pojivy do tvarů brousících nástrojů. Ostré hrany každého zrna představují jednotlivé břity s velmi rozmanitou geometrií.

Podle původu se **brusivo** dělí na **přírodní a umělé**. Přírodní brusiva (pískovec, pazourek, smírek, křemen apod.) nemají v současnosti, kromě přírodního diamantu, zvláštního významu a používají se převážně k výrobě brusných plátén. K výrobě brousících nástrojů se používá výhradně umělého brusiva. Jsou to:

1. tavený oxid hlinitý – umělý korund,
2. karbid křemíku,
3. karbid bóru,
4. kubický nitrid bóru,
5. syntetický diamant.

**Umělý korund.** Je to tavený oxid hlinitý ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ). Běžný umělý korund obsahuje 85 až 98 % oxidu hlinitého a má hnědou až černou barvu podle čistoty surovin. Umělý korund, vyráběný z čistého  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , má barvu bílou, s přísadou oxidu chrómu se získá korund růžové barvy, tzv. rubínový.

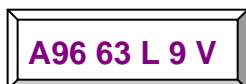


**Karbid křemíku (SiC).** Vyrábí se redukcí oxidu křemičitého velmi čistým koksem. Karbid křemíku má vyšší tvrdost než korund, ale má i větší křehkost. Barvu má světle zelenou, z méně čistých surovin až tmavě zelenou.

**Karbid bóru (B<sub>4</sub>C).** Jeho výroba je nákladná. Výchozí surovinou je kyselina boritá a velmi čistý koks. Produktem jsou malé, kovově lesklé krystalky o vysoké tvrdosti. Používá se jako náhrada za diamantové brusivo.

### Značení brusiva

Při volbě brousícího nástroje se musí určit nejen jeho tvar a velikost, ale i jeho jakost. Jakost brousícího nástroje se označuje písmeny a čísla v určitém pořadí, např.:



**A96** – druh brusiva. Volí se podle druhu a vlastností broušeného materiálu.

**63** - zrnitost brusiva. Je udána číslem, které odpovídá tříděné velikosti zrna a volí se podle požadované drsnosti broušené plochy obrobku.

**L** - tvrdost brousícího kotouče. Volí se podle tvrdosti materiálu obrobku a velikosti styčné plochy nástroje s obrobkem.

**9** – struktura nástroje neboli pórovitost.

**V** – druh pojiva.

### 4. MECHANIKA TVOŘENÍ TŘÍSKY

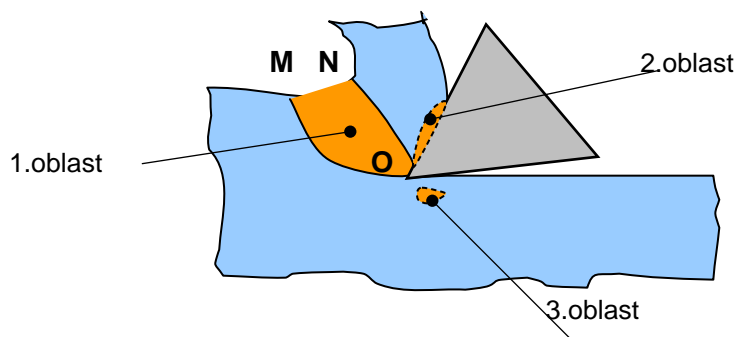
Při vnikání břitu nástroje do obrobku je materiál odřezávané vrstvy značně namáhán a deformován. Odřezávání třísky probíhá za vysokých tlaků a teplot mezi břitem nástroje – především jeho čelní plochou a hladkou plochou odcházející třísky. Charakter namáhání a velikost deformací odřezávané vrstvy jsou závislé na druhu a vlastnostech obráběného materiálu. Podle poměru pevnosti v tahu a ve smyku obráběného materiálu mohou nastat tyto případy:

1. Namáhání materiálu probíhá podle **přímky a**. Tečné napětí dosahuje meze kluzu a meze pevnosti ve smyku dříve než normálové napětí meze pevnosti v tahu. Materiál odřezávané vrstvy se **intenzivně plasticky tváří** a pak odděluje.

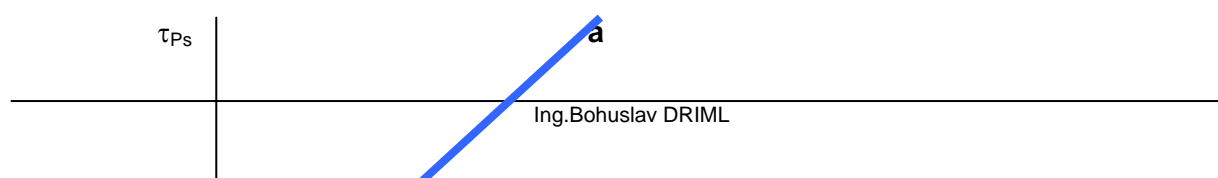
2. Podle **přímky c** dosáhne normálové napětí meze pevnosti v tahu dříve než tečné napětí meze kluzu. Materiál odřezávané vrstvy je **odtržen, aniž byl tvářen**.

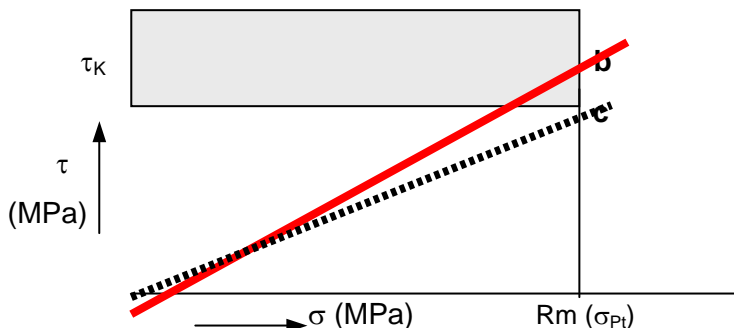
3. Podle **přímky b** je materiál před odtržením **částečně tvářen**.

obr.: Oblast plastických deformací.



obr.: Způsoby namáhání odřezávané vrstvy.





Při řezání způsobuje břit nástroje plastické deformace, které probíhají ve třech oblastech:

**1.oblast - oblast primárních plastických deformací** ohraničených přímkami OMN, která leží v odřezávané vrstvě. První fáze je tvořena postupným vnikáním břitu nože do obráběného materiálu, při kterém vznikají nejdříve pružné, později trvalé (plastické) deformace částic oddělovaného materiálu. V důsledku vzniklého napětí v oblasti OMN dochází ke kluzovému posuvu určitého objemu materiálu, tzn. Vytváří se element třísky. Hovoříme o první fázi tvorby třísky.

Dalším posuvem břitu nástroje se tento proces opakuje v další vrstvě odřezávaného materiálu a vzniká tak další element třísky.

Druhá fáze je vlastní smyk dílků třísky.

Třetí fází je druhotný deformační proces, při kterém se částice třísky, které měly původně tvar kosodélníku tvarově mění a nabývají tvar lichoběžníku. Vlivem toho se třísky stáčí do spirály.

**2.oblast – sekundární plastické deformace**, která je v nepatrné vrstvě styčné plochy třísky s čelem nástroje.

**3.oblast –plastické deformace** v místě styku roviny hřbetu nástroje a obrobené plochy.

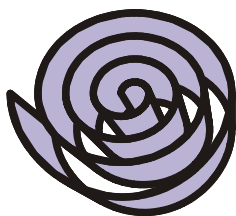
Materiál v odřezávané vrstvě obrobku se plastickou deformací zpevňuje, zvyšuje se jeho pevnost a tvrdost.

## 5. DRUHY TŘÍSEK

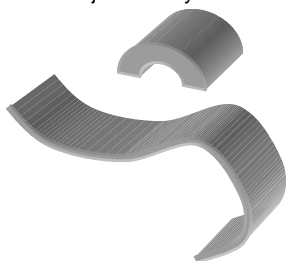
Typ a tvar třísky je dán druhem a jakostí obráběného materiálu, jeho fyzikálními , mechanickými a chemickými vlastnostmi, řeznými podmínkami (řezná rychlost, posuv, hloubka řezu), geometrií břitu, chlazením a mazáním apod.

Při řezání materiálů vznikají tři charakteristické druhy třísek:

- ♦ **Tříška plynulá** – podle přímky a – tvoří se zpravidla při obrábění měkkých a houževnatých materiálů jako oceli, slitiny hliníku a mědi, při štíhlém tvaru průřezu třísky (malý posuv), při velké řezné rychlosti a při velkých kladných úhlech čela. Povrch třísky na straně čela nože bývá hladký. Plynulá tříška odchází po čele nástroje ve tvaru různých šroubovic nebo spirál jako souvislý celek. Plynulé třísky jsou nežádoucí, protože zaujímají velký prostor a jsou nebezpečné z hlediska obsluhy stroje.
- ♦ **Tříška člankovitá** – podle přímky b – vzniká při obrábění tvrdých a tvárných materiálů. Při její tvorbě dochází k odtržení jednotlivých elementů, dobře patrných na vnějším povrchu třísky. Tříška odchází po čele v kratších celcích ve tvaru různě tvarovaných pásků. Z hlediska obrábění je nejpříznivější, (při obrábění litiny, automat. oceli, bronzů apod.).
- ♦ **Tříška drobná** – podle přímky c – tvoří se při obrábění tvrdých a křehkých materiálů. Vzniká vylamováním jednotlivých elementů, bez vzájemné souvislosti. Má tvar šupin, úlomků, zrníček apod. Při obrábění působí potíže, bývá příčinou porušení břitu a dává horší obrobený povrch.



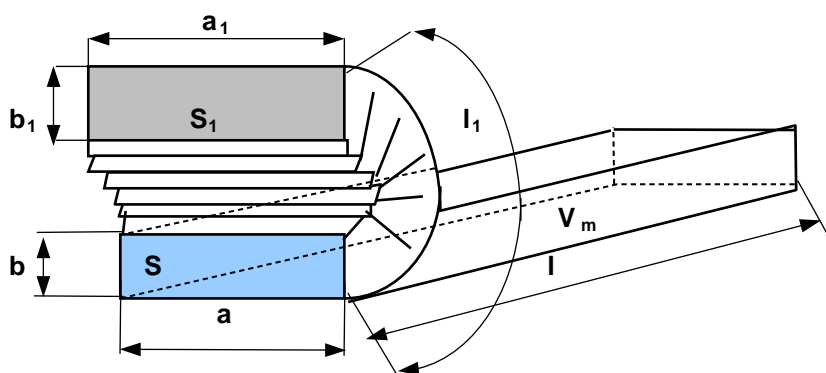
Tříska plynulá – spirálová



Tříska článkovitá - stuhvá

## 6. OBJEMOVÝ SOUČINITEL TŘÍSKY

Odebíraná vrstva materiálu při přeměně na třísku vlivem plastických deformací mění své rozměry. Průřez třísky  $S_1$  je vždy větší než průřez odebírané vrstvy  $S$ . Délka dráhy nástroje  $l$  je vždy větší než délka odebrané třísky  $l_1$ . Tento proces se nazývá pěchování třísky.



Rozměry třísky před obráběním:

$a \times b$  - tloušťka x šířka odebírané vrstvy (mm )

$S$  – plocha třísky odebírané –  $a \times b$  – (mm<sup>2</sup>)

$l$  - délka třísky neodebrané, tzn. dráha nože ( mm )

$V_m$  - objem materiálu, ze kterého se tříška vytvoří =  $a.b.l$  ( mm<sup>3</sup> )

$l_1$  - délka odebrané třísky

$V_t$  - objem, který zaujímá odebraná tříška (mm<sup>3</sup>)

$a_1$  – tloušťka třísky (mm)

$b_1$  – šířka třísky (mm)

Po odebrání třísky platí:  $a_1 > a$  ,  $b_1 \geq b \Rightarrow S_1 > S$  ,  $l_1 < l$

-součinitel příčného pěchování:

$$k_s = \frac{S_1}{S} \cdot 100 (\%),$$

- součinitel podélného pěchování:

$$k_l = \frac{l}{l_1} \cdot 100 (\%)$$

**-objemový součinitel třísky** (nejdůležitější), podle něj se hodnotí výhodnost třísek při obrábění.

Charakterizuje se jako poměr objemu třísek nestlačených (volných)  $V_t$ , které vznikly z objemu odebíraného kovu  $V_m$ :

$$W = \frac{V_t}{V_m} \cdot 100 (\%)$$

Objemové hodnoty se od sebe značně liší.  $V_t$  je až 300 x větší než  $V_m$ . Objemový součinitel třísek  $W$  roste se zvětšující se rychlostí  $v$ , se zmenšujícími úhly  $\delta_0$ ,  $\chi_r$ ,  $\lambda_s$ .

Maximální snahou je získat co nejmenší  $W$ , čehož lze dosáhnout::

- ⇒ Změnou materiálu obrobku (tvořící drobnou třísku – automatová ocel),
- ⇒ Změnou geometrie břitu rezného nástroje,
- ⇒ Změnou rezných podmínek,
- ⇒ Využitím lamačů a utvářečů třísek,

## 7. TVOŘENÍ NÁRŮSTKU A JEHO VLIV NA OBRÁBĚNÍ

Vlivem tření třísky se zoxidovaná vrstva čela nástroje setře a dalším působením vysokých tlaků v místě styku třísky s čelem nástroje a vysoké teploty třísky se uplatní adhezní síly. V místě styku tak dojde k místnímu navaření třísky k čelu nástroje. Další pohyb třísky je možný až tehdy, dojde-li k porušení soudržnosti materiálu třísky. Část třísky však zůstane navařena na čele a tvoří tzv. **nárůstek**.

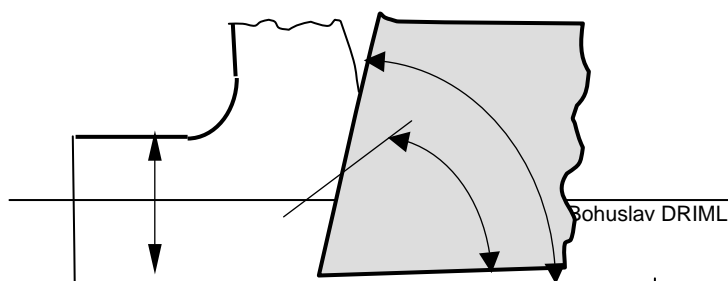
Ten se vyznačuje vysokou pevností a tvrdostí, ta může být 2 až 5krát větší než tvrdost materiálu třísky a nárůstek může převzít funkci břitu nástroje. Postupným přibýváním vrstev na nárůstek se mění úhel řezu  $\delta$  na úhel řezu skutečný  $\delta_{sk}$ .

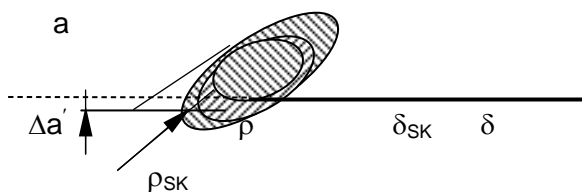
Při porušení rovnováhy sil působících na nárůstek dojde k jeho porušení. Zpravidla se odtrhne část nárůstku. Pouze v málo případech dochází k odtržení celého nárůstku většinou i s částí břitu nástroje. Po odtržení nárůstku se celý děj opakuje s frekvencí  $10^2$  až  $10^3$  Hz.

Při obrábění ocelí se tvoří nárůstek zvláště mezi 300 až 400°C. Nad 600°C se již nárůstek netvoří.

Prostředí, které obsahuje mazací prostředky, snižuje tření a čistotu plochy styku. Tvorba nárůstku je podstatně omezena.

obr.: Postupné tvoření nárůstku.

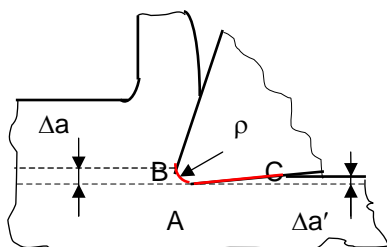




Vlivem nárůstku se zmenšuje úhel řezu  $\delta$  a zvětšuje se poloměr ostří  $\rho$ . Menší úhel řezu  $\delta_{SK}$  proti předpokládanému  $\delta$  má za následek zúžení oblasti OMN. Větší poloměr ostří  $\rho_{SK}$  zvětšuje tloušťku odřezávané vrstvy o  $\Delta a$  a způsobuje větší deformaci obrobené plochy. Při obrábění na čisto se mění i rozměr obrobku o hodnotu  $\Delta a$ .

**Na jakost obrobené plochy má nárůstek jednoznačně negativní vliv, neboť části rozrušeného nárůstku ulpívají na obrobené ploše a zhoršují její drsnost.**

## 8. ZPEVNĚVÁNÍ OBROBENÉ PLOCHY A ZBYTKOVÁ PNUTÍ PO OBRÁBĚNÍ



Jelikož ostří nástroje není dokonalá hrana, ale zaoblená plocha o poloměru  $\rho = 5$  až  $20 \mu\text{m}$ , je styk břítu nástroje s plochou řezu na ploše BAC (viz obr.). Vrstva materiálu o tloušťce  $\Delta a$  je vlivem zaobleného ostří stlačována a plasticky sekundárně tvářena. Po přechodu břítu stlačený materiál vystoupí o část pružných deformací  $\Delta a'$ .

Zpevněná vrstva se tvoří **pouze u plastických materiálů** se sklonem ke zpevnění. Hloubka a intenzita zpevnění je kromě vlastností materiálu a velikosti poloměru břítu  $\rho$  závislá ještě na řezné rychlosti, tloušťce a šířce odřezávané vrstvy, na úhlu hřbetu  $\alpha$ , úhlu řezu  $\delta$  a poloměru špičky nástroje  $r$ .

Je-li zpevněná vrstva dokonale soudržná se základním materiálem, má příznivý vliv na mechanické opotřebení obrobené plochy a zvyšuje se její odolnost proti korozi.

### **Zbytkové pnutí po obrábění**

U způsobů obrábění vyznačujících se velkým mechanickým zatížením při nízkých teplotách povrchové vrstvy obrobku, převažuje **vliv plastických deformací nad teplotou** a v povrchových vrstvách obrobené plochy vzniká **tlakové napětí**.

U obrábění, kde teplota povrchových vrstev dosahuje vysoké hodnoty ( $800^\circ\text{C}$  při obrábění se SK až  $1200^\circ\text{C}$  při broušení), je účinek teploty převládající. Ohřátá povrchová vrstva má při svém ochlazení tendenci zmenšovat svůj objem, ale spodní vrstvy, které si zachovaly nízkou teplotu, svůj objem nemění a smršťování povrchových vrstev brání. Následkem toho vzniká v povrchové vrstvě tahové napětí.

Pnutí v povrchových vrstvách obrobku následkem obrábění má značný vliv na vlastnosti obrobku. Je jím ovlivněna především mez únavy.

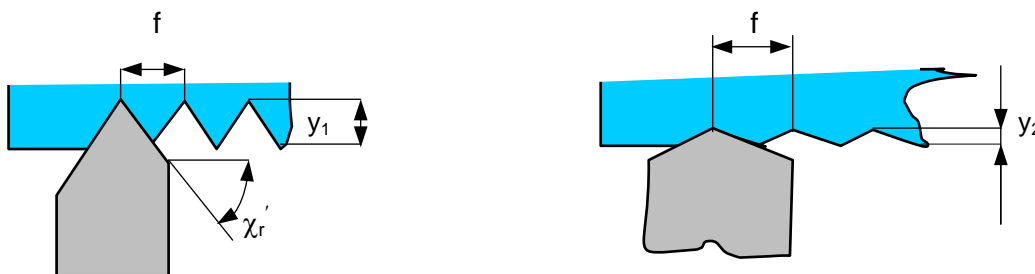
**Tlaková (záporná) pnutí mez únavy zvyšují a naopak tahová (kladná) pnutí mez únavy snižují a jsou příčinou únavových trhlin a lomů.**

## 9. DRSNOST OBROBENÉ PLOCHY

Je určena stopami, které zanechává břit nástroje. Stupeň drsnosti je kromě fyzikálních a mechanických vlastností obráběného materiálu závislý na:

- ⇒ **tvaru a geometrii břitu**, (zejména úhly  $\chi_r$  a  $\chi_r'$ , poloměr zaoblení špičky nástroje),
- ⇒ **velikosti posuvu**,
- ⇒ **řezné rychlosti** (malé rychlosti=horší kvalita,nárůstek),
- ⇒ **tuhosti stroj-nástroj-obrobek**,
- ⇒ **řezném prostředí** (řezné kapaliny a oleje, mazání=příznivý účinek).

obr.: Drsnost obrobené plochy.



vliv úhlů  $\chi_r$  a  $\chi_r'$

Při malých posuvech a větším poloměru zaoblení špičky nástroje se význam úhlů  $\chi_r$  a  $\chi_r'$  neuplatňuje. Větší poloměry špičky nástroje drsnost obrobené plochy snižují, hlavně při malých posuvech a malé hloubce záběru.

Posuv má na drsnost povrchu největší vliv. Se zvětšujícím se posuvem úměrně roste i drsnost obrobené plochy.

Řezné prostředí se na drsnosti obrobené plochy projevuje příznivě použitím řezných kapalin a olejů s mazacími účinky zejména při obrábění na čisto a při malých řezných rychlostech, kdy mazací účinek zamezuje tvoření nárůstku a omezuje tření na ploše řezu.

## 10. PRÁCE A SÍLA ŘEZÁNÍ (řezná síla, řezný odpor)

Při řezání se musí vynaložit jisté množství práce, která obsahuje:

- ◆ **Práci plastických deformací** – v oblasti OMN, základní složka a dosahuje až 80% celkové práce.
- ◆ **Práci elastických deformací** – cca 2%

- ♦ **Práci tření na čele nástroje** – souvisí s odvodem třísky – až 35%
- ♦ **Pasivní práci deformační** – na ploše BAC vlivem nedokonalého ostří. Minimální.
- ♦ **Pasivní práci tření** – vlivem tření plochy hřbetu po ploše řezu. Při obrábění s malými průřezy třísek může dosáhnout až několik desítek procent.

Celková práce vynaložená při řezání :

$$A = F \cdot v \cdot t \cdot \cos \omega \text{ (J)}$$

kde:  $F$  – výsledná řezná síla,

$\omega$  - úhel, který svírá vektor řezné síly se směrem řezného pohybu

$v$  – řezná rychlost,  $t$  – čas obrábění

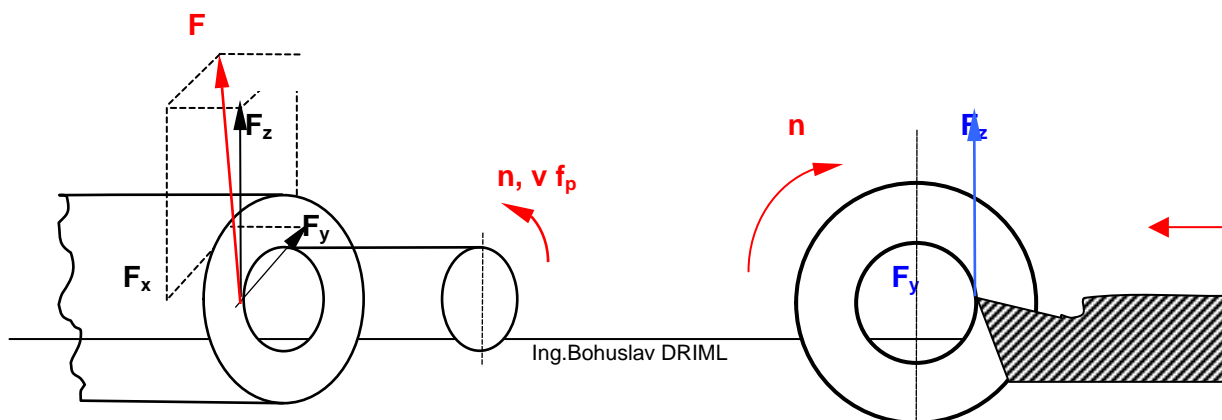
Součin  $F \cdot \cos \omega = F_z$  je složkou řezné síly, která se stanoví jednoduchým výpočtem.

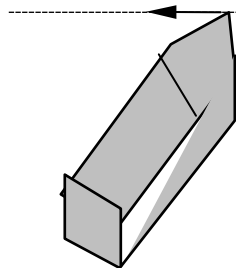
## Řezná síla

Při řezání musíme na řezný nástroj působit určitou silou  $F$ , abychom překonali řezný odpor materiálu obrobku  $p$ . K odebrání třísky musí platit podmínka  $F > p$ .

Při soustružení rozkládáme výslednou řeznou sílu  $F$  do tří vzájemně kolmých složek, které leží v souřadných osách  $x, y, z$ . Jsou to tyto složky:

- q  $F_x$  – **axiální složka řezné síly** (síla posuvová), která je rovnoběžná se směrem vedlejšího řezného pohybu, tj. posuvu  $f$  – její velikost je vázána na posuvový mechanismus obráběcího stroje
- q  $F_y$  – **je radiální složka řezné síly**, působí kolmo na osu soustružení – její velikost je ovlivňována tuhostí stroje, upínačů a obrobků.
- q  $F_z$  – **tangenciální složka řezné síly**, ležící ve směru tečny obrobku a působící proti hlavnímu řeznému pohybu, tj. rotaci obrobku. U rotačního obrábění určuje velikost kroutícího momentu - - spolu s řeznou rychlostí určuje výkon pro vykonání hlavního řezného pohybu.





$$F_{xy}^2 = F_x^2 + F_y^2$$

$$F^2 = F_{xy}^2 + F_z^2$$

$$F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2 + F_z^2} \quad (\text{N})$$

Velikost celkové řezné síly  $F$ , případně jejích složek, se při obrábění (v našem případě podélném soustružení) určuje výpočtem rozhodující tangenciální složky řezné síly  $F_z$ , a to pomocí měrného řezného odporu materiálu  $p$ .

$$p = \frac{F_z}{S_0} \Rightarrow F_z = p \cdot S_0 = p \cdot h \cdot f \quad (\text{N})$$

$h$  – hloubka řezu,

$f$  = posuv

$S_0 = h \cdot f \quad (\text{mm}^2)$

Zbylé dvě složky řezné síly  $F_x$  a  $F_y$  se určí v poměru ke složce  $F_z$  pomocí experimentálně určených konstant  $C_1$  a  $C_2$ , které jsou závislé především na velikosti úhlu nastavení hlavního ostří  $\chi_r$ . Pro úhel nastavení ostří  $45^\circ$  bývá v průměru  $F_z : F_y : F_x = 1 : 0,4 : 0,25$ .

$$F_x = C_1 \cdot F_z \quad (\text{N})$$

$$F_y = C_2 \cdot F_z \quad (\text{N})$$

Z vlivů působících na silové poměry při soustružení jsou nejdůležitější:

- q Z nástrojových řezných úhlů má na všechny složky řezné síly největší vliv úhel řezu  $\delta$  - jeho zvětšováním vzrůstají všechny složky řezné síly.
- q S rostoucí hloubkou třísky  $h$ , ale také s velikostí posuvu  $f$ , složky řezných sil vzrůstají
- q Zvyšováním pevnosti a tvrdosti materiálu obrobku se všechny složky řezné síly zvětšují
- q Se zvyšující se jakostí materiálu břitu všechny složky řezné síly klesají
- q Řezné prostředí se projevuje snížením tření na čele i hřbetu nástroje, usnadňuje průběh plastické deformace, snižuje řezný odpor a tím lze snížit i všechny složky řezné síly.

## Řezný odpor

Řezným odporem  $p$  je poměr složky řezné síly  $F_z$  a plochy průřezu třísky  $S$  :



$$p = \frac{F_z}{S}$$

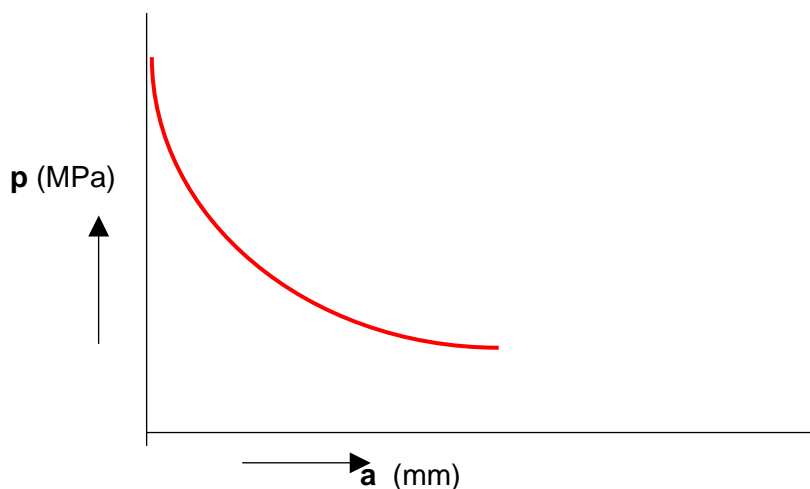
Pod pojmem průřez třísky **S** je myšlen průřez odřezávané vrstvy materiálu ještě před jeho deformací, tj. **S<sub>0</sub>**.

Řezný odpor **p** je závislý na mnoha činitelích, především na vlastnostech obráběného materiálu, na řezných podmínkách a na geometrii nástroje. Lze tedy symbolicky napsat:

**$p = f(R_m, HB, a, a/b, v, \delta, \alpha, \chi, \dots)$**  řezný odpor je funkcí pevnosti, tvrdosti, tloušťky třísky atd.

Z řezných podmínek pro daný druh obráběného materiálu je řezný odpor nejvíce závislý na tloušťce třísky **a**. Závislost má přibližně hyperbolický průběh (viz obr.). Menším tloušťkám třísky odpovídají větší hodnoty řezného odporu, což se vysvětluje:

- q Větším zpevněním v oblasti OMN
- q Relativně většími pasivními odpory.



### Hodnoty řezného odporu

Materiál	R <sub>m</sub> (MPa)	Řezný odpor p (MPa)		
		soustružení	frézování	vrtání
Uhlíková ocel	450	2 100	3 650	2 700
Uhlíková ocel	600	2 160	4 500	3 400
Uhlíková ocel	700	2 450	4 950	4 000

Chrómniklová ocel	500	2 500	5 050	4 300
Chrómniklová ocel	700	2 800	5 400	5 200
Bronz	200 až 300	1 100	1 750	1 500
Bronz	300 až 500	1 400	2 100	1 800
Hliníkové slitiny	180 až 250	850	1 300	1 150
Hliníkové slitiny	250 až 350	1 150	1 450	1 300
Šedá litina <sup>*)</sup>	140 až 160	1 380	2 650	1 750
Šedá litina <sup>*)</sup>	160 až 180	1 480	2 800	2 050
Šedá litina <sup>*)</sup>	180 až 200	1 580	3 050	2 500

<sup>\*)</sup> U litiny se místo pevnosti udává tvrdost HB

## 11. TEPLA A TEPLOTA ŘEZÁNÍ

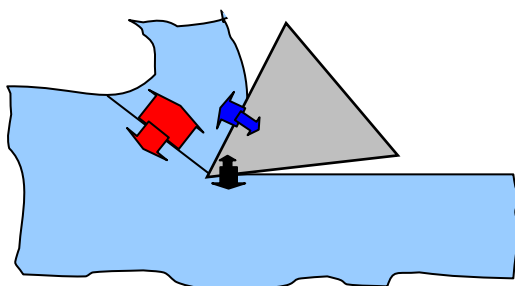
Téměř veškerá mechanická práce vynaložená na přeměnu odřezávané vrstvy v třísku a odvedení třísky z místa řezu se přeměňuje v teplo.

Teplo se vyvíjí v poměrně malé oblasti a je příčinou vysoké teploty, která má nepříznivý vliv na opotřebení nástroje, na přesnost obrábění a na jakost obrobené plochy.

Ke vzniku tepla při obrábění dochází přeměnou dílčích prací v jednotlivých místech zdrojů:

- **v oblasti OMN** - přeměnou práce plastických deformací, teplo  $Q_p$ ,
- **na styčné ploše čela** - přeměnou práce tření, teplo  $Q_{tc}$ ,
- **na styčné ploše hřbetu** - přeměnou práce tření, teplo  $Q_{th}$ .

obr.: Dílčí zdroje tepla.



Celkové množství tepla  $Q = A \approx F_z \cdot v \cdot t$  ( J )

Celkové teplo vznikající při obrábění je z podstatné části odváděno **třískou** - teplo  $Q_1$ , z menší části **obrobkem** - teplo  $Q_2$  a **nástrojem** - teplo  $Q_3$ . Část tepla je vyzařována přímo **do okolí** - teplo  $Q_4$ . Podíl jednotlivých složek odváděného tepla je závislý:

- na tepelné vodivosti materiálů obrobku a nástroje,
- na rezných podmínkách, především rezné rychlosti,
- na rezném prostředí a způsobu chlazení a mazání,

- na geometrii břítu nástroje.

Pro dílčí zdroje tepla a pro složky odváděného tepla platí tzv. **rovnice tepelné bilance**

$$Q_p + Q_{tc} + Q_{th} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4.$$

### Teplota řezání

Vývin tepla při obrábění má za následek zvýšení teploty v místech zdrojů tepla a v jejich okolí. Teplota má výrazný vliv na stav břítu, především na intenzitu jeho otupování. **Překročením mezní teploty řezání se rychle snižuje tvrdost břítu**, nástroj ztrácí řezné schopnosti a prudce narůstá jeho opotřebení.

Přípustné hodnoty řezání:

Materiál břítu nástroje	Nejvyšší přípustná teplota řezání ( °C )	Přibližná řezná rychlost (m/min)
Slitinová ocel	260	12 až 18
Rychlořezná ocel	560	24 až 36
Slinuté karbidy WC+TiC+Co	900 až 1 100	90 až 150
Keramické materiály	1 100 až 1 200	170 až 300

## 12. CHLAZENÍ A MAZÁNÍ PŘI OBRÁBĚNÍ, ŘEZNÉ KAPALINY

Aby se dosáhlo co nejvyšší trvanlivosti břítu a aby teplota na břítu nezpůsobovala předčasné otupení, používáme chlazení. Při stejné teplotě břítu dovolí chlazení vyšší řeznou rychlost. Při stejné řezné rychlosti se chlazením dosáhne snížení teploty a tím prodloužení trvanlivosti břítu.

Úkolem řezného prostředí je:

- ⇒ odvádět teplo z oblasti jeho tvoření,
- ⇒ snížit práci vlivem tření,
- ⇒ snížit intenzitu otupování nástroje,
- ⇒ zlepšit jakost obrobené plochy,
- ⇒ odvádět třísky z místa řezu.

Účinky řezného prostředí lze shrnout na účinek **chladicí a mazací**.

**Mazací účinek** se projevuje snížením tření na činných plochách nástroje (vnější mazací účinek) a usnadňuje plastické deformace třísky. Snižuje se řezný odpor a zlepšuje se jakost obrobené plochy.

**Chladicí účinek** je charakterizován schopností odvádět teplo z místa řezání. Chladicí schopnost kapaliny je dána hlavně jejím výparným teplem, rychlostí vypařování, její tepelnou vodivostí a jejím měrným teplem.

Chladicí i mazací účinek snižuje otěr nástroje. Rychlost proudění řezné kapaliny výrazně ovlivňuje její chladicí účinek.

Antikorozním účinkem řezných kapalin se zabrání korozi obrobku.

### Řezné kapaliny

**Vodné roztoky** – jsou 2 až 5 % roztoky uhličitanu sodného, křemičitanu sodného nebo draselného, dusitanu sodného a další. Mají dobrý chladicí účinek bez mazacího účinku. Používají se hlavně u broušení.

**Emulze** - směsi vody a jemně rozptýlených olejů a tuků. Splývání jednotlivých částic olejů a tuků se zamezí přidáním tzv. emulgátorů, nejčastěji mýdel. Mají velmi dobré mazací i chladicí účinky.

Skládají se z : **vody**, **emulgační látky** (minerální oleje, tuky, mastné kyseliny) a **emulgátoru** (sodné nebo draselné mýdlo).

**Řezné oleje** - se vyrábějí z minerálních olejů. Převládá mazací účinek. Zajišťují vysokou jakost obrobené plochy a malé opotřebení nástroje. Používají se při stružení a protahování a při obrábění ozubení a závitů.

### 13. OPOTŘEBENÍ BŘITU NÁSTROJE

Pod pojmem opotřebení (otupování) nástroje se rozumí postupně probíhající proces, při kterém se zvětšuje poloměr ostří  $p$ , zhoršuje se drsnost plochy čela a hřbetu v místech styku s třískou a plochou řezu, čímž se mění postupně geometrie břitu.

Postupné zvětšování opotřebení řezného nástroje ovlivňuje rozměry a drsnost obrobených ploch, zvyšuje teploty řezání, zvyšuje se měrný řezný odpor  $p$  a musí se tedy zvýšit i řezná síla  $F$ .

K opotřebení břitu nástroje dochází:

- ⇒ otěrem stykových ploch
- ⇒ plastickou deformací povrchových vrstev břitu
- ⇒ narušením ostří křehkými lomy

K otěru stykových ploch dochází jednotlivým nebo současným působením abraze, adheze a difúze.

**Abrazivní otěr (brusný)** způsobují tvrdé částice struktury obráběného materiálu (např. cementit, zpevněná částice třísky aj.) jejichž tvrdost je vyšší než některé částice struktury břitu nástroje (např. kobalt u SK), i když celkově podstatně tvrdšího materiálu.

**Adhezní otěr** vzniká působením vysokých místních tlaků vlivem nerovností pracovních ploch břitu. Vznikají bodové mikrosvary podobně jako při tvoření nárůstku. Při větší mezi pevnosti ve smyku některé strukturní složky obráběného materiálu, než má materiál nástroje, dochází k porušení a úbytku materiálu nástroje.

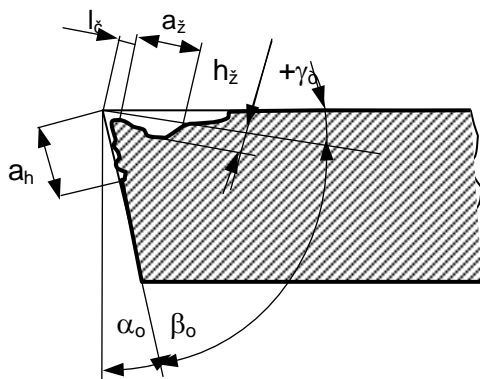
**Difúzní otěr** vzniká při dosažení disociační teploty některého prvku. Difundující atomy vnikající do krystalografické mřížky kovu nástroje vytvářejí nové tuhé roztoky nebo chemické vazby. Vlastnosti nové struktury jsou vždy horší než původní struktura a vzniká tak defektní vrstva o menší pevnosti, která se stírá (abrazivní otěr). K difúznímu otěru dochází při obrábění SK nebo KM.

**Plastická deformace** břitu se uplatňuje při obrábění měkkých materiálů (dřeva, plastů apod.). Vlivem malé tepelné vodivosti obráběného materiálu se hromadí teplo v nástroji, které spolu s tlakem vyvolává plastický stav povrchových vrstev břitu. K opotřebení dochází plynulým přemísťováním plasticky deformované vrstvy materiálu.

**Křehké lomy** se nejčastěji objevují u SK nebo KM při práci nástroje přerušovaným řezem, přetížení břitu v ohybu, při okamžitém zvýšení řezného odporu vlivem tvrdého vměstku nebo tepelným rázem. Křehký lom je podporován mikroskopickými trhlinkami břitu, vznikajícími neopatrným ostřením nástroje.

Souhrnné opotřebení se na řezném nástroji projevuje nepravidelnou změnou jeho tvaru a nerovnostmi na jeho funkčních plochách. Změny tvaru břitu v průběhu práce nástroje jsou

nepravidelné, proto budeme hodnotit velikost otupení pomocí některých typicky se projevujících faktorů.



$l_c$  - je vzdálenost od břitu nástroje po počátek žlábků ( $\mu\text{m}$ )

$a_z$  - je šířka žlábků ( $\mu\text{m}$ )

$h_z$  - je hloubka žlábků ( $\mu\text{m}$ )

$a_h$  - je nepravidelná plocha opotřebení na funkční ploše hřbetu ( $\mu\text{m}$ )

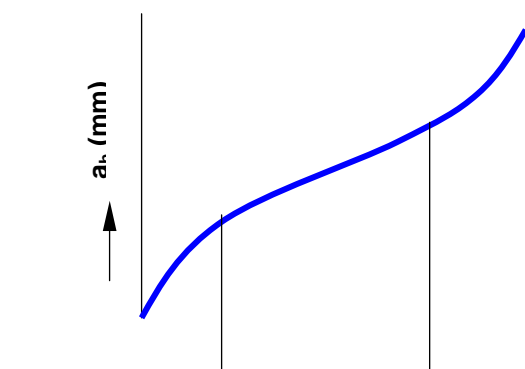
Opotřebení na funkční ploše čela se posuzuje podle hloubky žlábků  $h_z$  a jeho šířky  $a_z$ , a to především při hrubování (vzhledem k nákladům na ostření). Otupení na hřbetě má vliv na přesnost obrobku při obrábění na čisto. Jako kritérium se bere rozměr  $a_h$ .

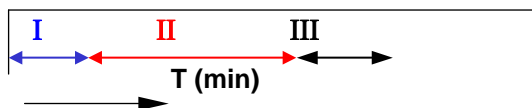
V oblasti řezných podmínek, při nichž dochází k otupování nástroje převážně otěrem, znázorníme velikost jeho otupení  $a_h$  v závislosti na čase tzv. charakteristickou křivkou opotřebení. Ta sestává ze tří částí:

**I - oblast zrychleného počátečního opotřebení** vlivem malé stykové plochy, nerovnosti ostří a vysokých tlaků. Tato oblast má poměrně strmý charakter.

II - *oblast normálního opotřebení* má průběh přibližně přímkový, mírně vzestupný. Došlo zde k vyrovnání nerovností funkčních ploch a vyrovnání tlaků, proto došlo ke zpomalení otěru. Ke konci této oblasti se doporučuje nástroj přeastřit.

III - *oblast zrychleného konečného opotřebení*, kdy dochází k růstu řezných odporů a teplot v důsledku postupujícího otupení. Průběh otupení je strmější a může dojít k porušení celého břitu.





Souhrnně lze konstatovat, že opotřebenění břítu je ovlivňováno:

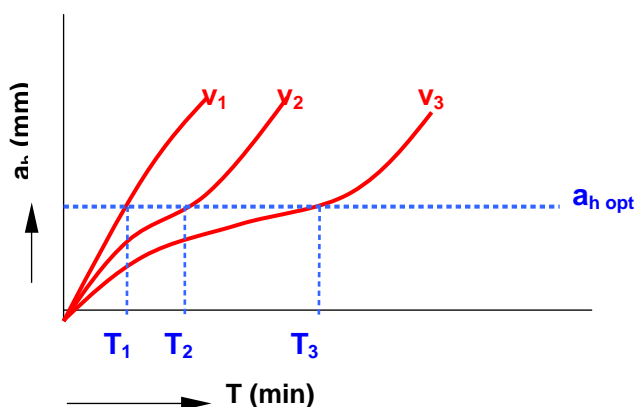
- q vlastnostmi materiálu obrobku a činné části břítu nástroje
- q z řezných podmínek nejvíce řeznou rychlostí, v podstatně menší míře velikostí posuvu a ještě méně hloubkou odřezávané vrstvy
- q z řezných úhlů úhlem řezu  $\delta$
- q řezným prostředím, tzn. jeho působením na velikost součinitele tření, teplotu a působením chemickým.

## 14. TRVANLIVOST BŘITU A ŽIVOTNOST NÁSTROJE

**Trvanlivost břítu nástroje  $T$  (min)** je doba, po kterou nástroj pracuje od svého naostření do přípustného otupění. Opotřebený břit buď přeastříme nebo v případě několikabřitých destiček ze SK pootočíme na břit další. Součet trvanlivostí ostří nástroje až do jeho úplného vyřazení z procesu řezání (kdy již nemůžeme obnovit jeho geometrii) nazýváme **životností nástroje  $Z = n \cdot T$  (min)**, kde  $n$  je počet možných přeastření. **Trvanlivost břítu je základní veličinou, která určuje vztah řezných podmínek k hospodárnosti obrábění.**

Trvanlivost břítu  $T$ , jako funkce rychlosti, se určí z průběhu opotřebenění pro různé řezné rychlosti  $v_1, v_2, v_3, \dots$ . Pro **optimální opotřebenění**  $a_h(\text{opt})$  (náklady spojené s ostřením a výměnou nástroje jsou minimální) se zjistí příslušné trvanlivosti  $T_1, T_2, T_3, \dots$ , které se spolu s příslušnými řeznými rychlostmi vynesou do grafu  $T$ - $v$ .

obr.: Odvození trvanlivosti ostří.



Nová závislost se přibližuje závislosti hyperbolické a dá se vyjádřit vztahem

$$T = \frac{c_T}{v^m} \quad (\text{min})$$

kde  $c_T$  je konstanta vyjadřující vliv ostatních řezných podmínek,

**m** - experimentálně zjištěný exponent řezné rychlosti, který se za běžných řezných podmínek pohybuje v rozsahu:

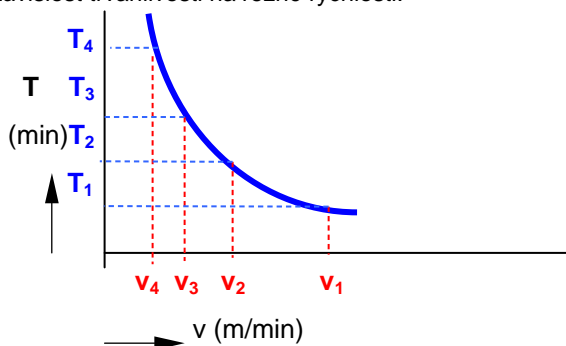
8 až 12	u nástrojů z nástrojové oceli (NO),
5 až 8	u nástrojů z rychlořezné oceli (RO),
2,5 až 5	u nástrojů ze slinutých karbidů (SK)
1,5 až 2,5	u nástrojů z keramických materiálů (KM)

V případě nízkých exponentů **m** je nástroj méně citlivý na změny řezné rychlosti než je tomu u exponentů vyšších. To znamená, že pro malý exponent **m** odpovídá větší změně řezné rychlosti poměrně malá změna trvanlivosti břítu.

Je-li známa hodnota trvanlivosti **T<sub>1</sub>** odpovídající určité řezné rychlosti **v<sub>1</sub>**, může se pro stejné řezné podmínky obrábění a novou řeznou rychlost **v<sub>2</sub>** určit neznámá trvanlivost **T<sub>2</sub>** ze vztahu:

$$\frac{T_2}{T_1} = \left( \frac{v_1}{v_2} \right)^m, \text{ z toho } T_2 = T_1 \left( \frac{v_1}{v_2} \right)^m$$

obr.: Závislost trvanlivosti na řezné rychlosti.



## 15. PRODUKTIVITA OBRÁBĚNÍ

Hodnocení produktivity obrábění počtem výrobků za jednotku času nebo délkou času potřebnou k vyrobení jednoho obrobku jsou kritéria neobjektivní. Podle těchto kritérií by bylo možné produktivitu obrábění zvyšovat jednoduše zvětšením řezné rychlosti, posuvu nebo hloubky řezu, aniž by se přihlíželo k hospodárnosti výroby.

Základní podmínkou hospodárného obrábění jsou minimální celkové náklady na zhotovení daného počtu součástí.

Celkové náklady jsou součtem dílčích nákladů:

$$N_C = N_S + N_V + N_n$$

Pro které platí rovnice:

$$N_S = t_{A12} \frac{D_s}{60}$$

$$N_V = t_{A11} \frac{D_V}{60}$$

$$N_n = t_{A12} \frac{N_p - N_z + (z + 1) N_o}{T (z + 1)}$$

kde

$N_s$  jsou náklady na strojní práci (Kč)

$N_v$  - náklady na vedlejší práci (Kč)

$N_n$  - náklady na nástroje (Kč)

$D_s$  - náklady na hodinu práce stroje, tj. podíl pořizovací ceny a nákladů na opravy (Kč)

$D_v$  - hodnota jedné hodiny vedlejší práce (za klidu stroje je  $D_v = D_s$ ), (Kč)

$N_p$  - pořizovací cena stroje (Kč)

$N_z$  - zbytková cena nástroje po opotřebení (Kč)

$N_o$  - náklady na jedno ostření a seřízení nástroje (Kč)

$z$  - počet ostření za dobu životnosti nástroje

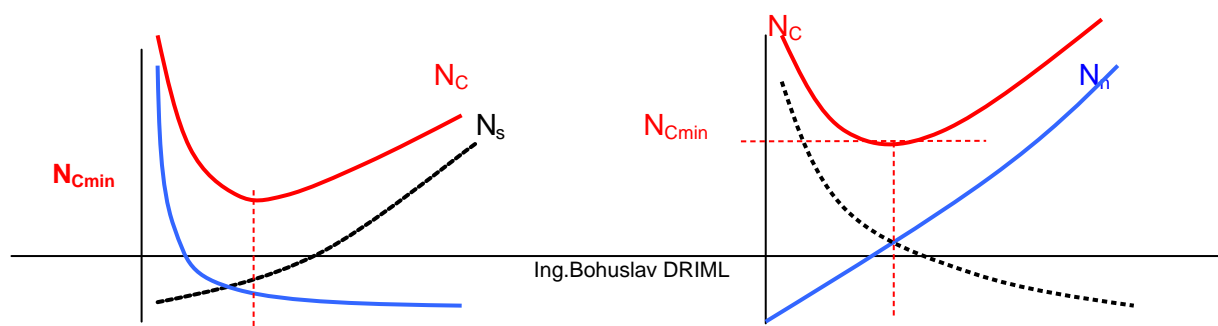
$t_{A12}$  - strojní čas řezání (min)

$t_{A11}$  - vedlejší čas pro ustavení a upnutí obrobku (min)

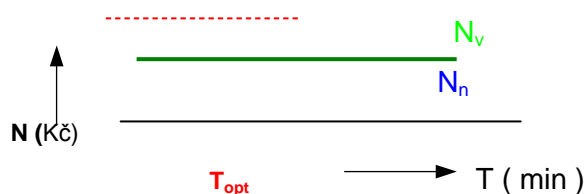
Dosazením do rovnice za  $t_{A12} = (k/c_v) \cdot T^{1/m}$  se dostane závislost nákladů na trvanlivosti. Její úpravou (derivací) se získá konečný vztah pro optimální (hospodárnou) trvanlivost:

$$T_{opt} = 60 \frac{N_p - N_z + (z + 1) N_o}{D_s (z + 1)} (m - 1)$$

Vypočítaná trvanlivost  $T_{opt}$  je jedinou hodnotou, při které jsou výrobní náklady minimální.







Obr. Závislost nákladů na trvanlivosti



Obr. Závislost nákladů na řezné rychlosti

Protože mezi trvanlivostí a řeznou rychlostí existuje vzájemný vztah, lze dílčí a celkové náklady znázornit jako závislost na řezné rychlosti, kde minimální celkové náklady odpovídají optimální řezné rychlosti.

## 16. VOLBA OPTIMÁLNÍCH ŘEZNÝCH PODMÍNEK

Při volbě řezných podmínek je potřeba vycházet ze skutečnosti, že pro každý případ obrábění existuje pouze jediná kombinace řezných podmínek (hloubka řezu, posuv a řezná rychlost), při nichž probíhá obrábění nejehospodárněji. Optimální řezné podmínky lze stanovit:

1. výpočtem (pomocí empirických vzorců)
2. z tabulek
3. pomocí nomogramů
4. z katalogů nástrojů dle doporučení výrobce nástrojů

## 17. OBROBITELNOST MATERIÁLU

Obrobitelnost - souhrn technologických vlastností obráběného materiálu, uplatňující se při vlastním řezání. Jsou to zejména chemické složení a struktura obráběného materiálu a způsob jeho předchozího mechanického a tepelného zpracování. Kromě těchto vlastností ji ještě ovlivňuje způsob obrábění (soustružení, frézování, apod.), druh materiálu břitů nástroje a řezné podmínky.

Obrobitelnost materiálu se posuzuje z několika hledisek. Přitom je důležité jejich pořadí.

### Při hrubování:

řezná rychlost,  
řezný odpor,  
utváření třísek,  
drsnost obrobené plochy.

### Při obrábění na čisto:

drsnost obrobené plochy,  
řezná rychlost,  
utváření třísek,  
řezný odpor.

Obrobitelnost materiálu se posuzuje především podle řezné rychlosti tzv. **stupněm obrobitelnosti**  $i_0$ . Ten se určuje jako poměr rychlosti  $v_{60}$  daného materiálu ku  $v_{60}$  etalonu. Materiál etalonu má stupeň obrobitelnosti  $i_0=1$ .

### Třídění materiálu podle obrobitelnosti

Všechny materiály jsou rozděleny do čtyř základních skupin obrobitelnosti, označených písmeny a, b, c, d. Do jednotlivých skupin jsou materiály zařazeny takto:

- a - litiny a nekovové materiály,
- b - oceli a oceli na odlitky,

c - barevné kovy,

d - lehké kovy.

Každá skupina materiálů je dále tříděna podle stupně obrobiteľnosti do dvaceti tříd, označených čísly 1 až 20. Ve třídě 1 jsou zařazeny materiály nejhůře obrobiteľné, ve třídě 20 materiály nejlépe obrobiteľné.

Jako základní třídy obrobiteľnosti se stupněm obrobiteľnosti  $i_0=1$  byly stanoveny pro jednotlivé skupiny materiálů třídy 11a, 14b, 12c, 12d.

Řezné podmínky pro daný materiál se zjistí vynásobením tabulkových hodnot základní třídy stupněm obrobiteľnosti  $i_0$  daného materiálu.

## 18. UPÍNÁNÍ OBROBKŮ

Při obrábění se musí obrobek ustavit a upnout na obráběcí stroj nebo upínací zařízení v určité poloze vůči nástroji. Na stroji nebo upínacím zařízení jsou opěrné plochy, o něž se obrobek opírá. Aby se daly snadno dodržet rozměry obrobku v požadované přesnosti, musí být tyto opěrné plochy vhodně voleny. Aby se zabránilo změně polohy obrobku působením řezných nebo jiných sil (setrvačných, odstředivých) a dosáhlo se stálého styku s opěrnými plochami, musí se obrobek upnout. Velikost, směr, smysl a působíště síly jsou dané řeznými silami. Kromě řezné síly ovlivňují upínací sílu tyto činitele:

- ⇒ **Hmotnost součásti** – přichází v úvahu, je-li součást ustavena na svislé nebo šikmé ploše,
- ⇒ **Odstředivé síly** – není-li rotující obrobek vyvážen,
- ⇒ **Setrvačné síly** – koná-li obrobek přímočarý vratný pohyb.

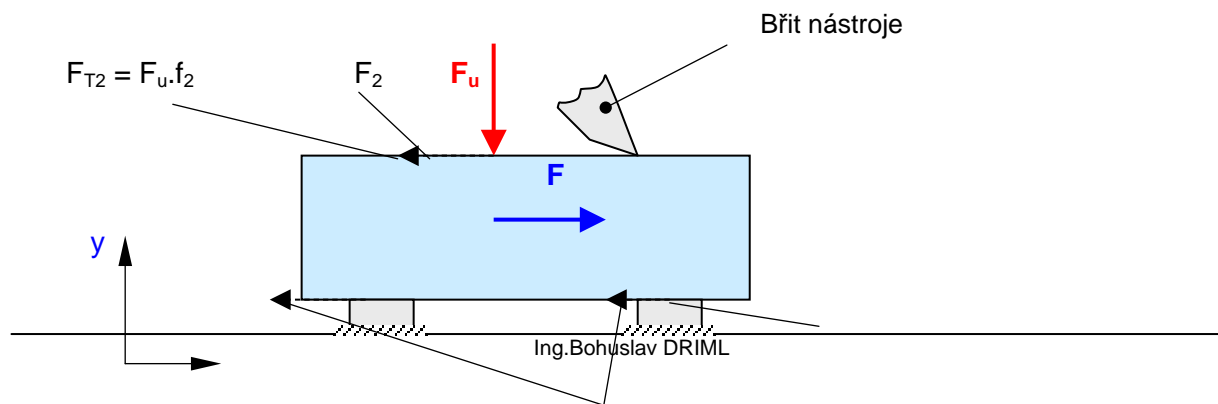
### Výpočet upínacích sil

Při výpočtu upínacích sil je třeba přihlížet k velikosti, směru a smyslu i působíšti řezných sil. Úlohy se řeší zpravidla staticky, tj. jako rovnováha vnějších sil působících na obrobek.

#### 1. Řezná síla $F$ se snaží posunout obrobek.

Posunutí zabraňují třecí síly v místě dotyku obrobku s ustavujícími a upínacími prvky. V ose  $z$  musí být

$$F < F_u \cdot f_1 + F_u \cdot f_2$$



$f_1$ 

z

$$F_{T1} = F_u / 2 \cdot f_1$$

 $F_u$  - upínací síla $f_1, f_2$  - součinitelé tření mezi obrobkem a ustavujícími a upínacími prvky.Zavedením součinitele bezpečnosti upnutí  $k > 1$  a úpravou dostaneme pro upínací sílu vztah:

$$F_u = \frac{k \cdot F}{f_1 + f_2}$$