

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

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



## ÚVOD DO TEORIE OBRÁBĚNÍ

---

doc. Ing. Robert ČEP, Ph.D.

Ing. et Ing. Mgr. Jana PETRŮ, Ph.D.

**Ostrava 2013**



Název: ÚVOD DO TEORIE OBRÁBĚNÍ  
Autor: doc. Ing. Robert ČEP, Ph.D., Ing. et Ing. Mgr. Jana PETRŮ, Ph.D.  
Vydání: první, 2013  
Počet stran: 103  
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 978-80-248-3013-1



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**



# ÚVOD DO TEORIE OBRÁBĚNÍ

---

## 1 Základy strojírenské metrologie

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 978-80-248-3013-1



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>ZÁKLADY STROJÍRENSKÉ METROLOGIE.....</b>	<b>3</b>
1.1	Základní pojmy .....	4
1.2	Soustava jednotek SI.....	4
1.3	Chyby měření, jejich příčiny a členění .....	8
1.4	Struktura povrchu .....	12
1.4.1	Výškové parametry .....	13
1.4.2	Délkové (šířkové) parametry .....	13
1.4.3	Tvarové parametry.....	14
1.4.4	Měření drsnosti povrchu.....	14
<b>2</b>	<b>KONTROLNÍ OTÁZKY .....</b>	<b>16</b>
<b>3</b>	<b>ŘEŠENÝ PŘÍKLAD .....</b>	<b>17</b>
<b>4</b>	<b>POUŽITÁ LITERATURA .....</b>	<b>18</b>



# 1 ZÁKLADY STROJÍRENSKÉ METROLOGIE



## OBSAH KAPITOLY:

Základní pojmy.

Soustava jednotek SI.

Chyby měření.

Struktura povrchu (se zaměřením na drsnost povrchu).



## MOTIVACE:

Metrologie v obecném významu je vědní a technická disciplína, která se zabývá všemi poznatky a činnostmi týkajícími se měření. Cílem metrologie je zabezpečení jednotnosti a správnosti měření v celosvětovém měřítku. Metrologie zahrnuje veškeré aspekty jak teoretické, tak i praktické ve vztahu k měření; bez ohledu na to, jaká je nejistota těchto měření a v jaké oblasti vědy nebo techniky se tato měření vyskytují. Význam metrologie roste v souladu se zvyšujícími se požadavky na kvalitu, rozvoj vědy a techniky, zavádění nových technologií výroby, které vyžadují větší přesnost měření ve všech oblastech metrologie. Strojírenská metrologie se zabývá stanovováním hodnot veličin důležitých pro sledování a zajištění kontroly kvality výrobků ve všech fázích výrobního procesu. Vzhledem k charakteru strojírenské výroby zde výrazně převažuje měření délek a rovinných úhlů.



## 1.1 ZÁKLADNÍ POJMY

V této části se zaměříme na některé vybrané termíny a jejich definice ve znění terminologické normy, která odpovídá mezinárodnímu metrologickému slovníku.

**Metrologie** je věda zabývající se měřením.

**Měření** je soubor činností, jejichž cílem je stanovit hodnotu veličiny.

**Měřicí přístroj, měřidlo** – zařízení určené k měření; samotné nebo ve spojení s přídatným zařízením. Pozn.: Podle české verze jsou termíny "měřicí přístroj" a "měřidlo" považovány za synonyma.

**Metoda měření** je logický sled po sobě následujících genericky posloupně popsaných činností, které jsou používány při měřeních. Metody měření lze blíže určit různými způsoby, např. substituční metoda, diferenciální metoda, nulová metoda.

**Postup měření** je soubor specificky popsaných činností, které jsou používány při blíže určených měřeních podle dané metody měření.

**Měřená veličina** je blíže určená veličina, která je předmětem měření, např. tlak páry daného vzorku vody při 20 °C. Specifikování měřené veličiny může vyžadovat údaje o dalších veličinách jako je čas, teplota a tlak.

**Hodnota** je velikost blíže určené veličiny obecně vyjádřená jako (měřicí) jednotka násobená číselnou hodnotou, např. délka tyče je 5,34 m; hmotnost tělesa je 0,152 kg. Pozn.: Hodnota veličiny může být kladná, záporná nebo nulová.

**Pravá hodnota** je hodnota, která je ve shodě s definicí dané blíže určené veličiny. Pozn.: Jedná se o hodnotu, která by byla získána naprosto přesným (perfektním) měřením. V podstatě nelze pravé hodnoty určit.

**Konvenčně pravá hodnota** je hodnota, která je přisuzována blíže určené veličině a přijatá, jako hodnota, jejíž nejistota je vyhovující pro daný účel.

**Přesnost měření** je těsnost shody mezi výsledkem měření a pravou hodnotou měřené veličiny.

**Přesnost měřicího přístroje** je schopnost měřicího přístroje poskytovat výstupní signály blízké pravé hodnotě. Pozn.: Termín "přesnost" je kvalitativní pojem.

**Nejistota měření** je parametr přidružený k výsledku měření, který charakterizuje rozptyl hodnot, které by mohly být důvodně přisuzovány k měřené veličině. Pozn.: Tímto parametrem může být např. směrodatná odchylka (nebo její daný násobek) nebo polovina šířky intervalu, jehož konfidenční úroveň je stanovena.

**Chyba (měření)** je výsledek měření minus pravá hodnota měřené veličiny. Pozn.: Pravou hodnotu veličiny nelze určit, v praxi se používá konvenčně pravá hodnota veličiny.

**Výsledek měření** je hodnota získaná měřením přisouzená měřené veličině. Pozn. Pokud se jedná o výsledek, mělo by být zřejmé zda se jedná o indikaci, nekorigovaný či korigovaný výsledek, nebo o průměr získaný z několika hodnot. Úplný údaj výsledku měření obsahuje informaci o nejistotě měření.



Audio 1.1 Základní pojmy



## 1.2 SOUSTAVA JEDNOTEK SI

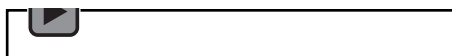
Měření hodnoty fyzikální veličiny je číselné stanovení její velikosti ve zvolených jednotkách. V roce 1960 byla přijata XI. generální konferencí pro míry a váhy dosud platná Mezinárodní soustava jednotek, známá pod zkratkou SI. Povinné používání jednotek SI bylo na našem území zavedeno od 1. ledna 1980.



V rámci platných norem jsou pro jednotlivé fyzikální veličiny definovány základní jednotky metr, kilogram, sekunda, ampér, kelvin, mol a kandela. Přehled základních jednotek včetně jejich definic je uveden v tab. 1.1.



### Audio 1.2 Základní pojmy



Tab. 1.1 – Základní jednotky a jejich definice

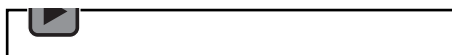
Jednotka	Veličina	Značka	Definice
metr	délka	m	Metr je délka dráhy proběhnuté světlem ve vakuu za $1/299\,792\,458$ sekundy.
kilogram	hmotnost	kg	Kilogram je hmotnost prototypu tzv. mezinárodního kilogramu uloženého v Mezinárodním úřadu pro váhy a míry v Sevres u Paříže.
sekunda	čas	s	Sekunda je doba trvání $9\,192\,631\,770$ period záření, které přísluší přechodu mezi dvěma velmi jemnými hladinami základního stavu atomu césia ( $^{133}\text{Cs}$ ).
ampér	elektrický proud	A	Ampér je stálý elektrický proud, který při průchodu dvěma rovnoběžnými, přímými a nekonečně dlouhými vodiči zanedbatelného kruhového průřezu umístěnými ve vakuu ve vzájemné vzdálenosti 1 metr vyvolá mezi těmito vodiči sílu $2 \cdot 10^{-7}$ N na jeden metr délky.
kelvin	teplota	K	Kelvin je $1/273,16$ termodynamické teploty trojného bodu vody.
mol	látkové množství	mol	Mol je množství látky, která obsahuje právě tolik množství elementárních jedinců (molekul, atomů atd.), kolik je atomů v $0,012$ kg izotopu uhlíku $\text{C}^{12}$ .
kandela	svítivost	cd	Kandela je svítivost zdroje, který v daném směru vysílá monochromatické záření s kmitočtem $540 \times 10^{12}$ hertzů a má v tomto směru zářivost $1/683$ wattu na steradián.

Vedle již uvedených základních jednotek se v praxi používají jednotky:

- doplňkové jednotky – pro rovinný úhel radián a prostorový úhel steradián (viz tab. 1.2);
- odvozené jednotky – jsou odvozeny od jednotek základních (viz tab. 1.3);
- vedlejší jednotky – jejichž použití si vynutila praxe (viz tab. 1.4).



### Audio 1.3 Další jednotky



Doplňkové jednotky byly Generální konferencí pro míry a váhy schváleny pro interpretaci jako bezrozměrné odvozené jednotky.



Tab. 1.2 – Doplnkové jednotky a jejich definice

Jednotka	Veličina	Značka	Definice
radián	rovinný úhel	rad	Radián je rovinný úhel sevřený dvěma polopřímkami, které na kružnici opsané z jejich společného počátečního bodu vytínají oblouk o délce rovné jejímu poloměru. Rozměr je $1 \text{ m/m} = 1$ .
steradián	prostorový úhel	sr	Steradián je prostorový úhel s vrcholem ve středu kulové plochy, který na této ploše vytíná část s obsahem rovným druhé mocnině poloměru této kulové plochy. Rozměr je $1 \text{ m}^2/\text{m}^2 = 1$ .

Odvozené jednotky jsou koherentní vzhledem k jednotkám základním případně doplňkovým. Jsou definovány v technických normách pro jednotlivé obory, které dále upravují i pravidla pro jejich používání tak, aby byla v souladu s praxí v jiných zemích. Výběr nejpoužívanějších odvozených jednotek je uveden v tab. 1.3.

Tab. 1.3 – Nejpoužívanější odvozené jednotky

Veličina	Jednotka	Značka	Fyzikální rozměr
plošný obsah	$\text{m}^2$	-	$\text{m}^2$
objem	$\text{m}^3$	-	$\text{m}^3$
rychlost	$\text{m/s}$	-	$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$
úhlová rychlost	$\text{rad/s}$	-	$\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$
kmitočet	hertz	Hz	$\text{s}^{-1}$
síla	newton	N	$\text{m}\cdot\text{kg}\cdot\text{s}^{-2}$
tlak, napětí	pascal	Pa	$\text{m}^{-1}\cdot\text{kg}\cdot\text{s}^{-2}$
energie, práce, teplo	joule	J	$\text{m}^2\cdot\text{kg}\cdot\text{s}^{-2}$
Celsiova teplota	Celsiův stupeň	$^{\circ}\text{C}$	K
magnetická indukce	tesla	T	$\text{kg}\cdot\text{s}^{-2}\cdot\text{A}^{-1}$
elektrické napětí	volt	V	$\text{m}^2\cdot\text{kg}\cdot\text{s}^{-3}\cdot\text{A}^{-1}$
výkon	watt	W	$\text{m}^2\cdot\text{kg}\cdot\text{s}^{-3}$

Vedlejší jednotky nepatří do soustavy SI a nejsou koherentní ani vůči základním, ani doplňkovým veličinám. Přesto jejich používání technická norma připouští, protože jsou jednak v praxi vžitá a jednak pro vyjádření konkrétního fyzikálního jevu vhodnější než jednotky soustavy SI. V tabulce č. 1.4 jsou uvedeny vybrané vedlejší jednotky.





Tab. 1.4 – Nejpoužívanější vedlejší jednotky

Jednotka	Veličina	Značka	Velikost v SI
astronomická jednotka (střední vzdálenost Země od Slunce)	délka	UA	1 UA = 1,495 9787.10 <sup>11</sup> m
světelný rok (vzdálenost, kterou světlo urazí za 1 rok)	délka	ly	1 ly = 9,460 73.10 <sup>15</sup> m
grad (gon)	rovinný úhel	<sup>g</sup> (gon)	1 <sup>g</sup> = (π/200)rad
litr	objem	l	1 l = 10 <sup>-3</sup> m <sup>3</sup>
bar	tlak	b	1 b = 10 <sup>5</sup> Pa
dioptrie	optická mohutnost	D, Dp	1 Dp = 1 m <sup>-1</sup>
voltampér	zdánlivý výkon	VA	S = UI

Pro praxi má velký význam znalost používaných předpon násobků a dílů jednotek přehledně sestavených v tab. 1.5. Násobky a díly se tvoří ze základních, odvozených a doplňkových jednotek násobením, případně dělením mocninou deseti.

Tab. 1.5 Předpony násobků a dílů jednotek

Předpona		Znamená násobek	Předpona		Znamená násobek
Název	Značka		Název	Značka	
yotta	Y	10 <sup>24</sup>	deci	d	10 <sup>-1</sup>
zetta	Z	10 <sup>21</sup>	centi	c	10 <sup>-2</sup>
exa	E	10 <sup>18</sup>	mili	m	10 <sup>-3</sup>
peta	P	10 <sup>15</sup>	mikro	μ	10 <sup>-6</sup>
tera	T	10 <sup>12</sup>	nano	n	10 <sup>-9</sup>
giga	G	10 <sup>9</sup>	piko	p	10 <sup>-12</sup>
mega	M	10 <sup>6</sup>	femto	f	10 <sup>-15</sup>
kilo	k	10 <sup>3</sup>	atto	a	10 <sup>-18</sup>
hekto	h	10 <sup>2</sup>	zepto	z	10 <sup>-21</sup>
deka	da	10 <sup>1</sup>	yokto	y	10 <sup>-24</sup>

Předpony, seřazené po jednom či dvou dekadických řádech deseti se používají jen výjimečně a tam, kde bylo jejich používání před zavedením soustavy SI obvyklé (například centimetr, decilitr apod.). U jednotky může být použita jen jedna předpona, tedy správně 1000 hektopascalů, nikoliv kilohektopascal.



### 1.3 CHYBY MĚŘENÍ, JEJICH PŘÍČINY A ČLENĚNÍ

Každé měření je zatíženo chybou. I v případě, že opakujeme měření za stejných podmínek, zjistíme, že výsledky měření se od sebe více či méně liší. Nejrůznější negativní vlivy, které se v reálném měřicím procesu vyskytují, se projeví odchylkou mezi naměřenou a skutečnou hodnotou měřené veličiny. Cílem měření je stanovit hodnoty veličiny blížící se co nejvíce skutečné hodnotě veličiny, což je možné jen určením chyby měření.

Chyby měření se vyjadřují v absolutních nebo relativních hodnotách. **Absolutní chyba měření  $\Delta(x)$**  je rozdíl mezi naměřenou hodnotou a pravou (konvenčně pravou) hodnotou a udává se v jednotkách měřené veličiny:

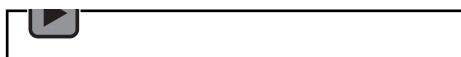
$$\Delta(x) = x_m - x_s, \text{ kde} \quad (1.1)$$

$x_m$  je naměřená hodnota veličiny a  $x_s$  je skutečná hodnota veličiny.

Podělíme-li absolutní chybu měření skutečnou hodnotou měřené veličiny, dostaneme poměrné vyjádření chyby, tj. **chybu relativní  $\delta(x)$** :



Audio 1.4 Členění chyb



$$\delta(x) = \frac{\Delta(x)}{x_s} = \frac{x_m - x_s}{x_s} \quad (1.2)$$

případně

$$\delta(x) = \frac{x_m - x_s}{x_s} \cdot 100 \quad [\%] \quad (1.3)$$

Hlavní příčiny vzniku chyb při měření

Celý proces měření se setkává s řadou nedokonalostí a problémů, které se zákonitě musí odrazit také ve výsledcích měření a jejich chybách. Podle hlavních příčin vzniku je můžeme rozdělit do následujících skupin:

- chyby měřicího systému, přístroje, měřidla – chyby plynoucí z nedokonalosti a nespolehlivosti použitých měřicích přístrojů, které mohou vzniknout již během výroby, montáže a popřípadě i jejich opotřebením. Svou roli zde sehrává i změna charakteristik a parametrů přístroje v čase (stárnutí). Hodnoty některých chyb udává výrobce formou korekčních křivek, ostatní chyby udává jako maximální dovolenou chybu přístroje (se znaménkem  $\pm$ );
- chyby instalace – vznikají z nedostatku zapojení, uložení a nastavení měřidel, ze vzájemného ovlivňování měřidel zapojených paralelně nebo sériově, chyby plynoucí z ovlivnění hodnot měřené veličiny měřidlem apod.;
- chyby měřicí metody – jsou chyby vyplývající z nedokonalosti použitých měřicích metod, z použití přibližných hodnot fyzikálních konstant a nepřesně odpovídajících závislostí;
- chyby pozorování – jsou chyby způsobené nedokonalostí smyslů pozorovatele nebo jeho nesoustředěním, a také závisí na vlastnostech osoby pozorovatele, mezi tyto ovlivňující faktory řadíme např. zručnost, zkušenosti a kvalifikaci pozorovatele, psychický stav, chybu paralaxy, omezenou rozlišovací schopnost apod.;
- chyby vlivu prostředí – chyby, které vnáší do měření nedokonalost a nestálost parametrů prostředí, jejich kolísání a negativní vliv na jednotlivé součásti měření, vhodným příkladem chyby vlivu prostředí je chyba teplotní;



- chyby vyhodnocení – jsou chyby vznikající zpracováním naměřených hodnot veličin, například použití přibližných vztahů, zaokrouhlováním, nedostatečným vyčíslením konstant, chyby interpolace, extrapolace, linearizace apod.).

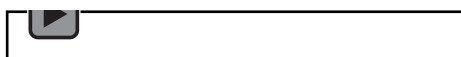
Členění chyb:

- podle časové závislosti:
  - *statické*;
  - *dynamické*.
- podle možnosti vyloučení:
  - *odstranitelné*;
  - *neodstranitelné*.
- podle způsobu výskytu:
  - *hrubé*;
  - *systematické*;
  - *náhodné*.

**Hrubé chyby** jsou zapříčiněny například nesprávným provedením měření, chybným odečtením hodnot, způsobem zpracování, vadou přístroje, nesprávnou manipulací s měřidlem apod.



Audio 1.5 Členění chyb



Výsledek měření zatížen hrubou chybou je nepoužitelný. Měření zatížené hrubou chybou znehodnotí celý experiment, a proto naměřené hodnoty výrazně odlišné od ostatních měření, což bývá velmi často projevem tohoto druhu chyb, se vyloučí z dalšího zpracování dat.

Vyloučení podezřelých hodnot zatížených hrubou chybou lze uskutečnit za předpokladu normálního rozdělení hustoty pravděpodobnosti měření. Při neznámé směrodatné odchylce střední hodnoty měřené veličiny je postup testování odlehle hodnoty následující:

a) ze souboru naměřených hodnot  $x_1 < x_2 < \dots < x_n$  se vypočte střední hodnota  $\bar{x}$

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (1.4)$$

a výběrová směrodatná odchylka  $s(x)$

$$s(x) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (1.5)$$

b) pro posouzení odlehlosti podezřelých hodnot souboru  $(x_2, x_n)$  se vypočtou normované hodnoty  $H_2$  a  $H_n$ :

$$H_2 = \frac{\bar{x} - x_2}{s(x)} \quad (1.6)$$

popřípadě



$$H_n = \frac{x_n - \bar{x}}{s(x)} \quad (1.7)$$

c) z tabulek se určí mezní hodnota  $H$  pro předem stanovenou pravděpodobnost  $p$  a počet měření v souboru  $n$  (viz tab. 1.6).

Tab. 1.6 – Mezní hodnoty  $H$  pro pravděpodobnost  $p = 95\%$

d) za

Rozsah výběru $n$	5	10	15	20	30	40	50	60
Mezní hodnoty $H$	1,67	2,18	2,41	2,56	3,402	3,48	3,541	3,723

předpokladu, že  $H_2 < H$  a  $H_n > H$ , pak hodnota  $x_2$  není zatížena hrubou chybou a ponechá se v souboru měření, ale hodnota  $x_n$  je ovlivněna hrubou chybou a ze souboru naměřených hodnot veličiny se vyloučí.

Omezit riziko výskytu hrubých chyb lze důsledným dodržováním příslušných měřicích postupů, podmínek měření a pozorností obsluhy.

**Chyby systematické** jsou chyby, jejichž hodnota se při stejných podmínkách měření nemění, je konstantní co do velikosti a znaménka, nebo která se při změně podmínek měření mění podle určité (známé) závislosti a svým způsobem „systematicky“ ovlivňují výsledek měření. Systematické chyby vznikají z příčin, které působí soustavně a jednoznačně. Všechny systematické chyby a jejich příčiny podobně jako pravá hodnota veličiny nemohou být zcela přesně známy.

Vzniklé systematické chyby rozdělujeme:

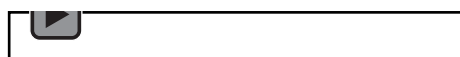
- podle rozpoznatelnosti na:
  - *zjistitelné (mají konkrétní znaménko a hodnotu, lze je použít ke korekci naměřené hodnoty);*
  - *neznámé (nemají konkrétní znaménko, nedají se použít pro korekci měření).*
- podle příčin vzniku na:
  - *chyby měřidla (vznikají při výrobě, činnosti a používání měřidla);*
  - *chyby měřicí metody (nesprávná volba metody, vliv přítlačné síly apod.);*
  - *chyby osobní (neopatrnost, nevědomost, nepozornost aj.);*
  - *chyby způsobené vlivem prostředí (vlhkost, prašnost, teplota, osvětlení apod.).*

Z hlediska uživatele měřicí techniky jsou systematické chyby sympatické tím, že je lze z velké části určit a jejich vliv zmenšit vhodnou kompenzací, uplatněním příslušných korekcí, odstraněním příčin chyb nebo kombinací uvedených způsobů. Zjišťování a odstraňování systematických chyb bývá náročné a nákladné, a proto se uskutečňuje jen tam, kde je to nevyhnutelné.

**Chyby náhodné** jsou způsobené příčinami náhodného charakteru, jsou těžko předvídatelné a nelze je vyloučit. Tyto chyby se vyskytují při každém jednotlivém měření určité veličiny a ovlivňují každou naměřenou hodnotu.



#### Audio 1.6 Členění chyb



Při opakování měření se mění jejich velikost i znaménko, jak odpovídá předpokládanému zákonu rozdělení pravděpodobnosti.

Pro určení jejich velikosti se vychází z opakovaného měření s použitím statistických metod odpovídajících patřičnému pravděpodobnostnímu modelu, reprezentovanému zákonem rozdělení příslušné náhodné chyby. V praxi velmi často jde o Gaussovo (normální), které se používá ve většině aplikací.

Normální náhodná hodnota veličiny nabývá hodnot v intervalu  $<-\infty, +\infty>$  s hustotou pravděpodobnosti výskytu:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{\pi}} \cdot e^{-\frac{(x_i - \mu)^2}{2\sigma^2}}, \text{ kde} \quad (1.8)$$

$x_i$  jsou dílčí naměřené hodnoty,

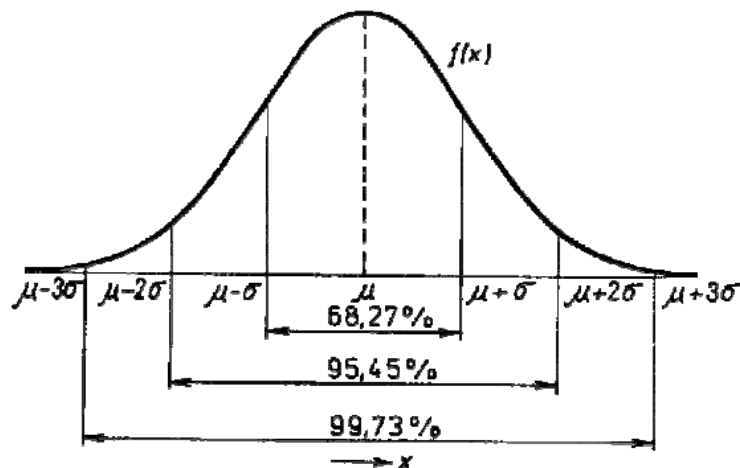
$\mu$  je střední hodnota,

$\sigma$  je směrodatná odchylka.

Distribuční funkce  $F(x)$  je definovaná podle vztahu:

$$F(x) = \int_{-\infty}^{\infty} f(x) dx = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{\sigma\sqrt{\pi}} \cdot e^{-\frac{(x_i - \mu)^2}{2\sigma^2}} dx \quad (1.9)$$

Normální rozdělení má dva parametry, a to  $\mu$  střední hodnotu a  $\sigma$  směrodatnou odchylku. V bodě  $\mu$  nabývá funkce hustoty pravděpodobnosti  $f(x)$  maximum a je symetrická kolem přímky  $x = \mu$ . Parametr  $\sigma$  vymezuje takovou vzdálenost do  $\mu$ , že v těchto hodnotách se nacházejí inflexní body funkce  $f(x)$ . Parametry Gaussova rozdělení jsou zakresleny na obr. 1.1.



Obr. 1.1 Parametry Gaussova (normálního) rozdělení

Intervaly vymezené délkou násobku parametru  $\sigma$  vymezují určité části hodnot náhodné veličiny:

- interval  $\langle \mu - \sigma, \mu + \sigma \rangle$  obsahuje 68,27% náhodných hodnot veličiny;
- interval  $\langle \mu - 2\sigma, \mu + 2\sigma \rangle$  obsahuje 95,45% náhodných hodnot veličiny;
- interval  $\langle \mu - 3\sigma, \mu + 3\sigma \rangle$  obsahuje 99,73% náhodných hodnot veličiny.

Při opakovaném měření nezávislé veličiny  $X$  za jinak stejných podmínek dostáváme v důsledku náhodných chyb různé hodnoty  $x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n$ . Výsledek měření je reprezentován výběrovým průměrem  $\bar{x}$  získaným z naměřených hodnot viz vztah (1.4).

Náhodnou chybu měření v klasické teorii chyb nejčastěji zastupuje směrodatná odchylka výběrového souboru  $s(x)$  podle vztahu (1.5), méně často směrodatná odchylka dílčích aritmetických průměrů  $s(\bar{x})$ , kterou určíme podle vztahu:



$$s(\bar{x}) = \frac{s(x)}{\sqrt{n}} \quad (1.10)$$

Obě směrodatné odchylky charakterizují, jak jsou výsledky měření (náhodné chyby) rozptýlené. Hodnota směrodatné odchylky (nebo její některý násobek, dvounásobek či trojnásobek) není však hodnota chyby, jak se často interpretuje. Směrodatná odchylka nebo její násobek vyjadřují jen hranici, kterou může náhodná chyba s určitou pravděpodobností překročit, nebo nepřekročit.

Výsledná chyba měření  $\Delta x$  je vyjadřována jako součet systematické  $e$  a náhodné složky  $\varepsilon$ , což lze zapsat jako:

$$\Delta x = |e| + |\varepsilon| \quad (1.11)$$

a její maximální hodnotu je možno odhadnout na základě vztahu:

$$\Delta_{max} = (\bar{x} - x_s) + 2s \quad (1.12)$$

kde systematická složka  $e = (\bar{x} - x_s)$  a náhodná složka  $\varepsilon = s$ , popř.  $\varepsilon = 2s$ .

Součinitel rozšíření směrodatné odchylky souvisí s pravděpodobností pokrytí intervalu a typem rozdělení, např. dvojka u Gaussova rozdělení přísluší často užívané 95% pravděpodobnosti.

## 1.4 STRUKTURA POVRCHU

Při použití jakékoliv technologické metody vzniká na povrchu technických ploch nerovnost, která má velký význam při funkci těchto ploch. Protože povrch představuje prostorový útvar, problém posuzování nerovností se řeší redukcí do roviny řezu rovinou kolmou k povrchu. Tím se získá profil, který je základním zdrojem informací.

Rozteč příslušných nerovností charakterizuje strukturu povrchu a dělí ji na složky. Složka s nejmenší roztečí tvoří **drsnost povrchu**, dále existuje složka nazvaná **vlnitost povrchu** a největší rozteč nerovností určuje **základní profil**.

Geometrické parametry definované normou ISO 4287:

- R – parametr vypočítaný z profilu drsnosti;
- W – parametr vypočítaný z profilu vlnitosti;
- P – parametr vypočítaný ze základního profilu.

**Základní délka  $l_r$**  je délka ve směru osy  $x$  používaná pro rozpoznání nerovností charakterizující daný profil.

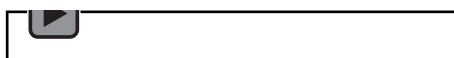
**Vyhodnocovaná délka  $l_n$**  je délka ve směru osy  $x$  na které se profil vyhodnocuje.

Existují 3 základní parametry, na jejichž základě se hodnotí drsnost povrchu:

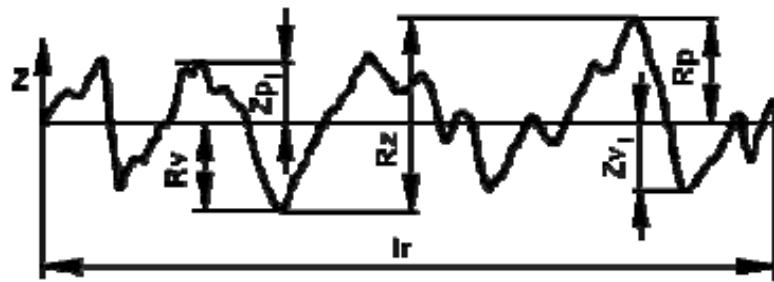
- výškové parametry;
- délkové parametry;
- tvarové parametry.



### Audio 1.7 Struktura povrchu

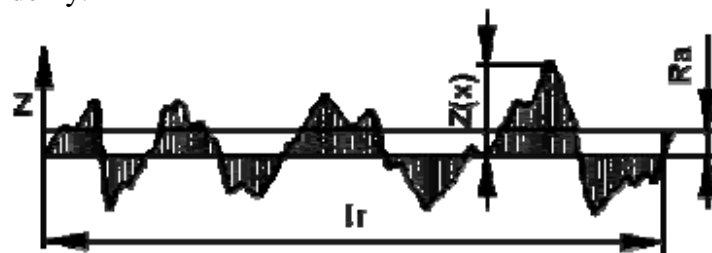


## 1.4.1 Výškové parametry

Obr. 1.2 Parametry  $R_v$ ,  $R_p$ ,  $R_z$ 

**Největší výška výstupku  $R_p$**  – největší výška výstupku profilu  $Z_p$  v rozsahu základní délky.  
**Největší hloubka prohlubně profilu  $R_v$**  – největší hloubka prohlubně profilu  $Z_v$  v rozsahu základní délky.

**Největší výška profilu  $R_z$**  – součet největší výšky profilu  $Z_p$  a největší hloubky profilu  $Z_v$  v rozsahu základní délky.

Obr. 1.3 Parametr  $R_a$ 

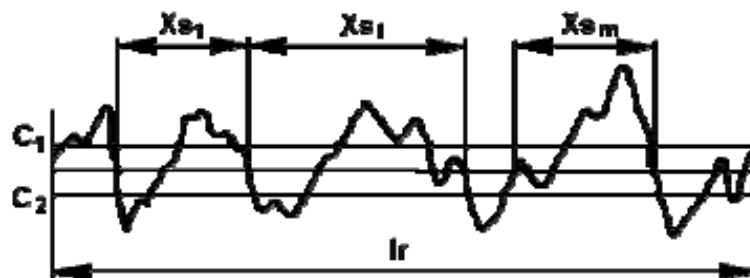
**Střední aritmetická úchylka profilu  $R_a$**  – aritmetický průměr absolutních hodnot  $Z(x)$  v rozsahu základní délky. Tato hodnota nevypovídá zcela přesně o dané drsnosti, protože  $R_a$  nereaguje citlivě na extrémní výšky a hloubky měřeného profilu.

$$R_a = \frac{1}{l_r} \int_0^{l_r} |Z(x)| dx \quad (1.13)$$

**Průměrná kvadratická úchylka profilu  $R_q$**  – průměrná kvadratická hodnota odchylek  $Z(x)$  profilu v rozsahu základní délky. Parametr  $R_q$  má význam při statistickém pozorování profilu povrchu, neboť zároveň odpovídá standardní odchylce z profilových souřadnic.

$$R_q = \sqrt{\frac{1}{l_r} \int_0^{l_r} Z(x)^2 dx} \quad (1.14)$$

## 1.4.2 Délkové (šířkové) parametry

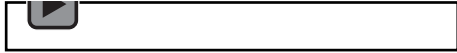
Obr. 1.4 Parametr  $R_{Sm}$ 

**Průměrná vzdálenost prvků profilu  $R_{Sm}$**  – průměrná hodnota šířek  $X_s$  profilu v rozsahu základní délky.





### Audio 1.8 Výškové parametry

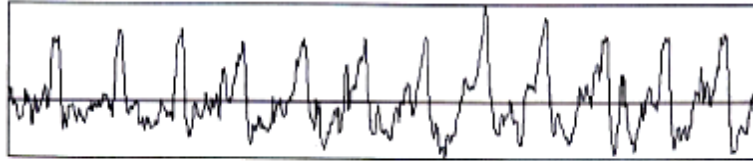


$$RS_m = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m X_{s_i} \quad (1.15)$$

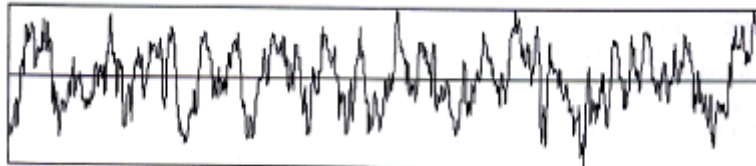
**m** je počet měření

#### 1.4.3 Tvarové parametry

Průměrný kvadratický sklon posuzovaného profilu **RAq** – průměrná kvadratická hodnota sklonů **dZ/dX** v rozsahu základní délky. Tento parametr je důležitý při hodnocení tribologických vlastností, odrazu světla nebo galvanickém pokovování.



Obr. 1.5 Profil drsnosti soustruženého povrchu



Obr. 1.6 Profil drsnosti broušeného povrchu

#### 1.4.4 Měření drsnosti povrchu

Porovnáním s etalony drsnosti

Při této metodě se porovnává povrch buď okem nebo mikroskopem. Tato metoda je již svou podstatou nepřesná (porovnává a vyhodnocuje odlišné parametry) a hraje zde velmi důležitou roli schopnost zkušenost metrologa.

Podmínky, které je důležité dodržovat při použití této metody:

- stejný materiál etalonu a součásti (stejná by měla být alespoň barva);
- tvar povrchu součásti a etalonu by měl být stejný (plochý, vypuklý,...);
- musí být použita stejná trajektorie obrábění povrchu etalonu a součásti;
- stejné podmínky pozorování (světlo).

Pomocí dotykových profilometrů

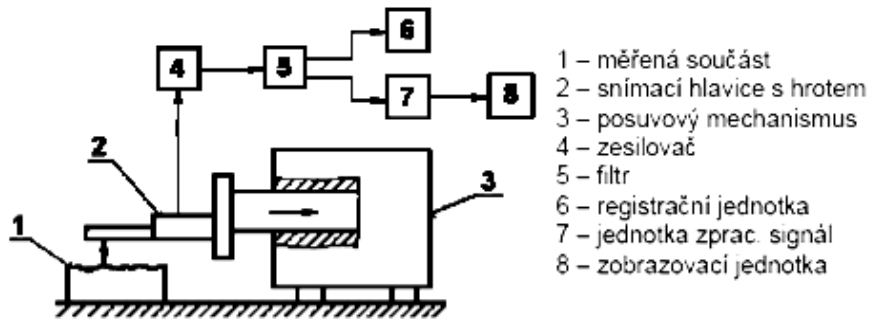
Při použití této metody se přímo odečítají číselné hodnoty jednotlivých parametrů drsnosti. Využívá se pro nejmodernější statistické a spektrální hodnocení nerovnosti povrchu.

Dotykový profilometr má 2 základní části:

- mechanickou;
- elektronickou.



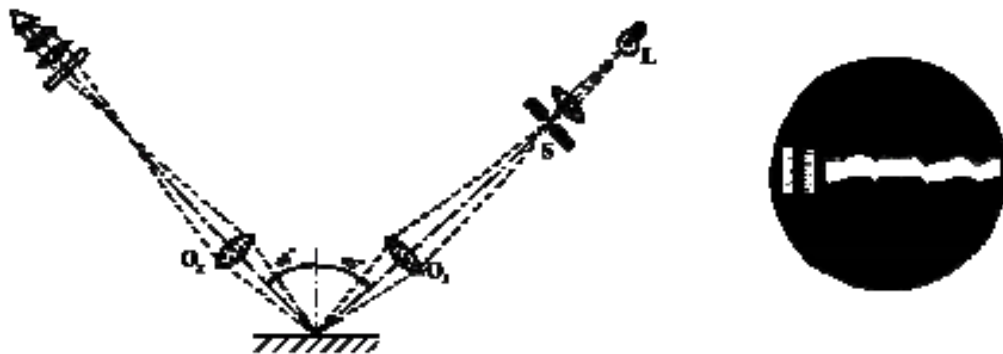




Obr. 1.7 Princip měření dotykovým profilometrem

Metodou světelného řezu

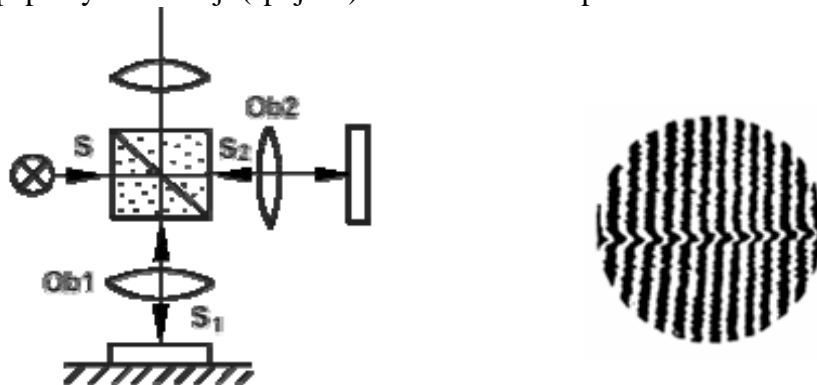
Pro určování drsnosti touto metodou se nejčastěji používá dvojitý mikroskop Schmaltz. Velmi tenký paprsek dopadá na měřený povrch pod úhlem  $45^\circ$ . Odrazem od nerovnosti vzniká obraz profilu v poli mikroskopu.



Obr. 1.8 Metoda světelného řezu – princip a obraz v okuláru

S využitím interference světla

Paprsek prostupuje přes polopropustné zrcadlo a to jej rozdělí na 2 části. Část S1 pokračuje dále na měřený povrch a zpátky do okuláru a druhá část S2 se odrazí od zrcadla přímo zpět do okuláru. Tam paprsky interferují (spojí se) a získáme obraz povrchu.



Obr. 1.9 Interferenční mikroskop (vlevo), obraz v okuláru přístroje (vpravo)



## 2 KONTROLNÍ OTÁZKY

- Co je to metrologie?
- Co je to měření?
- Co je to nejistota a chyba měření?
- Jaký je rozdíl mezi metodou a postupem měření?
- Jaké máme základní jednotky soustavy SI?
- Uveďte příklad doplňkové, odvozené a vedlejší jednotky.
- Jaké známe chyby měření?
- Jak vypočítáme výběrovou směrodatnou odchylku?
- Jaké základní parametry se hodnotí při drsnosti povrchu?
- Definujte prosím parametry Ra, Rz, Rv a Rp.
- Jakými metodami měříme drsnost povrchu?



### 3 ŘEŠENÝ PŘÍKLAD

#### Měření průměru válečku posuvným měřítkem

Úkolem je nalezení rozměru a chyby měření průměru válečku pomocí posuvného měřítka. Měření se opakuje desetkrát za stejných podmínek.

Naměřené hodnoty:

č. m.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$d_i$ [mm]	80,1	80,2	80,1	79,9	80,0	80,2	80,1	79,9	80,0	80,1

Chyba měření:

Nejprve se určí odhad hodnoty měřené veličiny, který je roven výběrovému průměru naměřených hodnot:

$$\bar{d} = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} d_i = 80,06 \text{ mm}.$$

výběrová směrodatná odchylka aritmetického průměru:

$$s(\bar{x}) = \sqrt{\frac{1}{10 \cdot (10 - 1)} \sum_{i=1}^{10} (d_i - \bar{d})^2} = 0,034 \text{ mm}.$$

Výsledek je tedy:

$$(80,060 \pm 0,034) \text{ mm}$$



## 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**



## ÚVOD DO TEORIE OBRÁBĚNÍ

---

### 2 Základy procesu řezání

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 978-80-248-3013-1



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>ZÁKLADY PROCESU ŘEZÁNÍ .....</b>	<b>3</b>
1.1	Obecné pojmy a terminologie .....	4
1.2	Rozdělení metod obrábění.....	4
1.3	Obrobek .....	5
1.4	Řezný nástroj.....	6
1.5	Pohyby při obrábění .....	7
1.6	Geometrie obráběcích nástrojů .....	9
1.1.1	Nástrojové roviny .....	9
1.1.2	Pracovní roviny.....	10
1.1.3	Nástrojové úhly .....	11
1.1.4	Volba geometrických parametrů břítu.....	15
<b>2</b>	<b>KONTROLNÍ OTÁZKY.....</b>	<b>17</b>
<b>3</b>	<b>PŘEDNÁŠKOVÝ TEXT SE VZTAHUJE K TĚMTO OTÁZKÁM .....</b>	<b>18</b>
<b>4</b>	<b>POUŽITÁ LITERATURA .....</b>	<b>19</b>



# 1. ZÁKLADY PROCESU ŘEZÁNÍ



## OBSAH KAPITOLY:

Obecné pojmy a terminologie.  
Rozdělení metod obrábění.  
Obrobek.  
Řezný nástroj.  
Pohyby při obrábění.  
Geometrie obráběcích nástrojů.  
Nástrojová a pracovní rovina.  
Nástrojové úhly.  
Volba geometrických parametrů bříty.



## MOTIVACE:

Technologie obrábění zaujímá ve strojírenské výrobě významné místo a zaujímá největší podíl výroby součástí ze všech technologií. Umožňuje v mnoha technologických procesech vytvořit z polotovaru výrobek požadovaného tvaru, požadované rozměrové i tvarové přesnosti a jakosti obrobených ploch. Aby bylo možné dosáhnout těchto parametrů, je nutné dokonale poznat řezný nástroj.





## 1.1 OBECNÉ POJMY A TERMINOLOGIE

**Obrábění** je technologický proces, kterým vytváříme povrchy obrobku určitého tvaru, rozměrů a jakosti, a to odebráním částic materiálu pomocí účinků mechanických, elektrických, chemických apod., případně jejich kombinacemi.

**Řezání** je obrábění, při kterém dochází k odebrání částic materiálu ve tvaru třísky břitem (ostřím, řeznou hranou) řezného nástroje.

Obrábění je realizováno v **soustavě obrábění (SNOP)**. Tato soustava se skládá z následujících čtyř částí (rovněž se uvažují pouze tři části absentující přípravek):

- obráběcí stroj (S);
- řezný nástroj (N);
- obrobek (O);
- přípravek (P).

**Obrobek** představuje objekt obráběcího procesu, a je to obráběná nebo již obrobená součást či dílec. Z geometrického hlediska je obrobek charakterizován rozměry a tvary jednotlivých ploch.

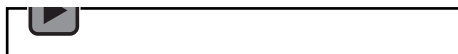
**Přídavek** je vrstva materiálu mezi obráběnou a obrobenou plochou obrobku, kterou je potřeba odstranit obráběním.

**Odebíraná vrstva** je část přídavku přikloněná k ploše řezu, která je odřezávaná jedním břitem ve formě třísky.

**Tříska** je odříznutá a deformovaná odebíraná vrstva materiálu obrobku.



Audio 1.1 Obecné pojmy



## 1.2 ROZDĚLENÍ METOD OBRÁBĚNÍ

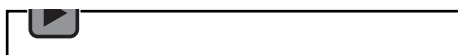
Obráběcí metody lze dělit podle různých hledisek. Klasifikace metod obrábění využívá různé charakteristiky, jako je vzájemný kontakt nástroje s obrobkem, kombinace variant pohybů stroje, nástroje a obrobku.

Podle charakteru vykonávané práce rozdělujeme obráběcí metody na:

- ruční;
- strojní.



Audio 1.2 Rozdělení metod obrábění



Ručním obráběním se rozumí práce vykonávané člověkem pomocí ručních nástrojů, jako je sekání, pilování, zaškrabávání apod. Patří sem rovněž práce vykonávané ručně ovládanými stroji, jako jsou ruční elektrické brusky, vrtačky aj. Při ručním obrábění je využívána fyzická síla a manuální zručnost pracovníka. Produktivita ručního obrábění má v současné době vzhledem ke stavu techniky nízkou úroveň. Svůj neopomenutelný význam má ruční obrábění především v údržbě a opravárenství.

V případě strojního obrábění je potřebná energie, která je přiváděna obvykle ve formě elektrické energie k obráběcímu stroji, kde se transformuje v energii mechanickou, využívanou pro realizaci obráběcího procesu.

Základní rozdělení metod obrábění podle charakteristických znaků břitové geometrie nástroje na:



- obrábění s definovanou geometrií břitu (soustružení, frézování, vrtání, vyhrubování, vystružování, vyvrtávání, hoblování a obrážení, protahování aj.);
- obrábění s nedefinovanou geometrií (broušení, honování, lapování aj.);
- nekonvenční metody obrábění (např. elektroerozivní, chemické, ultrazvukem, laserem, soustředěným paprskem);
- úpravy obrobených ploch (např. válečkování, leštění, hlazení, brokování).

Metody obrábění podle charakteru záběru řezání dělíme na:

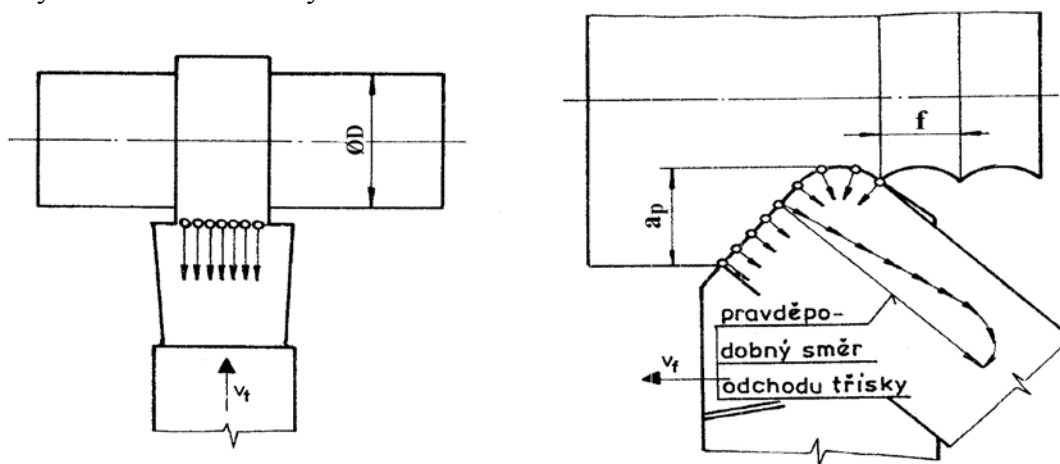
- plynulé řezání, při kterém je řezný klín po celou dobu řezání stále v záběru;
- přerušované řezání, při němž řezný klín střídavě vchází do záběru a vychází ze záběru. Typickým příkladem takového řezání je frézování.

Dělení metod obrábění podle směru přemísťování částic materiálu vzhledem k řezné hraně na:

- volné obrábění, při kterém je směr přemísťování částic třísky ve všech bodech řezné hrany stejný;
- vázané obrábění, při kterém se částice třísky pohybují různými směry, v zásadě však kolmo na řeznou hranu.

Soustružení zapichovacím nebo naběracím soustružnickým nožem je typickým příkladem volného řezání, jak je zachyceno na obr. 2.1, nebo tangenciálním soustružením s mimoběžným pohybem nástroje k ose obrobku, tj. tangenciálně k obráběné ploše.

Příklad vázaného řezání uvedeného na obr. 2.1 znázorňuje podélné soustružení nástrojem se zaoblenou špičkou. Při vázaném řezání určuje výslednice pohybů jednotlivých částic třísky skutečný směr odchodu třísky.



Obr. 2.1 Příklad volného (vlevo) a vázaného (vpravo) řezání

### 1.3 OBROBEK

Obrobek je z geometrického hlediska charakterizován obráběnou (1), obrobenou (2) a přechodovou (3) plochou (známa též jako plocha řezu).

**Obráběná plocha** je částí povrchu obrobku odstraňovaná obráběním. Na obr. 2.2 je označena číslem 1.

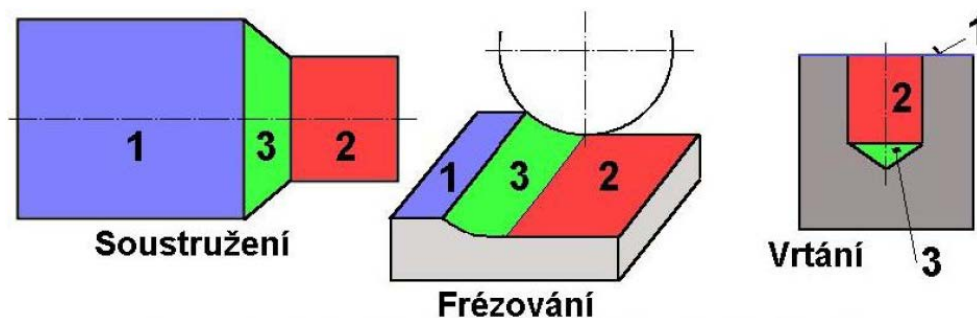
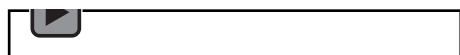
**Obrobená plocha** je plocha na obrobku vzniklá působením řezného nástroje. Na obr. 2.2 je tato vytvořená plocha označena číslem 2.

**Přechodová plocha** je okamžitá plocha obrobku vytvářená při obrábění působením ostří řezného nástroje během otáčky nebo zdvihu. Na níže uvedeném obrázku je přechodová plocha znázorněna číslem 3.





## Audio 1.3 Obrobek



Obr. 2.2 Plochy na obrobku

## 1.4 ŘEZNÝ NÁSTROJ

Obráběcí nástroj je aktivním prvkem v soustavě obrábění. Právě nástroj v interakci s obrobkem umožňuje realizaci řezného procesu. Uskutečňuje řezání tím, že svou pracovní částí tj. břitem vniká do materiálu obrobku a odděluje z něho postupně částice ve tvaru třísky. Řezné nástroje se skládají z těchto základních částí.

**Řezná část** je funkční část nástroje, která obsahuje prvky tvořící třísku (viz obr. 2.3, označeno číslem 3). Patří sem zejména ostří, čelo a hřbet. V případě vícebřitého (vícezubého) nástroje má každý břit (zub) svou řeznou část.

**Břit** je prvek řezné části nástroje ohraničený čelem a hřbetem. Je to klínovitá část nástroje vnikající do obrobku. Plochy tvořící tento klín zobrazuje obr. 2.3.

**Upínací část (stopka)** je část nástroje, která slouží k upínání do obráběcího stroje (viz obr. 2.3, označeno číslem 1).

**Základna** je plochý prvek stopky nástroje sloužící pro umístění a orientaci nástroje při výrobě, kontrole a ostření. Ne všechny nástroje mají jednoznačně určenou základnu (viz obr. 2.3, označeno číslem 2).

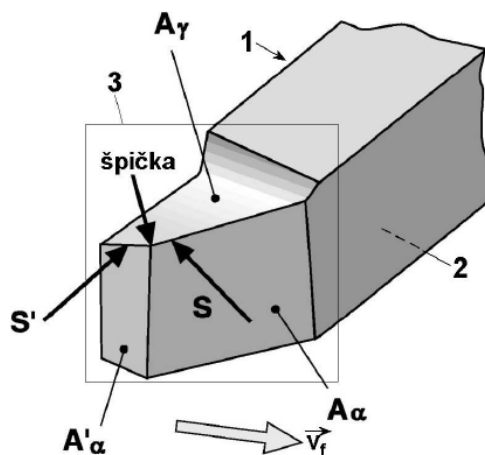
**Plochy na nástroji** se označují symboly, které se skládají z písmene **A** a z indexu řecké abecedy označující druh plochy (např.  $A\gamma$  označuje čelo). Plochy přiřazené k vedlejšímu ostří se označují s čárkou (např.  $A\alpha'$  označuje vedlejší hřbet).

**Hřbet nástroje  $A\alpha$**  je plocha nebo souhrn ploch, které při řezném procesu směřují k ploše obrobku. Hlavní hřbet  $A\alpha$  směřuje k přechodové ploše obrobku, vedlejší hřbet  $A\alpha'$  směřuje k obrobené ploše obrobku viz obr. 2.3.

**Čelo nástroje  $A\gamma$**  je plocha nebo souhrn ploch, po kterých odchází tříska. Tvar čela určuje křivka vytvořená průsečíkem plochy čela  $A\gamma$  s požadovanou rovinou, přičemž je tento tvar obvykle definovaný a měřený v nástrojové rovině ostří  **$P_n$** .

**Utvařec třísky** je část čelní plochy určené k lámání nebo svinování třísky. Mohou být vylisovány nebo přiloženy na čelo nástroje.





Obr. 2.3 Části, plochy a ostří na řezné části soustružnického nože

**Ostří** je prvkem řezné části, kterým se realizuje vlastní proces řezání. Je průsečnicí hřbetu a čela nástroje.

**Hlavní ostří  $S$**  je část ostří, která má sloužit k vytvoření přechodové plochy na obrobku.

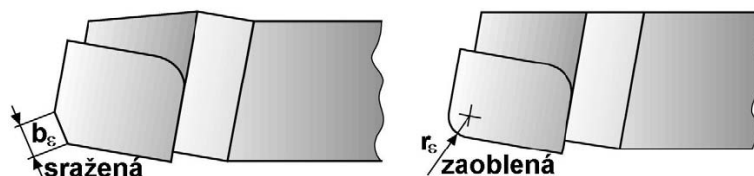
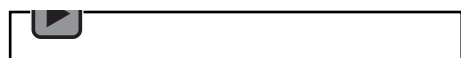
**Vedlejší ostří  $S'$**  provádí dokončovací práci na obrobené ploše, ale nevytváří plochu přechodovou.

**Uvažovaný bod ostří** je bod nacházející se v kterémkoliv místě hlavního nebo vedlejšího ostří, ve kterém se nachází počátek souřadnicového systému.

**Špička nástroje** je relativně malá část ostří nacházející se na spojnici hlavního a vedlejšího ostří. Může být přímá (sražená) nebo zaoblená.



Audio 1.4 Řezný nástroj



Obr. 2.4 Špička nástroje

## 1.5 POHYBY PŘI OBRÁBĚNÍ

**Hlavní řezný pohyb** je vzájemný pohyb mezi nástrojem a obrobkem, který realizuje obráběcí stroj. Směr hlavního řezného pohybu je definován jako směr okamžitého hlavního pohybu uvažovaného bodu ostří nástroje.

**Řezná rychlost  $v_c$**  je vyjádřena jako okamžitá rychlost hlavního řezného pohybu uvažovaného bodu ostří nástroje vzhledem k obrobku.

**Posuvový pohyb (vedlejší řezný pohyb)** je realizován jako další relativní pohyb mezi nástrojem a obrobkem. U některých způsobů obrábění tento pohyb není.

**Posuvová rychlost  $v_f$**  je určena jako okamžitá rychlost posuvového pohybu v uvažovaném bodě ostří nástroje vzhledem k obrobku.

**Výsledný řezný pohyb** je vycházející pohyb ze současného hlavního a posuvového pohybu. Vznikne vektorovým součtem obou pohybů.

**Rychlost výsledného řezného pohybu  $v_e$**  je okamžitá rychlost výsledného pohybu v uvažovaném bodě ostří nástroje vzhledem k obrobku.



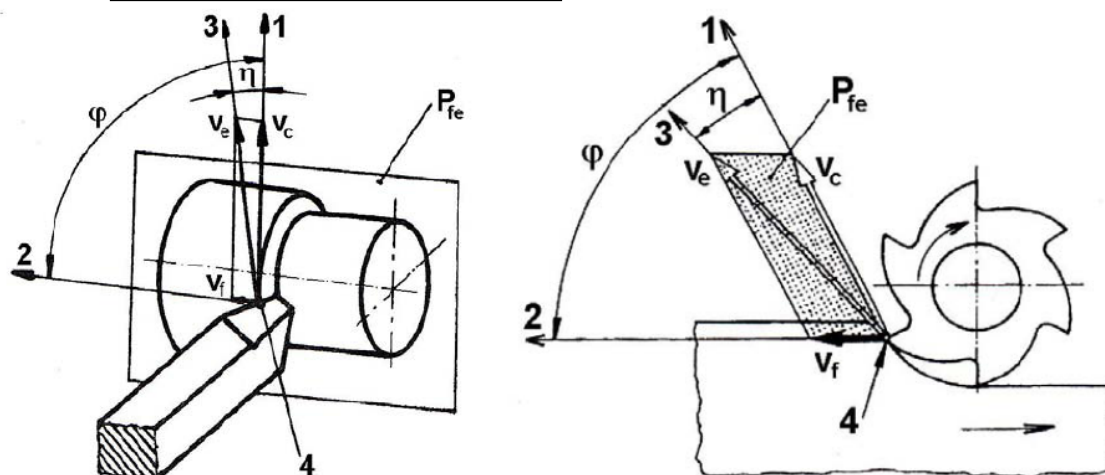
**Úhel řezného pohybu  $\eta$**  je úhel mezi směrem hlavního řezného pohybu a výsledného řezného pohybu v pracovní rovině boční  $P_{fe}$ .

**Úhel posuvového pohybu  $\varphi$**  lze vyjádřit jako úhel mezi směry současného posuvového pohybu a hlavního řezného pohybu v pracovní rovině boční  $P_{fe}$ . Pro některé obráběcí procesy není tento úhel definovaný, například pro hoblování, protahování.

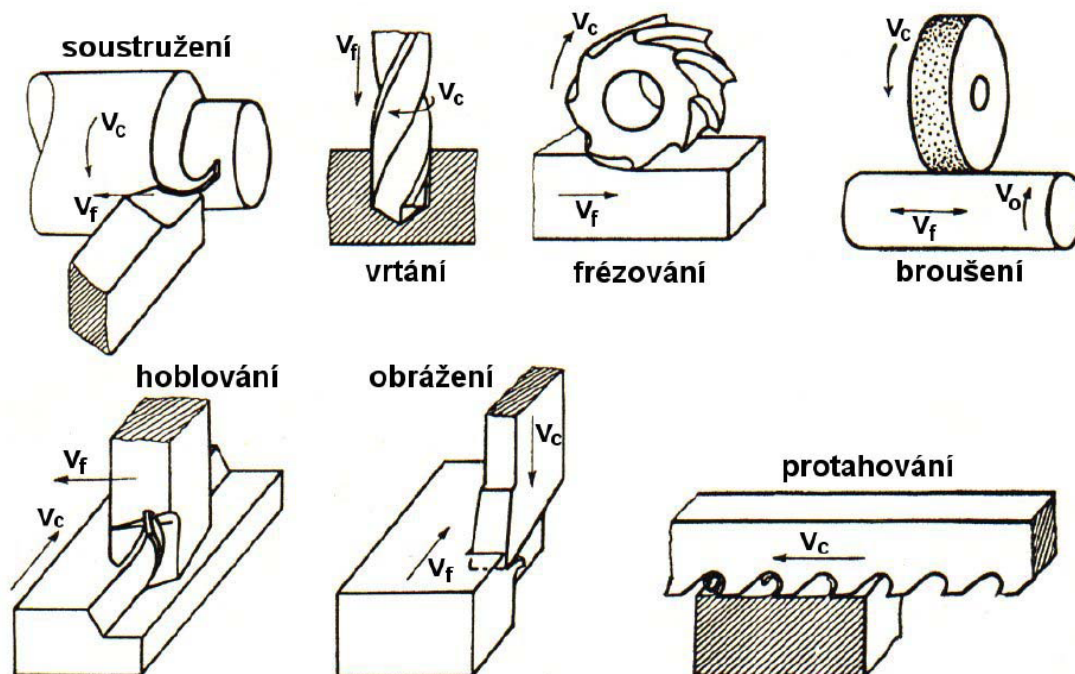
**Přísvuv** je pohyb nástroje nebo obrobku, kterým se nastavuje nástroj do pracovní polohy na požadovanou šířku záběru  $a_p$  (v praxi ještě stále používanou hloubku řezu  $h$ ).



#### Audio 1.5 Pohyby při obrábění



Obr. 2. 5 Pohyby nástroje a obrobku při podélném soustružení a nesousledném rovinném frézování válcovou frézou s přímými zuby (1 – směr hlavního pohybu, 2 – směr řezného pohybu, 3, směr posuvového pohybu, 4 – uvažovaný bod ostří)



Obr. 2.6. Hlavní a posuvový pohyb u vybraných metod obrábění



## 1.6 GEOMETRIE OBRÁBĚCÍCH NÁSTROJŮ

Geometrie řezného nástroje má značný vliv na velikost síly řezání a její rozložení do jednotlivých složek, na utváření a odvod třísky, drsnost, přesnost a kvalitu výsledné obrobene plochy, trvanlivost břitu a hospodárnost obráběcího procesu.

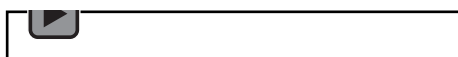
Z uvedeného je zřejmé, že chceme-li při využívání nástroje minimalizovat ztráty, je při konstrukci nástroje a zejména jeho ostření nezbytná dokonalá znalost vhodné pracovní geometrie břitu a jejího vlivu na proces obrábění.

Nástrojové i geometrické parametry jsou charakterizovány pomocí úhlů, které jsou definovány v příslušných rovinách. Pro jednoznačnou identifikaci úhlů řezné části se definují dvě souřadnicové soustavy:

- **nástrojová** soustava- v této rovině se definuje geometrie řezné části ve statickém pojetí. Uplatní se zejména při konstrukci, výrobě, kontrole a ostření nástroje. Roviny používané v této rovině se nazývají nástrojové roviny.
- **pracovní** soustava - tato soustava se nazývá také jako **efektivní** nebo **kinetická**. Identifikuje se zde geometrie v procesu řezání. Roviny používané v této soustavě se nazývají pracovní roviny. Jejich názvy a značení je totožné jako u nástrojových rovin, s tím rozdílem, že se přidává index **e** (např.  $P_{re}$ ).



Audio 1.6 Geometrie nástrojů



### 1.1.1 Nástrojové roviny

**Nástrojová rovina základní  $P_r$**  je rovina procházející uvažovaným bodem ostří a je kolmá na předpokládaný směr hlavního řezného pohybu.

**Nástrojová rovina boční  $P_f$**  je rovina procházející uvažovaným bodem ostří, leží v ní vektor posuvového pohybu  $v_f$  a je kolmá na rovinu základní  $P_r$ . (Pozn. leží v ní vektory všech pohybů  $v_e$ ,  $v_f$ ,  $v_e$  a všeobecně je tato rovina orientována ve směru posuvového pohybu).

**Nástrojová rovina zadní  $P_p$**  je rovina procházející uvažovaným bodem ostří, kolmá na nástrojovou rovinu základní  $P_r$  a na nástrojovou rovinu boční  $P_f$ .

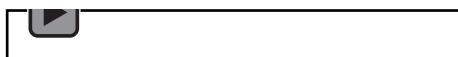
**Nástrojová rovina ostří  $P_s$**  je rovina tečná k ostří v uvažovaném bodě ostří, kolmá na rovinu základní  $P_r$ .

**Nástrojová rovina ortogonální  $P_o$**  je rovina procházející uvažovaným bodem ostří, kolmá na nástrojovou rovinu základní  $P_r$  a nástrojovou rovinu ostří  $P_s$ .

**Nástrojová rovina normálová  $P_n$**  je rovina kolmá na ostří  $S$  v uvažovaném bodě ostří. Jako jediná není obecně kolmá na nástrojovou rovinu základní  $P_r$  (pouze když je úhel sklonu ostří  $\lambda_s = 0$ ).



Audio 1.7 Nástrojové roviny

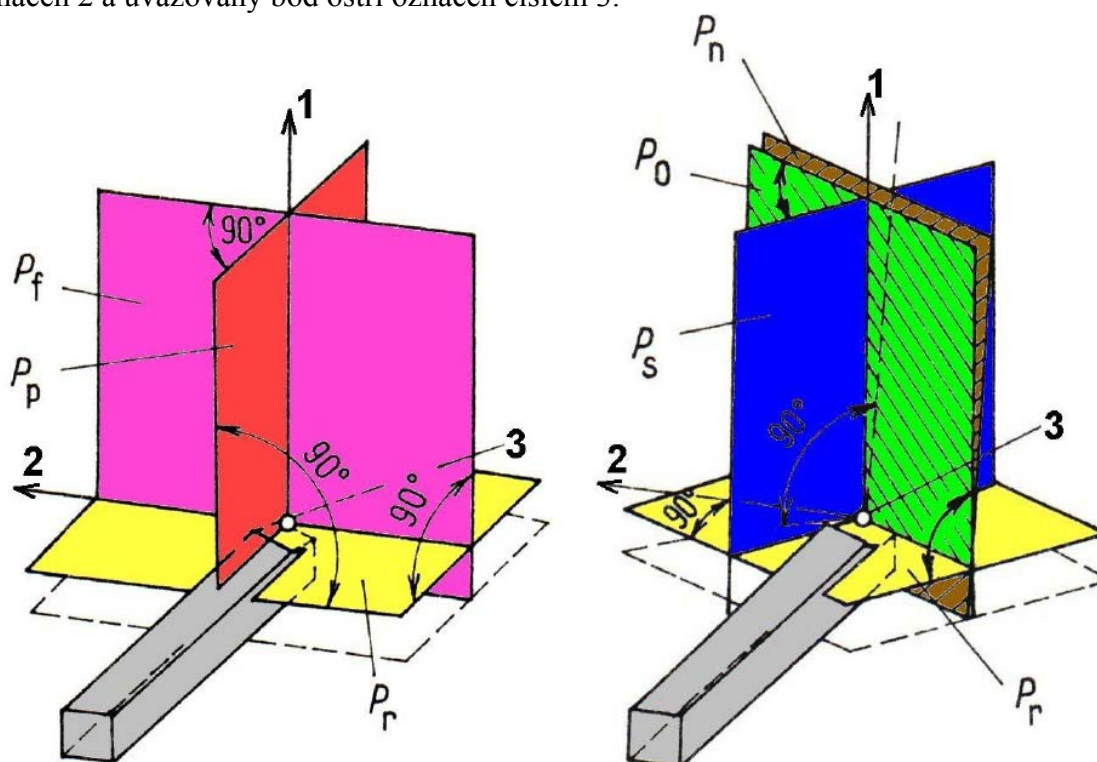


**Nástrojová rovina největšího spádu čela  $P_g$**  je rovina procházející uvažovaným bodem ostří, kolmá na stopu roviny čela a na nástrojovou rovinu základní  $P_r$ . Vyznačuje se tím, že úhel čela měřený v této rovině je největší, tedy  $\gamma_g$  je maximální.

**Nástrojová rovina největšího spádu hřbetu  $P_b$**  je rovina procházející uvažovaným bodem ostří, kolmá na rovinu hřbetu nástroje  $A_\alpha$  a na nástrojovou rovinu základní  $P_r$ . Vyznačuje se tím, že úhel hřbetu měřený v této rovině je nejmenší, tedy  $\alpha_b$  je minimální.



Na obrázku 3.1 jsou vyobrazeny výše uvedené nástrojové roviny, přičemž předpokládaný směr vektoru hlavního řezného pohybu je označen číslem 1, směr posuvového pohybu označen 2 a uvažovaný bod ostří označen číslem 3.



Obr. 3.1 Roviny nástrojové souřadné soustavy soustružnického nože

(1 – směr vektoru hlavního řezného pohybu (předpokládaný), 2 – směr posuvového pohybu, 3 – uvažovaný bod ostří)

### 1.1.2 Pracovní roviny

V pracovní (efektivní, kinetické) souřadnicové soustavě se identifikuje geometrie řezné části nástroje v procesu řezání. Roviny používané v pracovní souřadnicové soustavě se nazývají pracovní roviny.

**Pracovní rovina základní  $P_{re}$**  je rovina procházející uvažovaným bodem ostří a je kolmá na předpokládaný směr řezného pohybu.

**Pracovní rovina boční  $P_{fe}$**  je rovina procházející uvažovaným bodem ostří, je rovnoběžná se směrem posuvového pohybu a je kolmá na pracovní rovina základní  $P_{re}$ .

**Pracovní rovina zadní  $P_{pe}$**  je rovina procházející uvažovaným bodem ostří, kolmá na pracovní rovina základní  $P_{re}$  a na pracovní rovina boční  $P_{fe}$ .

**Pracovní rovina ostří  $P_{se}$**  je rovina tečná k ostří v uvažovaném bodě ostří a je kolmá na pracovní rovina základní  $P_{re}$ .

**Pracovní rovina ortogonální  $P_{oe}$**  je rovina procházející uvažovaným bodem ostří, kolmá na pracovní rovina základní  $P_{re}$  a pracovní rovina ostří  $P_{se}$ .

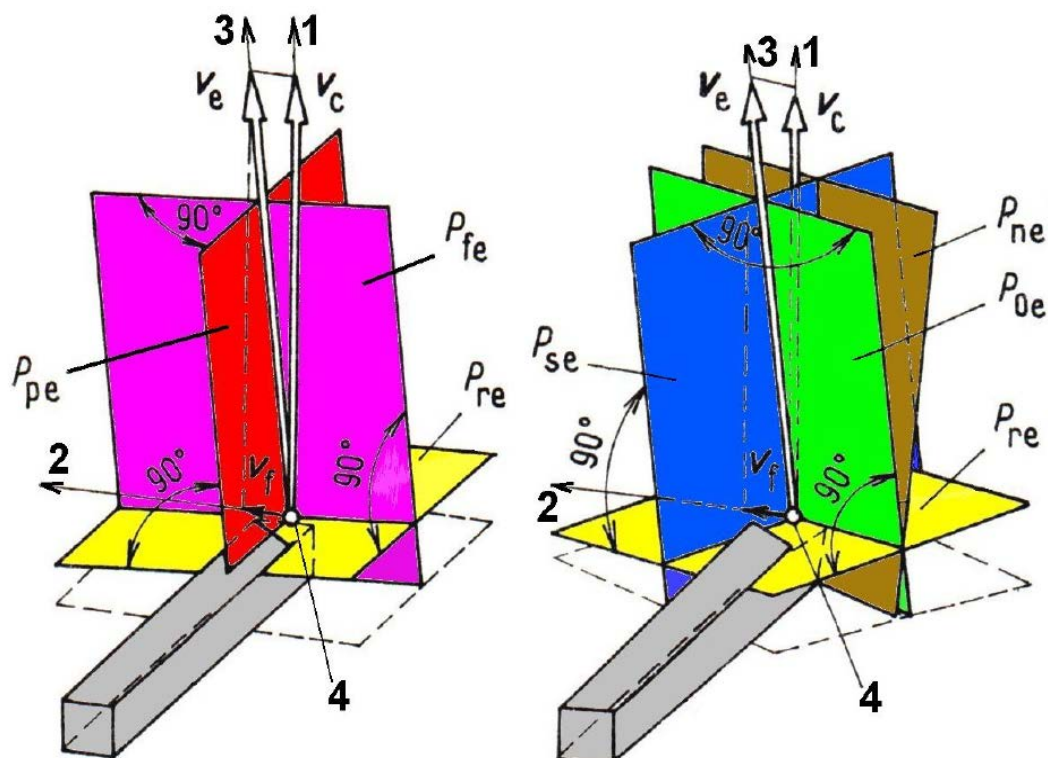
**Pracovní rovina normálová  $P_{ne}$**  je rovina kolmá na ostří  $S$  v uvažovaném bodě ostří. Pracovní rovina normálová  $P_{ne}$  je totožná s nástrojovou rovinou normální  $P_n$ , tudíž lze zapsat  $P_{ne} = P_n$ .

**Pracovní rovina největšího spádu čela  $P_{ge}$**  je rovina procházející uvažovaným bodem ostří, kolmá na stopu roviny čela a pracovní rovina základní  $P_{re}$ . Tato rovina se vyznačuje tím, že pracovní úhel čela v ní měřen je ze všech pracovních úhlů čela největší, tedy  $\gamma_{ge}$  je maximální.

**Pracovní rovina největšího spádu hřbetu  $P_{be}$**  je rovina procházející uvažovaným bodem ostří, kolmá na hřbet nástroje  $A_\alpha$  a pracovní základní rovina  $P_{re}$ . Tato rovina se vyznačuje tím,



že pracovní úhel hřbetu v ní měřen je ze všech pracovních úhlů čela nejmenší, tedy  $\alpha_{be}$  je minimální.



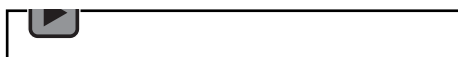
Obr.3.2 Roviny pracovní souřadnicové soustavy soustružnického nože (1 - směr hlavního pohybu, 2 - směr posuvového pohybu, 3 - směr řezného pohybu, 4 - uvažovaný bod ostří)

### 1.1.3 Nástrojové úhly

Úhly jsou důležité pro identifikaci geometrické polohy ostří, čela a hřbetu. Nástrojové úhly jsou definovány v nástrojové souřadnicové soustavě a mají index totožný s indexem nástrojové roviny ve které jsou měřeny.



#### Audio 1.8 Nástrojové úhly



Nástrojové úhly obecně ovlivňují:

- velikost síly řezání a její složky;
- teplotu řezání;
- tvorbu a odvod třísky;
- hospodárnost obrábění;
- strukturu povrchu;
- vlastnosti povrchové vrstvy.

Rozeznáváme nástrojové úhly:

- polohy ostří;
- úhly čela;
- úhly hřbetu;
- úhly břítu.





### Nástrojové úhly polohy ostří

**Nástrojový úhel nastavení hlavního ostří  $\kappa_r$**  leží mezi nástrojovou rovinou ostří  $P_s$  a nástrojovou rovinou boční  $P_f$  a je měřený v nástrojové rovině základní  $P_r$ .

**Nástrojový úhel nastavení vedlejšího ostří  $\kappa_r'$**  leží mezi nástrojovou rovinou vedlejší ostří  $P_s'$  a rovinou boční  $P_f$ , a je měřený v nástrojové rovině základní  $P_r$ .

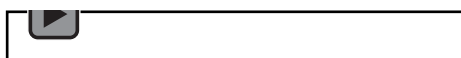
**Nástrojový doplňkový úhel nastavení hlavního ostří  $\psi_r$**  je úhlem mezi nástrojovou rovinou ostří  $P_s$  a nástrojovou rovinou zadní  $P_p$ . Nástrojový úhel  $\psi_r$  je vždy ostrý a jeho znaménko je odvozené ze vztahu  $\kappa_r + \psi_r = 90^\circ$ .

**Nástrojový úhel špičky  $\varepsilon_r$**  leží mezi nástrojovou rovinou ostří  $P_s$  a nástrojovou rovinou vedlejšího ostří  $P_s'$  a je měřený v nástrojové rovině základní  $P_r$ .

**Nástrojový úhel sklonu hlavního ostří  $\lambda_s$**  leží mezi ostřím  $S$  a nástrojovou rovinou základní  $P_r$  a je měřený v nástrojové rovině ostří  $P_s$ . Úhel  $\lambda_s$  může nabývat kladných, nulových nebo záporných hodnot. Kladných hodnot nabývá tehdy, je-li špička nástroje nejvyšším bodem ostří, záporných hodnot naopak je-li bodem nejnižším.



Audio 1.9 Nástrojové úhly pro ostří



### Nástrojové úhly čela

**Nástrojový ortogonální úhel čela  $\gamma_o$**  je úhel mezi čelem nástroje  $A_\gamma$  a nástrojovou základní rovinou  $P_r$  a je měřený v nástrojové ortogonální rovině  $P_o$ .

**Nástrojový boční úhel čela  $\gamma_f$**  je úhel mezi čelem nástroje  $A_\gamma$  a nástrojovou základní rovinou  $P_r$  a je měřený v nástrojové boční rovině  $P_f$ .

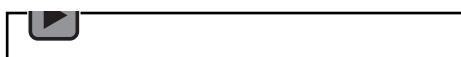
**Nástrojový zadní úhel čela  $\gamma_p$**  je úhel mezi čelem nástroje  $A_\gamma$  a nástrojovou základní rovinou  $P_r$  a je měřený v nástrojové zadní rovině  $P_p$ .

**Nástrojový normální úhel čela  $\gamma_n$**  je úhel mezi čelem nástroje  $A_\gamma$  a nástrojovou základní rovinou  $P_r$  a je měřený v nástrojové normální rovině  $P_n$ .

**Nástrojový úhel největšího spádu čela  $\gamma_g$**  je úhel mezi čelem nástroje  $A_\gamma$  a nástrojovou základní rovinou  $P_r$  a je měřený v nástrojové rovině největšího spádu čela  $P_g$ . Je ze všech nástrojových úhlů čela největší.



Audio 1.10 Nástrojové úhly čela



### Nástrojové úhly hřbetu

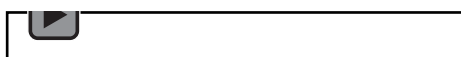
**Nástrojový ortogonální úhel hřbetu  $\alpha_o$**  je úhel mezi hřbetem nástroje  $A_\alpha$  a nástrojovou rovinou ostří  $P_s$  a je měřený v nástrojové ortogonální rovině  $P_o$ .

**Nástrojový boční úhel hřbetu  $\alpha_f$**  je úhel mezi hřbetem nástroje  $A_\alpha$  a nástrojovou rovinou ostří  $P_s$  a je měřený v nástrojové boční rovině  $P_f$ .

**Nástrojový zadní úhel hřbetu  $\alpha_p$**  je úhel mezi hřbetem nástroje  $A_\alpha$  a nástrojovou rovinou ostří  $P_s$  a je měřený v nástrojové zadní rovině  $P_p$ .



Audio 1.11 Nástrojové úhly čela



**Nástrojový normální úhel hřbetu  $\alpha_n$**  je úhel mezi hřbetem nástroje  $A_\alpha$  a nástrojovou rovinou ostří  $P_s$  a je měřený v nástrojové normální rovině  $P_n$ .

**Nástrojový úhel největšího spádu hřbetu  $\alpha_b$**  je úhel mezi hřbetem nástroje  $A_\alpha$  a nástrojovou rovinou ostří  $P_s$  a je měřený v nástrojové rovině největšího spádu hřbetu  $P_b$ . Je ze všech nástrojových úhlů hřbetu nejmenší.



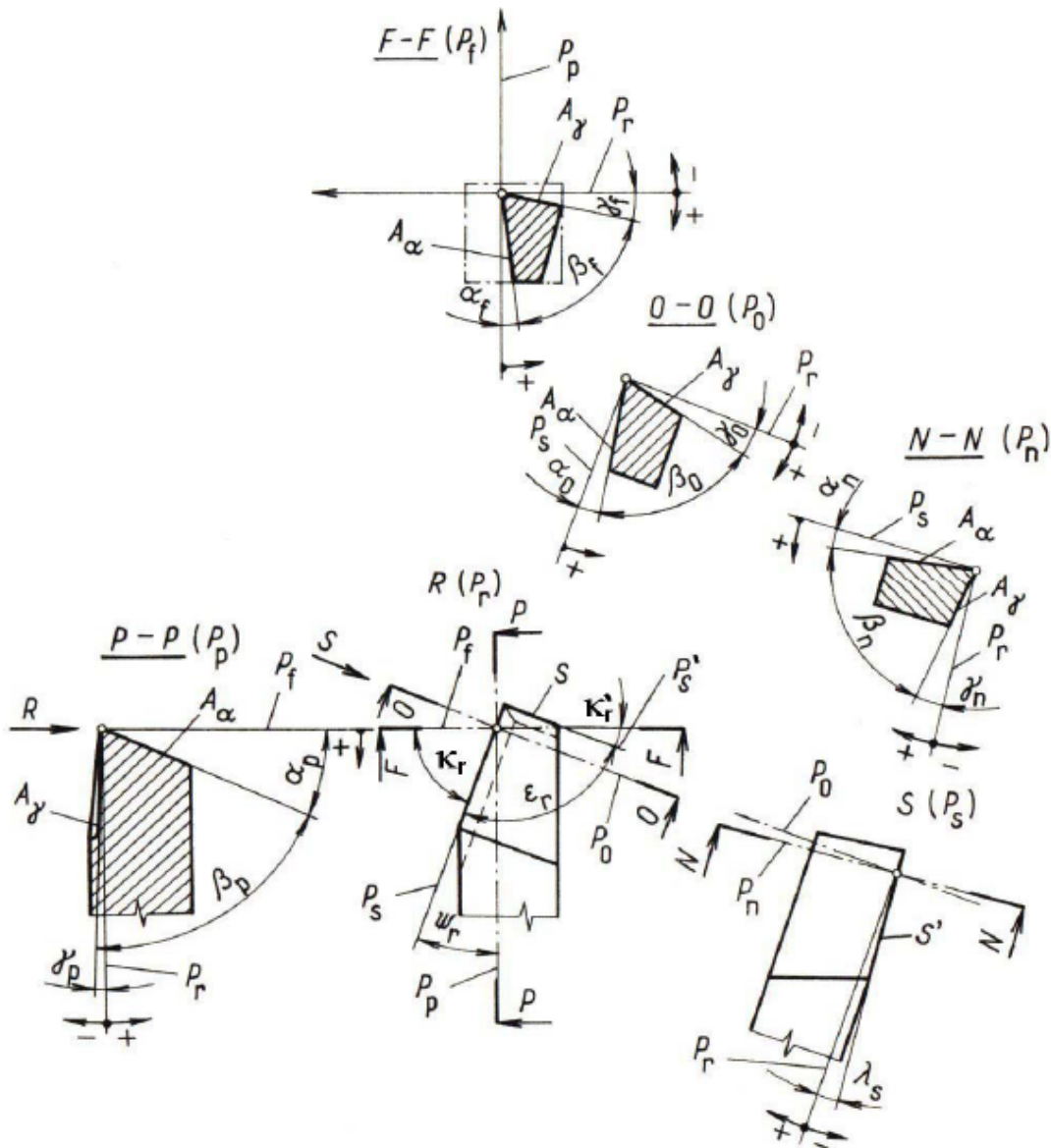
### Nástrojové úhly břitu

**Nástrojový ortogonální úhel břitu  $\beta_o$**  je úhel mezi čelem  $A_\gamma$  a hřbetem nástroje  $A_\alpha$  a je měřený v nástrojové ortogonální rovině  $P_o$ .

**Nástrojový boční úhel břitu  $\beta_f$**  je úhel mezi čelem  $A_\gamma$  a hřbetem nástroje  $A_\alpha$  a je měřený v nástrojové boční rovině  $P_f$ .

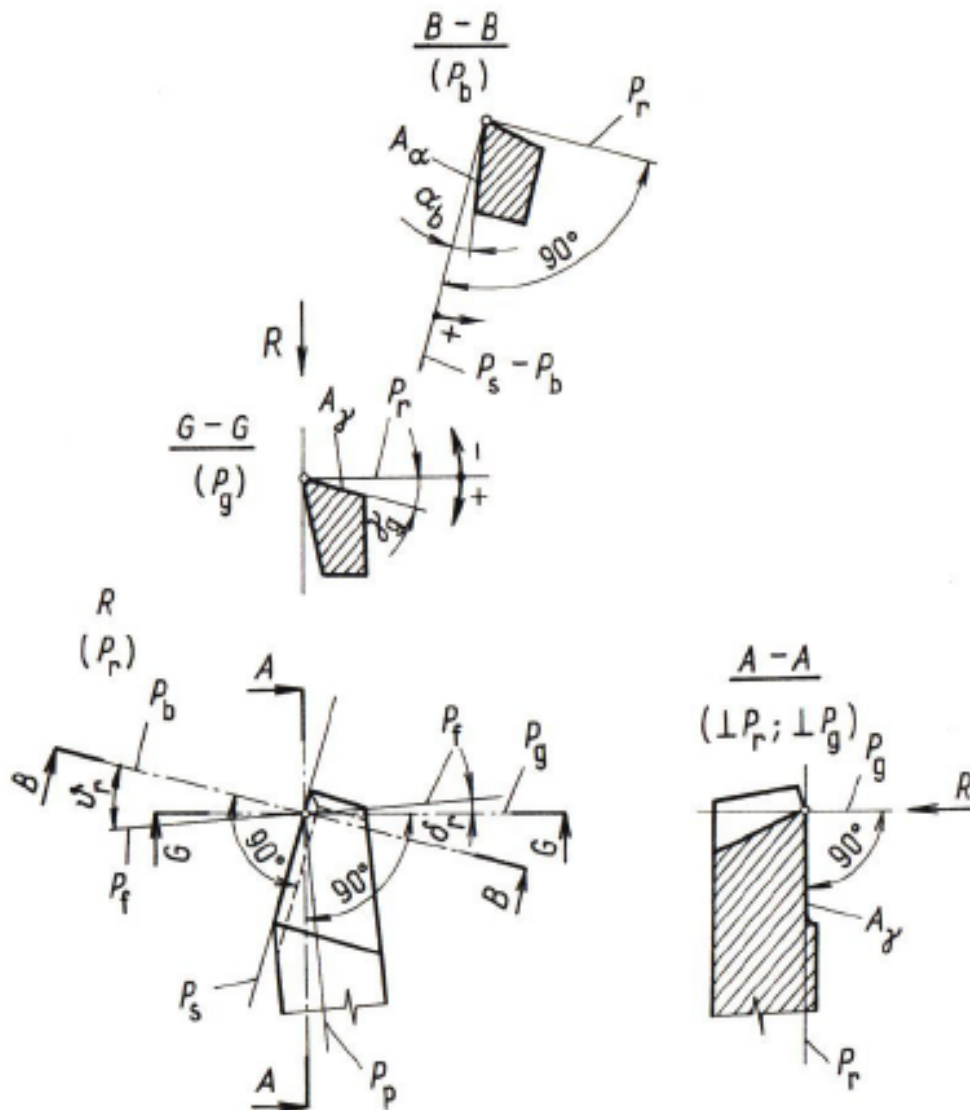
**Nástrojový zadní úhel břitu  $\beta_p$**  je úhel mezi čelem  $A_\gamma$  a hřbetem nástroje  $A_\alpha$  a je měřený v nástrojové zadní rovině  $P_p$ .

**Nástrojový normálový úhel břitu  $\beta_n$**  je úhel mezi čelem  $A_\gamma$  a hřbetem nástroje  $A_\alpha$  a je měřený v nástrojové normálové rovině  $P_n$ .



Obr. 3.3 Nástrojové úhly v rovinách  $P_r$ ,  $P_f$ ,  $P_p$ ,  $P_s$ ,  $P_o$ ,  $P_n$  zakresleny na pravém ubíracím soustružnickém noži





Obr. 3.4 Nástrojové úhly v rovinách  $P_b$ ,  $P_g$  zakresleny na pravém ubíracím soustružnickém noži

### Matematické závislosti mezi nástrojovými úhly

Ve všech rovinách platí  $\alpha + \beta + \gamma = 90^\circ$ , tedy součet úhlů čela, hřbetu a břitu v nástrojové souřadnicové soustavě v rovině normálové  $P_n$ , ortogonální  $P_o$ , boční  $P_f$  a zadní  $P_p$  je roven  $90^\circ$ . Můžeme podrobněji rozepsat konstatování do rovnic pro jednotlivé nástrojové roviny:

$$\alpha_o + \beta_o + \gamma_o = 90^\circ \quad (3.1)$$

$$\alpha_p + \beta_p + \gamma_p = 90^\circ \quad (3.2)$$

$$\alpha_f + \beta_f + \gamma_f = 90^\circ \quad (3.3)$$

$$\alpha_n + \beta_n + \gamma_n = 90^\circ \quad (3.4)$$

Pro nástrojové úhly v nástrojové rovině základní  $P_r$  platí:

$$\kappa_r + \kappa_r' + \varepsilon_r = 180^\circ \text{ a } \kappa_r + \psi_r = 90^\circ. \quad (3.5)$$

Teoretickým rozбором uvedených definic a grafickým rozбором lze učinit několik zajímavých závěrů:

- Je-li úhel  $\lambda_s = 0$ , pak se nástrojová rovina ortogonální  $P_o$  ztotožní s nástrojovou rovinou normálovou  $P_n$ .
- Je-li úhel  $\lambda_s = 0$  a kterýkoliv z úhlů čela roven nule, pak i všechny ostatní úhly čela budou rovny nule.



- Je-li úhel  $\lambda_s = 0$  a kterýkoliv z úhlů čela kladný resp. záporný, pak i všechny ostatní úhly čela budou kladné resp. záporné.
- Je-li úhel  $\kappa_r = 90^\circ$ , pak se nástrojová rovina ortogonální  $P_o$  ztotožní s nástrojovou rovinou boční  $P_f$  a nástrojová rovina ostří  $P_s$  s nástrojovou rovinou zadní  $P_p$ . Z toho vyplývá, že  $\lambda_s = \gamma_p$ ,  $\gamma_o = \gamma_f$  a  $\alpha_o = \alpha_f$ .
- Je-li úhel  $\kappa_r = 0^\circ$ , pak se nástrojová rovina ortogonální  $P_o$  ztotožní s nástrojovou rovinou zadní  $P_p$  a nástrojová rovina ostří  $P_s$  s nástrojovou rovinou boční  $P_f$ . Z toho vyplývá, že  $\lambda_s = \gamma_f$ ,  $\gamma_o = \gamma_p$  a  $\alpha_o = \alpha_p$ .

#### 1.1.4 Volba geometrických parametrů bříty

Při správné volbě geometrie nástroje lze výrazně ovlivnit pevnost bříty, trvanlivost nástroje, stabilitu procesu řezání, tepelné i silové zatížení, spotřebu vynaložené energie a splnit požadavky kladené na přesnost rozměrů i jakost obrobené plochy. Jednotlivé geometrické parametry ovlivňují řezný proces především následujícími způsoby.

**Nástrojový úhel nastavení hlavního ostří  $\kappa_r$** , jehož hodnoty se běžně pohybují v rozsahu  $45^\circ \div 90^\circ$ , ovlivňuje zejména tvar třísky (tloušťku odřezávané vrstvy) a délku ostří v záběru, závisí na něm poměr složek síly řezání v nástrojové rovině základní  $P_r$  (poměr posunové a pasivní složky síly řezání). Vliv hodnoty úhlu se projevuje i v tuhosti špičky nástroje a jejím opotřebením, což má v neposlední řadě vliv na drsnost obrobeného povrchu součásti.

**Nástrojový úhel nastavení vedlejšího ostří  $\kappa_r'$**  ovlivňuje především tuhost a opotřebením špičky s následným vlivem na drsnost povrchu obrobku.

**Nástrojový úhel sklonu ostří  $\lambda_s$**  zpravidla nabývá hodnoty  $-6^\circ$  do  $+6^\circ$ , včetně nulové hodnoty a ovlivňuje především směr odchodu třísky z místa řezu (kladný úhel napomáhá odchodu třísky od obrobku a naopak) a tuhost špičky nástroje.

**Nástrojový úhel čela  $\gamma$  ( $\gamma_o$ )** se běžně volí od  $-8^\circ$  do  $+8^\circ$ . Hodnota úhlu se projevuje na utváření třísek, poměry velikosti složek síly řezání i opotřebením nástroje. Současně s úhlem hřbetu působí i na tuhost a pevnost bříty nástroje.

**Nástrojový úhel hřbetu  $\alpha$  ( $\alpha_o$ )** je obvykle konstrukčně navrhován v rozmezí od  $+8^\circ$  do  $+12^\circ$ . Hodnota úhlu ovlivňuje podmínky tření nástroje o obrobek, poměry velikosti složek síly řezání, vznik tepla zejména třením, tuhost bříty a trvanlivost nástroje.

**Nástrojový úhel špičky  $\epsilon_r$**  je zpravidla zvolen v rozsahu od 0,2 mm do 5 mm. Platí zásada, že čím je vyšší poloměr špičky, tím je možno využít vyšší posunové rychlosti nástroje při zvýšené trvanlivosti nástroje. Poloměr špičky výrazně ovlivňuje strukturu povrchu.

Hodnoty navržených úhlů bříty odpovídají:

- fyzikální podstatě řezného procesu vzhledem k dané operaci a metodě obrábění;
- druhu a materiálu obrobku, zejména z pohledu obrobitelnosti;
- požadovaným mechanickým vlastnostem obrobku;
- požadované struktuře povrchu;
- požadovaným vlastnostem obrobené vrstvy;
- řezným parametrům;
- silovému i tepelnému namáhání a zatížení;
- fyzikálnímu stavu a materiálu bříty (řezivosti) aj.



Navrhnout ideální geometrii nástroje nelze. Volba je vždy jistým kompromisem mezi požadavky na snadné a energeticky výhodné obrábění a požadavky na dostatečnou tuhost, trvanlivost a výkon nástroje. Lze se jí však významně přiblížit.



## 2 KONTROLNÍ OTÁZKY

- Co je to obrábění a co je to řezání?
- Co je soustava SNOP a jaké jsou její části?
- Jak rozdělujeme obráběcí metody podle charakteru vykonávané práce?
- Co je to obrobek, přídavek, tříska a odebíraná vrstva?
- Jaké plochy nalezneme na obrobku?
- Co je čelo a hřbet obráběcího nástroje?
- Co je to ostří a jaké má části?
- Jak je definován hlavní, vedlejší a výsledný řezný pohyb a rychlost?
- Jaké jsou základní souřadnicové soustavy rovin?
- Definujte nástrojové roviny základní, boční a zadní.
- Definujte nástrojové roviny ortogonální, ostří a normálová.
- Co ovlivňují nástrojové úhly?
- Vyjmenujte, zakreslete a popište nástrojové úhly hřbetu nebo čela.
- Vyjmenujte, zakreslete a popište nástrojové úhly polohy ostří.
- Jaké platí matematické závislosti mezi nástrojovými úhly?



### 3 PŘEDNÁŠKOVÝ TEXT SE VZTAHUJE K TĚMTO OTÁZKÁM

- 1. Základy procesu řezání – základní pojmy a definice
- 2. Geometrie řezného klínu – nástrojová a pracovní soustava



## 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**



## ÚVOD DO TEORIE OBRÁBĚNÍ

---

### 3 Tvorba a tvarování třísky

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 978-80-248-3013-1



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>TVORBA A TVAROVÁNÍ TŘÍSKY .....</b>	<b>3</b>
1.1	Fyzikální základy procesu řezání .....	4
1.1.1	Plastická deformace při ortogonálním řezání.....	4
1.1.2	Oblasti deformací .....	5
1.2	Technologické charakteristiky třísek.....	6
1.2.1	Tříska a objemový součinitel pýchování.....	7
1.2.2	Nárůstek a jeho vliv na řezný proces.....	10
1.3	Teplota a teplota řezání .....	11
1.3.1	Zdroje tepla a tepelná bilance .....	12
1.3.2	Teplota řezání a její měření.....	13
1.3.3	Měření termočlánky .....	15
1.3.4	Měření pomocí termovize .....	23
1.3.5	Měření pomocí teplotních indikátorů.....	23
1.4	Řezné prostředí .....	24
1.4.1	Specifické požadavky na procesní média .....	24
1.4.2	Řezné kapaliny.....	26
1.4.3	Přívod řezné kapaliny do místa řezu .....	27
1.4.4	Plynné řezné prostředí .....	29
<b>2</b>	<b>KONTROLNÍ OTÁZKY .....</b>	<b>30</b>
<b>3</b>	<b>PŘEDNÁŠKOVÝ TEXT SE VZTAHUJE K TĚMTO OTÁZKÁM .....</b>	<b>31</b>
<b>4</b>	<b>POUŽITÁ LITERATURA .....</b>	<b>32</b>



# 1 TVORBA A TVAROVÁNÍ TŘÍSKY



## OBSAH KAPITOLY:

Fyzikální základy a plastická deformace v oblasti řezu

Charakteristika třísek

Zdroje tepla a tepelná bilance

Měření teploty při obrábění

Řezné prostředí



## MOTIVACE:

Prioritním výstupem jsou parametry obrobené plochy. Při řezání působí obráběcí nástroj na obrobek a vyvolává v materiálu napětí, proti kterému klade materiál odpor. V důsledku toho se ustálí pole řezání, které má výrazné charakteristiky stavu napjatosti, teploty a deformace. Proces řezání se může realizovat jako ortogonální nebo obecné řezání.

Teplota řezání je jedním z nejdůležitějších parametrů ovlivňujících proces řezání a má vliv na všechny parametry řezání. Závisí na ní možnosti a vhodnost použití různých řezných rychlostí, posuvů, hloubky řezu a také ovlivňuje trvanlivost nástroje. Z výše uvedených skutečností vyplývá, že teplota nepřímo, ale zásadně ovlivňuje produktivitu a ekonomičnost výroby.



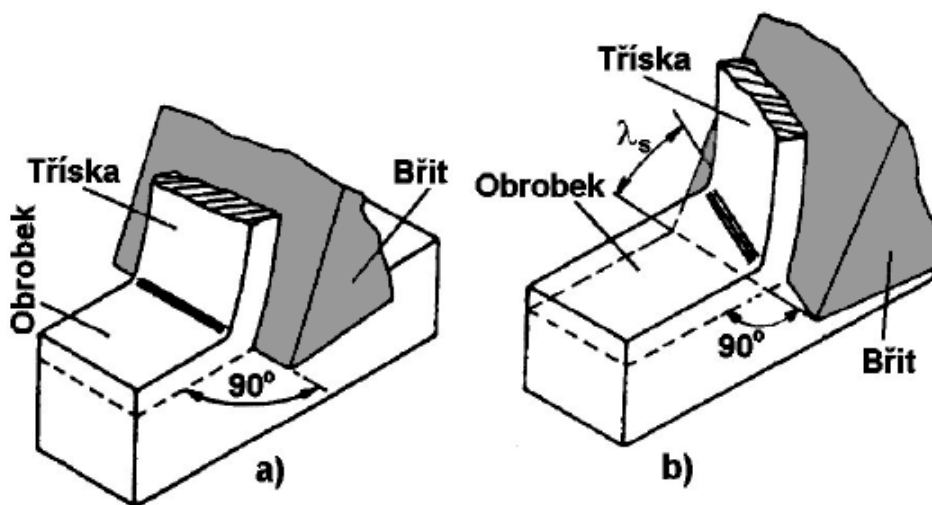
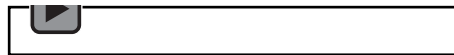
## 1.1 FYZIKÁLNÍ ZÁKLADY PROCESU ŘEZÁNÍ

V případě **ortogonálního řezání** je ostří nastaveno kolmo na směr řezného pohybu a daná problematika se řeší v rovině. Typickým příkladem ortogonálního řezání je zapichování, frézování nástrojem s přímými zuby, protahování apod. Schématicky je znázorněno na obr. 4.1 a).

Při **obecném řezání** je třeba řešit řezný proces v prostoru. Příkladem je podélné soustružení, vrtání, frézování nástrojem se zuby ve šroubovici apod. Schématicky je obecné řezání uvedeno na obr. 4.1 b).



Audio 1.1 Fyzikální základy



Obr. 4.1 Realizace řezného procesu: a) ortogonální řezání, b) obecné řezání

Mechanismus vzniku a oddělování třísky je různý u krystalických a nekrystalických látek. Většina technických materiálů běžně používaných ve strojírenské praxi jsou materiály krystalické. A právě teoretické a experimentální studie těchto materiálů se provádějí zejména pro případ ortogonálního řezání.

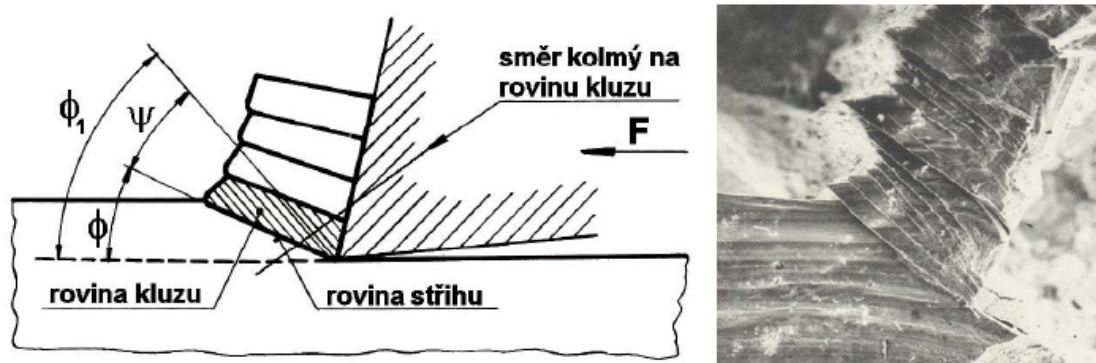
### 1.1.1 PLASTICKÁ DEFORMACE PŘI ORTOGONÁLNÍM ŘEZÁNÍ

Při řezném procesu dochází v oblasti tvoření třísky k pružným a následně k plastickým deformacím vlivem vnikání nástroje do materiálu obrobku. Břit nástroje je tlačěn do obrobku silou  $F$ .

Napěťové pole v zóně řezání se rozkládá na napěťové pole v obrobku a nástroji. Pružné deformace jsou rozloženy do celého objemu obrobku, deformace plastické zahrnují jen zónu řezání. O rozložení napětí v zóně řezání je možné usuzovat z dostupných fotoelasticimetrických, případně jiných metod.

Smyková napětí rostou do té míry, než dojde k plastické deformaci materiálu obrobku před břitem nástroje (posuv vrstev v kluzných rovinách pod úhlem  $\Phi_I$ ). Pohyb nástroje pokračuje, roste plastická deformace a dochází k pěchování a posunu vrstev materiálu ve směru kolmém ke kluzným rovinám. Oddělováním třísky se v podstatě ukončuje proces plastická deformace. Plastický lom nastává působením kluzné síly zatímco křehký lom působením síly normálové.





Obr. 4.2 Vznik třísky

Při dalším pohybu nástroje roste napětí v materiálu až dosáhne vyšší hodnoty, než je mez stříhu obráběného materiálu a dojde k oddělení segmentu třísky pod úhlem stříhu  $\Phi$ . Rozdíl mezi úhly  $\Phi_1$  a  $\Phi$  se pohybuje v rozmezí  $\psi = (0 \div 30)^\circ$ , nízké hodnoty úhlu  $\psi$  vykazují tvárné materiály (např. ocel), vysoké hodnoty naopak materiály křehké (např. šedé litiny).

### 1.1.2 OBLASTI DEFORMACÍ

Při vnikání břitu nástroje do obráběného materiálu vznikají pružné a následně plastické deformace v těchto oblastech:

- před břitem nástroje, v oblasti primární plastické deformace, která se značí *I* a vymezuje body **OMNO**;
- v povrchových vrstvách styku třísky a čela nástroje je oblast sekundární plastické deformace, která je označena *II*;
- v povrchové vrstvě obrobené plochy vzniká oblast terciární plastické deformace *III*.

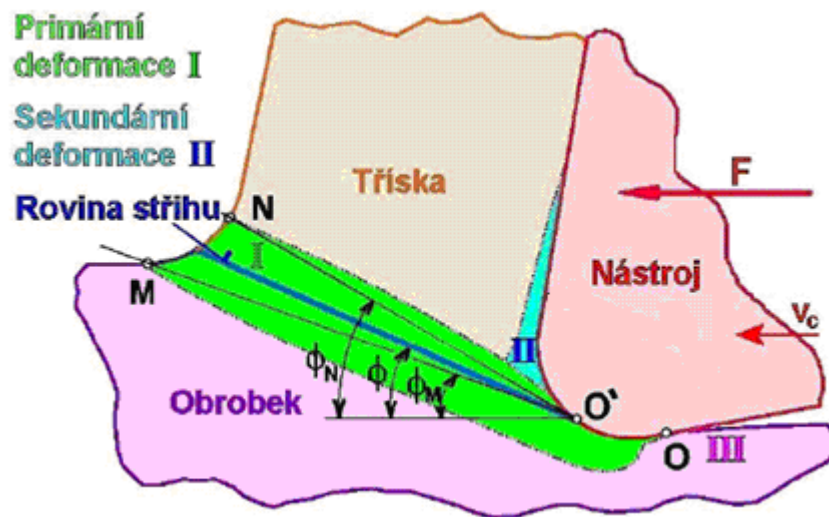
Velikost a tvar oblasti **OMNO** a stav napjatosti jsou proměnlivé a závisí zejména na fyzikálních vlastnostech obráběného materiálu, především na jeho deformační a zpevňovací schopnosti. S rostoucí řeznou  $v_c$ , ale zejména posuvovou rychlostí  $v_f$  se tato oblast značně zužuje (ve vysokorychlostním resp. „HSC“ obrábění) a tím obě roviny téměř splývají. Rovněž záleží na řezném prostředí (chlazení), geometrii řezného nástroje a jemu předurčené kinematice (vzhledem k obrobku).

Při zvětšování nástrojového úhlu čela  $\gamma_n$  klade nástroj menší odpor proti odchodu třísky, tříska tak odchází snadněji, a proto je méně deformována. Při zvětšování nástrojového úhlu  $\kappa_r$  se šířka třísky zmenšuje, což se projeví v poklesu velikosti koeficientu pěchování třísky, ale pouze do určité hodnoty tohoto úhlu. Při volbě optimálních řezných podmínek je nutno mít tyto zákonitosti na zřeteli.

Plastická deformace obráběného materiálu v procesu řezání způsobuje:

- oddělení třísky od obrobku (oblast *I*);
- mechanické zatížení nástroje řeznými odpory;
- tepelné zatížení nástroje;
- opotřebení nástroje (na čele v důsledku *II*, na hřbetu v důsledku vlivu *III*);
- změnu textury materiálu v tříске i v povrchové vrstvě obrobené plochy;
- vznik zbytkových napětí v povrchové vrstvě obrobené plochy;
- pěchování třísky (průřez a délka třísky neodpovídají teoretickým hodnotám).





Obr. 4.3 Oblasti plastických deformací v zóně řezání

## 1.2 TECHNOLOGICKÉ CHARAKTERISTIKY TŘÍSEK

Při používání stále vyšších řezných rychlostí na obráběcích strojích vystupuje do popředí problematika odvádění třísek z místa jejich vzniku a velikosti prostoru, který zabírají. V důsledku plastické deformace dochází k pěchování třísky při jejím odchodu z místa řezu, což má za následek rozdíl mezi průřezem odřezávané vrstvy a průřezem vzniklé třísky.

Pro stanovení **součinitele pěchování** lze vycházet z rovnosti objemů odřezávané vrstvy a vzniklé třísky za jednotku času:

$$S \cdot v_c \cdot 10^3 = S_1 \cdot v_t \cdot 10^3 \quad [\text{dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}], \text{ kde} \quad (4.1)$$

$S$  - jmenovitá plocha průřezu [ $\text{mm}^2$ ],

$S_1$  - plocha průřezu vzniklé třísky [ $\text{mm}^2$ ],

$v_c$  - rychlost řezání [ $\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$ ],

$v_t$  - rychlost odchodu třísky [ $\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$ ].

Součinitel pěchování třísky  $\lambda$  se pak po úpravě vypočítá ze vztahu:

$$\lambda = \frac{S_1}{S} = \frac{v_c}{v_t} > 1 \quad [-]. \quad (4.2)$$

Plochy průřezu třísky  $S$  a  $S_1$  lze vyjádřit ve tvaru:

$$S = h \cdot l_a \quad [\text{mm}^2], \quad (4.3)$$

$$S_1 = h_1 \cdot l_{a1} \quad [\text{mm}^2], \quad \text{kde} \quad (4.4)$$

$h$  - jmenovitá tloušťka řezu [ $\text{mm}$ ],  $h_1$  je tloušťka odřezávané třísky [ $\text{mm}$ ],

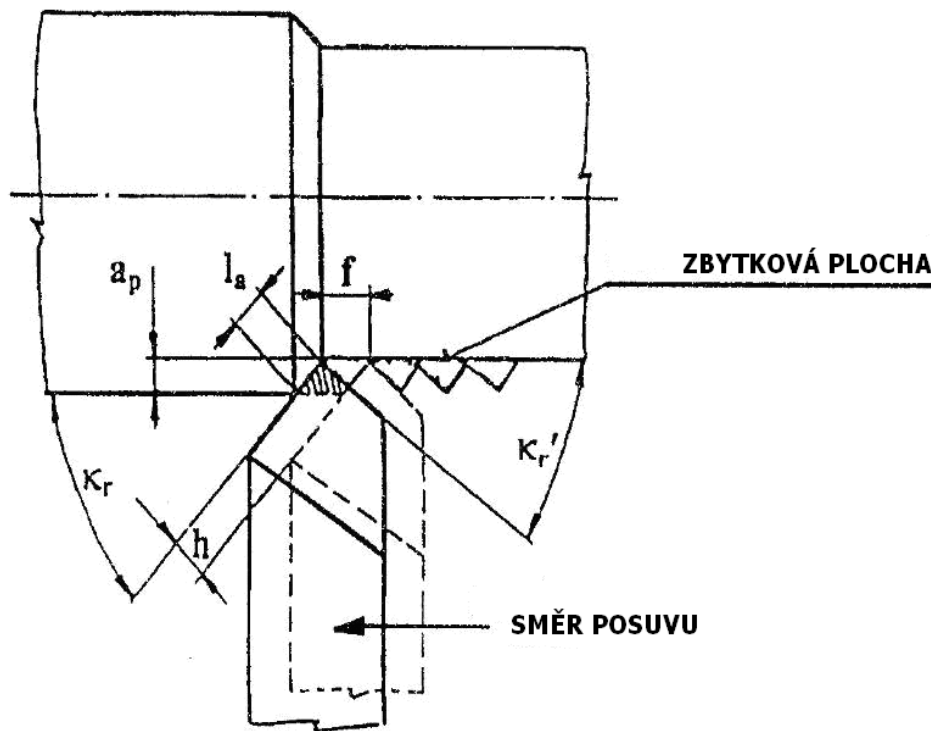
$l_a$  - je jmenovitá šířka řezu [ $\text{mm}$ ],  $l_{a1}$  je šířka odřezávané třísky [ $\text{mm}$ ].

Z praktického hlediska můžeme předpokládat, že  $l_{a1} \cong l_a$ , tudíž

$$\lambda \cong \frac{h_1}{h} [-]. \quad (4.5)$$

Tloušťku odřezávané třísky  $h_1$  lze změřit např. třmenovým mikrometrem s kulovými doteky a pro danou hodnotu  $h$  se vypočítá součinitel pěchování.





Obr. 4.4 Tvar a rozměr odřezávané vrstvy materiálu z obrobku

Pro výpočet součinitele přechování lze také použít délkovou metodu založenou na měření délky vzniklé třísky:

$$= \frac{l}{l_1} [-], \text{ kde} \quad (4.6)$$

$l$  - relativní délka dráhy nástroje [mm],  
 $l_1$  - délka vzniklé třísky [mm].

Další použitelnou možností pro výpočet součinitele přechování třísky je metoda hmotnostní. Vychází z parametrů odřezávané vrstvy materiálu obrobku při použití vztahu:

$$= \frac{10^3 \cdot G_t}{S \cdot l_1 \cdot \rho} [-], \text{ kde} \quad (4.7)$$

$G_t$  - hmotnost vzniklé třísky [g],  
 $\rho$  - hustota obráběného materiálu [ $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ ].

Velikost součinitele přechování třísky se může pohybovat v rozmezí od 1,1 až 10 a lze ho použít jako kritéria pro posouzení intenzity primární plastické deformace.

## 1.2.1 TŘÍSKA A OBJEMOVÝ SOUČINITEL PĚCHOVÁNÍ

Tříska je deformovaná odřezávaná vrstva materiálu z obrobku. Při vnikání řezného klínu do obráběného materiálu se tento materiál nejprve pružně a pak plasticky deformuje, čímž klade odpor (řezný odpor) proti vnikání řezného klínu.

V rámci procesu řezání se utvářejí a následně oddělují třísky trhané (obr. 4.5), nebo stříhané (obr. 4.5). K oddělování trhaných třísek dochází za předpokladu, že platí:

$$\frac{\tau}{\sigma} < 1, \quad (4.8)$$

kde  $\tau$  je tečné napětí a  $\sigma$  je normálové napětí. V případě, že normálová napětí  $\sigma$  převyšují tečná napětí  $\tau$ , vzniká tříska trhaná (drobivá). Trhaná tříska se obvykle tvoří při obrábění





tvrdých a křehkých materiálů. Vzniká vylamováním jednotlivých elementů nepravidelných tvarů bez vzájemné souvislosti. Tříska odchází ve tvaru nepravidelných úlomků, šupin, drobných elementů apod. Při tvorbě tohoto typu třísky můžeme očekávat kvalitativně horší obroběný povrch součásti.

V opačném případě, platí-li nerovnost:

$$\frac{\tau}{\sigma} > 1 \quad (4.9)$$

přičemž tečná napětí  $\tau$  převyšují normálová napětí  $\sigma$ , je oddělovaná tříska stříhaná. Podle stupně plastičnosti může být stříhaná tříska:

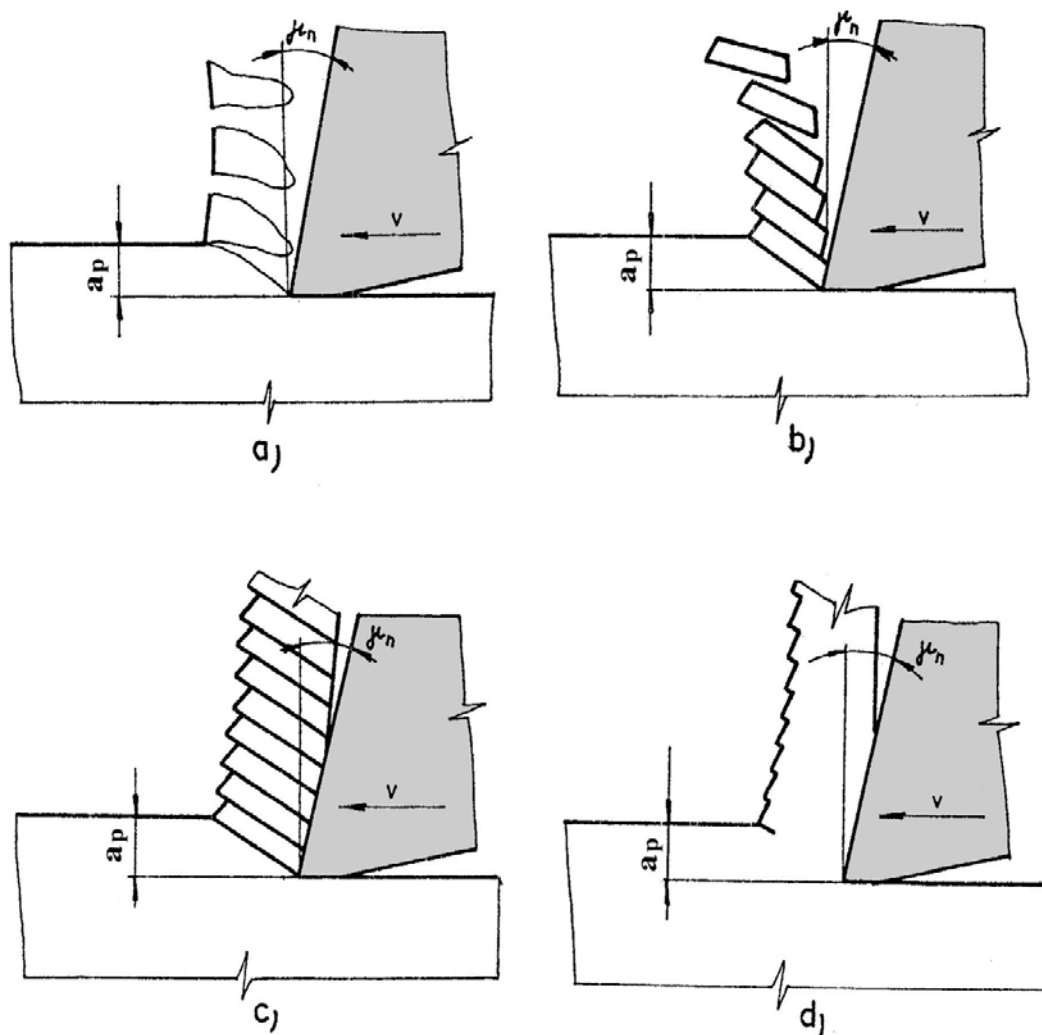
- plynulá, což je nejobvyklejší druh stříhané třísky (obr. 4.5 d). Tvoří se při obrábění tvárných materiálů. Jednotlivé elementy třísky mají velkou soudržnost a jsou od sebe těžko rozlišitelné. Povrch třísky na straně přivrácené k čelu nástroje bývá hladký. Plynulá tříska odchází po čele nástroje ve tvaru více či méně se svinujícího pásku (šroubovice) jako souvislý celek.
- stupňovitá, která se skládá z jednotlivých spolu spojených elementů, které se od sebe zřetelně liší svým tvarem i velikostí (podle obr. 4.5 c). Tříska tohoto typu vzniká při obrábění tvrdých a tvárných materiálů. Při její tvorbě dochází k odstřížení jednotlivých částic, dobře patrných na vnějším povrchu třísky. Tyto částice jsou rozlišitelné i na straně přivrácené k čelu nástroje a lze je od sebe lehce oddělit. Tříska odchází po čele v kratších celcích, složených z jedné nebo více částic, ve tvaru různých tvarovaných pásků (šroubovice, kroužky, obloučky apod.).
- elementová, přičemž (dle obr. 4.5 b) lze pozorovat, že se tříska skládá z postupně odstříhnutých částic, které jsou od sebe snadno rozlišitelné.

Tříska, jako vedlejší doprovodný produkt procesu řezání, má mít určité vlastnosti z hlediska rozměrů a tvaru, a to z důvodu lepší manipulovatelnosti při odvodu ze stroje a další dopravy. Proto by měly zaujímat co nejmenší objem. Tvar třísky je důležitý také pro efektivní využití nástroje (dlouhá plynulá tříska se namotává na nástroj a zvyšuje nebezpečí poškození a dosažení požadovaných vlastností obroběného povrchu. Proto je snaha dosáhnout vždy dělení třísky.

Tvar vzniklé třísky závisí na řadě faktorů, z nichž nejdůležitějšími jsou:

- vlastnosti obráběného materiálu zejména z pohledu jeho obrobitelnosti;
- geometrie nástroje a tvaru břítu (úhel čela  $\gamma$ , lamače, utvařeče třísek);
- materiálu nástroje (řezivost a vznikající tření);
- řezné podmínky (rychlost řezání  $v_c$ , posuv  $f$ ).





Obr. 4.5 Oddělování třísek trhaných a stříhaných

Tvarování a lámání třísek má značný význam na „třískové hospodářství“, bezpečnost a plynulost práce u automatizovaných obráběcích strojů, zejména pak u bezobslužných obráběcích strojů a pracovišť. Jako kritérium vhodného tvaru třísky se používá tzv. objemový součinitel.

Objemový součinitel třísek  $\omega$  lze vyjádřit:

$$\omega = \frac{V_t}{V_m} [-], \text{ kde} \quad (4.10)$$

$V_t$  představuje objem volně ložených třísek (například volně vložené do odměrného válce) [ $\text{dm}^3$ ] a  $V_m$  představuje objem odebraného materiálu po stejnou dobu obrábění [ $\text{dm}^3$ ].

Tab. 4.1 – Hodnoty objemového součinitele třísek  $\omega$  pro vybrané typy třísek



TVAR TŘÍSEK		w	TVAR TŘÍSEK		w
	STUŽKOVÉ DLOUHÉ	400 a více		SPIRÁLOVÉ PLOCHÉ	10 až 20
	STUŽKOVÉ SMOTANÉ	300 až 400		OBLOUKOVITÉ SPOJENÉ	8 až 10
	VINUTÉ DLOUHÉ	80 až 150		ELEMENTÁRNÍ	4 až 6
	VINUTÉ KRÁTKÉ	40 až 60			

Dosažení specifikovaných požadavků na tvar a s tím související objem produkce třísek se zajišťuje především vhodnou volbou řezných parametrů a geometrie nástrojů se záměrem optimálního utváření třísek. Snížení hodnoty objemového součinitele třísek (násobek objemu třísky vzhledem k odebranému objemu materiálu z povrchu polotovaru) lze klasicky dosáhnout lámáním a utvářením třísek prostřednictvím různých lamačů a utvařečů třísek.

Utvařeče třísek mohou být vybrušované a předlisované, vyjiskřované, nebo mechanické (příložné). Nejjednoduššími utvařeči jsou žlábkové utvařeče s vytvořeným žlábkem či stupínkem na čele celistvých nožů nebo pájených destiček. Další skupina utvařečů je charakterizována kontinuálním žlábkem různého průřezu podél ostří, kolem celého obvodu z jedné nebo obou stran vyměnitelné destičky. Třetí skupinu tvoří utvařeče s tzv. sekundárním utvářením třísky. Jsou to žlábkové utvařeče třísek se sekundárním utvařečem menších rozměrů vytvořeným v rohu destičky. Sekundární utvařeč ve spojení s primárním rozlišuje oblast utváření.

Lamače třísek mají tvar destičky a jsou mechanicky upnuté, postavené ve vzdálenosti 1,5 až 6 mm od ostří a skloněné pod úhlem 40 až 50° k čelu břitu. Zmenšují poloměr svinování třísky a způsobují lámání odcházející třísky na menší kusy. Funkci utvařeče, případně lamače třísek přebírá také žlábek vznikající na čele břitu jeho postupným otupováním.

## 1.2.2 NÁRŮSTEK A JEHO VLIV NA ŘEZNÝ PROCES

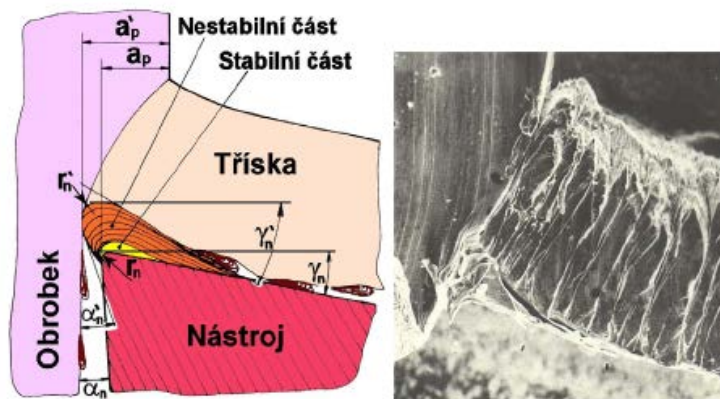
Při realizaci řezného procesu za určitých řezných podmínek (v daném intervalu řezné rychlosti) se tvoří na čele nástroje spěchovaná tvrdá vrstva kovu, která ulpívá na břitu ostří, tzv. nárůstek. Nárůstek je silně spěchovaná vrstva obráběného materiálu, která má v důsledku probíhajících pochodů odlišnou strukturu a je charakterizována vysokou pevností a tvrdostí. Vytváří se periodicky. V závislosti na řezných podmínkách je tvoření a zanikání nárůstku periodickým procesem s frekvencí  $10^2$  až  $10^3$  Hz. Intenzita vzniku nárůstku je primárně dána řeznými podmínkami.

Nárůstek má dvě části, a to stabilní a nestabilní (viz obr. 4.6). Převážnou část nárůstku odnáší tříška, menší část přilne na obrobenou plochu. Vzhledem ke svým vlastnostem může po určitou dobu přebírat funkci břitu a chránit tím řezný nástroj před jeho opotřebením. Tvorba nárůstku nejzávažněji ovlivňuje:

- mění geometrii nástroje (zvětšuje poloměr zaoblení ostří  $r_n$ , zvětšuje úhel čela  $\gamma$  a úhel hřbetu  $\alpha$ ;



- mění skutečné rozměry obrobku v důsledek rozdílných hodnot požadované hloubky řezu  $a_p$  a výsledné hloubky řezu  $a_p'$  při vzniku nárůstku;
- zhoršuje strukturu obrobené plochy (nestabilní část nárůstku ulpívá na obrobené ploše);
- způsobuje samobuzené kmitání soustavy stroj - nástroj - obrobek.



Obr. 4.6 Tvorba nárůstku u kořene třísky

Maximální rozměry tvorby nárůstku byly experimentálně zjištěny při nízkých rychlostech řezání od  $v_c = 18 \div 25 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ . Vlastnosti obráběného materiálu a ostatní řezné podmínky včetně geometrie nástroje ovlivňují intenzitu tvoření nárůstku do té míry, do jaké ovlivňují výši teploty v místě řezu. Se zvětšujícím se posuvem roste velikost nárůstku, zatímco změna tloušťky obráběné vrstvy  $a_p$  (hloubky řezu) nevykazuje téměř žádný vliv. Při zmenšování úhlu čela  $\gamma$  se tvoření nárůstku posouvá do oblasti nižších řezných rychlostí.

Zabránění vzniku nárůstku je možno provést vhodnou volbou řezných podmínek, zejména zvýšením rychlosti řezání, nebo také využitím vhodné procesní kapaliny, lapováním čelní plochy nástroje apod. ***S rostoucí pevností obráběného materiálu velikost nárůstku klesá.*** Proto se pro některé operace, jako je např. řezání závitů, výroba ozubení a protahování obrobený materiál zušlechťuje.

### 1.3 TEPLA A TEPLOTA ŘEZÁNÍ

Teplota řezání je jedním z nejdůležitějších parametrů ovlivňujících proces řezání a má vliv na všechny parametry řezání. Závisí na ní možnosti a vhodnost použití různých řezných rychlostí, posuvů, hloubky řezu a také ovlivňuje trvanlivost nástroje. Z výše uvedených skutečností vyplývá, že teplota nepřímou, ale zásadně ovlivňuje produktivitu a ekonomičnost výroby.

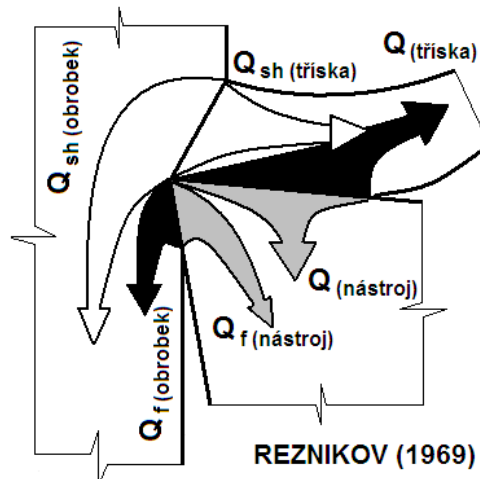
Je známo několik metod měření teploty řezání, teplotních polí atd. založených na různých fyzikálních jevech. Například na základě vzniku termoelektrického napětí (termočlánky), změně elektrického odporu se změnou teploty (termistory), změně skupenství nebo barvy při dosažení určité teploty (teplotní indikátory). Jinou skupinou jsou měření při kterých se využívá tepelného záření (nebo části spektrálního rozsahu tepelného záření) vyzařovaného měřeným tělesem (pyrometry, termovize).

Teplota je jednou z nejdůležitějších stavových veličin ovlivňující téměř všechny stavy a procesy a je mírou kinetické energie pohybujících se částic látky (molekul, atomů, ...). Za nejnižší teplotu, kterou nazýváme absolutní teplotní nulou, je požadován takový stav hmoty, kdy v ní ustane jakýkoli pohyb částic. V minulosti se používalo k odečítání teploty řady stupnic, které byly založeny na fyzikálních vlastnostech teploměrné látky (teplotní roztažnost, elektrický odpor, ...).



### 1.3.1 ZDROJE TEPLA A TEPELNÁ BILANCE

Při určování tepelné bilance v zóně řezání při práci s nástroji s definovanou geometrií je postup odlišný. Jak je uvedeno výše, teplo v zóně řezání vzniká přeměnou mechanické práce. Při obrábění se 95 až 98 % mechanické práce přemění na teplo. Celkové množství tepla  $Q$  je nevratná veličina, která se neustále obnovuje ve zdrojích tepla určených zónou řezání. Samotná zóna řezání tak umožňuje vymezit následující zdroje tepla, resp. tvorby tepla, obr. 8.1.



Obr. 8.1 Vznik a šíření tepla v zóně řezání

- teplo  $Q_{sh}$  – generované deformací ve střižné rovině v oblasti primární plastické deformace;
- teplo  $Q_{tr}$  – generované třením čela nástroje a třísky;
- teplo  $Q_f$  – generované třením hřbetu nástroje a obrobené plochy.

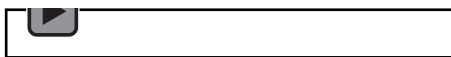
Teplo má u některých členů technologické soustavy kumulativní charakter. Při soustružení se kumuluje v nástroji, při frézování v obrobku, apod. Tento efekt je důležitý např. z hlediska opotřebení nástrojů.

Teplo se šíří vedením do:

- obrobku –  $Q_o$ ;
- nástroje –  $Q_n$ ;
- třísky –  $Q_t$ ;
- prostředí –  $Q_{pr}$ ;



#### Audio 1.2 Zdroje tepla



v závislosti od teplotního gradientu. Jak je obecně známo, teplotní pole je nehomogenní a kvazistacionární.

Vznik třísky při obrábění a její odvod z místa řezu je doprovázen vznikem určitého množství tepla. Ke vzniku tepla dochází transformací vynaložené práce. V teplo se přeměňuje téměř veškerá práce vynaložená na proces řezání s výjimkou práce pružných deformací a práce utajené. Podíl těchto dvou složek na celkové vynakládané práci je poměrně malý a nepřesahuje 5 %. Ve většině případů (vysoká tuhost soustavy stroj - nástroj - obrobek, velmi intenzivní deformace odřezávané vrstvy) představují práce pružných deformací a práce utajená (spotřebovaná na deformaci mřížky a vytvoření nových povrchů) maximálně 2 %



celkové práce řezání. Zbytek, tj. minimálně 98 %, se transformuje v teplo. Proto lze celkové množství tepla  $Q_C$  vznikající za sekundu při obrábění vypočítat bez velkých chyb z výrazu:

$$Q = F_c \cdot v_c \cdot t \text{ [J]}, \text{ kde} \quad (8.1)$$

$Q$  – celkové teplo [J],

$F_c$  – řezná složka síly obrábění [N],

$v_c$  – řezná rychlost [ $\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$ ],

$t$  – čas obrábění [min].

Vzniklé teplo výrazně ovlivňuje řezný proces, protože:

- negativně působí na řezné vlastnosti nástroje;
- ovlivňuje mechanické vlastnosti obráběného materiálu;
- ovlivňuje pěchování a zpevňování obráběného materiálu;
- ovlivňuje podmínky tření na čele i hřbetě nástroje.

Tepelná bilance představuje jednu z forem bilance energie, která vypovídá o tom, že v daném místě a daném časovém úseku je množství odvedeného tepla rovno teplu do místa přivedeného. Pro podmínky v zóně řezu nástrojem s definovanou geometrií to znamená:

$$Q = F_c \cdot v_c = Q_{sh} + Q_{tr} + Q_f = Q_o + Q_n + Q_{pr} + Q_t \text{ [J]} \quad (8.2)$$

Celkové množství tepla, které se v zóně tvorby třísky vytvoří je možné určit na základě známé řezné rychlosti a změření řezné (tangenciální) složky  $F_c$  síly řezání (např. síly soustružení, síly frézování apod.).

### 1.3.2 TEPLOTA ŘEZÁNÍ A JEJÍ MĚŘENÍ

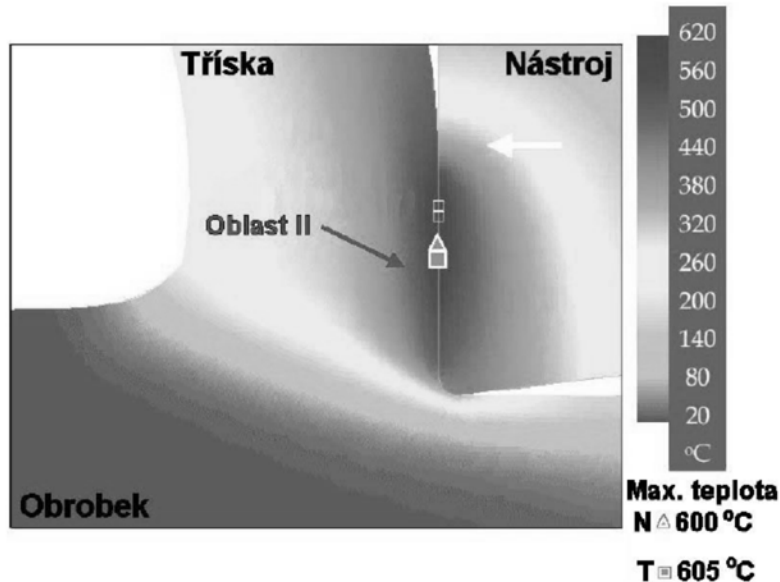
Teplotní pole (obr 8.2) nástroje nás zajímá především, protože teplota povrchových vrstev čela a hřbetu má výrazný vliv na stav těchto vrstev, na charakter jejich vzájemného působení s materiálem obrobku a v souvislosti s tím i na podstatu a intenzitu otupování nástroje. Teplota na čele a hřbetu závisí na vzdálenosti konkrétního bodu od ostří nástroje ve směru odchodu třísky, resp. ve směru řezné rychlosti a dosahuje maxima v určité vzdálenosti od ostří. Rozdíl mezi nejvyšší a nejnižší teplotou na čele dosahuje v tomto případě až 450 °C, na hřbetu pouze 100 až 300 °C. Absolutní hodnoty mezních teplot a střední teploty na čele jsou přitom o 50 až 100 % vyšší než na hřbetu. Jen při obrábění materiálů křehkých (tvoří třísku elementární) a při malých tloušťkách třísky ( $a_p < 0,05$  mm) mohou teploty na hřbetu převyšovat teploty na čele.

Z hlediska opotřebení nástroje nás zajímají jak maximální teploty na čele a na hřbetu, tak i rozložení teplot na těchto plochách. Stanovení teplotního pole čela a hřbetu je experimentálně velmi náročné. Proto se často spokojíme jen se stanovením středních teplot na těchto plochách, popř. stanovením střední teploty celé styčné plochy nástroje s třískou a obrobkem, tj. aktivní části čela a hřbetu současně. Střední teplota bude pochopitelně nižší než maximální teplota na břitě, má však výhodu, že ji lze stanovit podstatně snadněji. V teorii obrábění je tato střední teplota nazývána teplota řezání  $\theta$  a charakterizuje do určité míry teplotní namáhání pracovních ploch nástroje.

Metody experimentálního studia tepelných jevů jsou zaměřeny do dvou oblastí:

- stanovení celkového množství tepla a podíl odvedeného tepla do jednotlivých oblastí;
- stanovení teploty a teplotního pole obrobku, nástroje a třísky.





Obr. 8.2 Příklad rozložení teplotního pole

Pro měření teploty lze využít celou řadu fyzikálních nebo chemických jevů. Vzhledem k náročnosti a specifickým podmínkám procesu obrábění lze použít pouze některé z metod. Při experimentálním stanovování a při praktických měření se využívá především těchto jevů:

- termoelektrický jev (termočlánky);
- změna elektrického odporu (termistory);
- tepelné záření (pyrometry, termovize, fotometrie);
- změna struktury (teploměrné křídly a barvy).

Obecně se zařízení pro měření teploty skládají ze snímače teploty, převodových a přenosových členů a indikátoru měřené veličiny. Při měření teploty v procesu řezání se snímače umísťují přímo do soustavy stroj – nástroj – obrobek a podle druhu, provedení a umístění použitého snímače jsou převážně označovány jednotlivé měřicí metody. Teplotu je možné měřit na obrobku, řezném klínu a v tříšce s použitím následujících postupů:

- měření termočlánkem (např. dva cizí kovy, jeden cizí kov, přímý termočlánek). Hlavní problémy spojené s použitím této metody souvisí s eliminací tzv. parazitních termoelektrického napětí a s nevyhnutelnou kalibrací (závislost pro výstupní teplotu a termoelektrické napětí);
- obrazovým záznamem teplotního pole prostřednictvím pyrometrů, infračervené fotografie nebo termovizní kamery;
- kalorimetrické měření jsou vhodné pro měření tepla a teploty podle ohřátí kapaliny (se známým měrným teplem), které nastane vložení ohřátého předmětu (tříška, nástroj, obrobek);
- fázové změny vyvolané teplotou v tříšce nebo v řezném klínu, při nástrojích je daná metodika omezená pouze na rychlořezné oceli;
- měření teplotního pole teplotními indikátory;
- fotografické měření teplotního pole;
- měření teploty termistory.

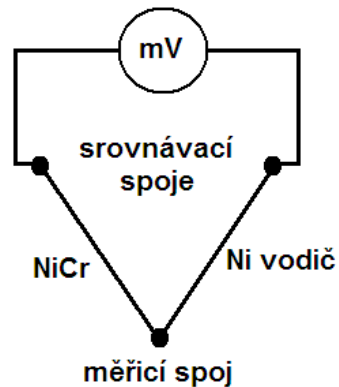
Teplotním polem (obr 8.2) se rozumí rozložení teplot v obrobku, nástroji a tříšce při procesu obrábění. Obvykle se ovšem určuje teplota na povrchu těchto těles a to z důvodu obtížnosti určení teploty v jednotlivých bodech. Proto se zpravidla při experimentálním měření omezujeme pouze na stanovení teplot v určitém místě nástroje, obrobku nebo třísky nebo



stanovením střední teploty oblasti řezu. V teorii obrábění se tato teplota nazývá také teplotou řezání a lze s ní do určité míry charakterizovat teplotní namáhání břitu nebo obrobitelnost obráběného materiálu.

### 1.3.3 MĚŘENÍ TERMOČLÁNKY

Při měření termočlánky se využívá tzv. termoelektrického jevu. Tento jev využívá vzniku termoelektrického napětí (termoelektromotorické síly), v obvodu tvořeného dvěma různými vodiči, jejichž konce jsou vodivě spojeny, jestliže jsou oba spoje udržovány na různých teplotách. Při obrábění se ho využije tak, že měřicí spoj je umístěn do místa měření teploty  $\theta_m$  a srovnávací spoj je udržován na známé teplotě  $\theta_o$  (obvykle teplota okolí). K těmto vodičům je pak připojen milivoltmetr (obr. 8.4).



Obr. 8.4 Schéma zapojení termočlánku

Velikost vznikajícího termoelektrického napětí však závisí nejen na rozdílu teplot, ale i na druhu materiálů obou vodičů, tvořících termočlánek. Pro praktická měření teploty lze využít jen některé dvojice kovů nebo slitin. Musí být sestaveny tak, aby vzniklé termoelektrické napětí bylo dostatečně velké v rozsahu předpokládaných teplot.

Tab. 8.1 Střední hodnoty termoelektrických napětí ( $\mu\text{V} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$ )

Konstantan	-39	Uhlík	-3,5	Cín	-0,5	Molybden	6,5
Kobalt	-21	Hliník	-1,5	Rhodium	1,0	Železo	12,5
Nikl	-20	Hořčík	-1,5	Iridium	1,0	Křemík	44,0
Platina	-5	Olovo	-0,5	Zinek	1,5		
Stříbro	1,5	Měď	2,0	Wolfram	2,5		

Je vhodné kombinovat vodiče tak, aby tvořily pokud možno lineární charakteristiku, časovou stabilitu, odolnost proti korozi a chemickým vlivům. Jako materiály vhodné na výrobu vodičů pro termočlánek se používá mnoho materiálů. V tab. 8.1 jsou uvedeny hodnoty termoelektrických napětí (střední hodnoty) pro nejpoužívanější materiály. Při obrábění se k měření teplot a teplotních polí užívají nejen dva druhy vodičů, ale s výhodou i jako vodič materiál nástroje nebo obrobku. Podle provedení je lze rozdělit do těchto skupin:

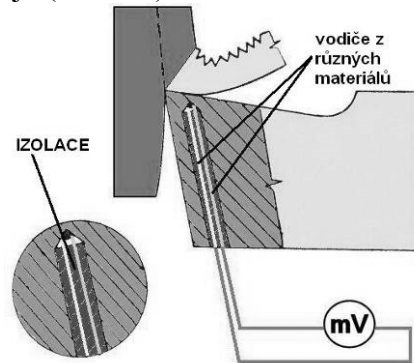
- umělý;
- poloumělý;
- přirozený;
- termoduo.





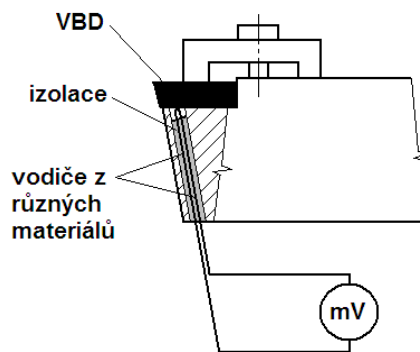
### Umělý termočlánek

Podstatou umělého termočláneku je přímé umístění termočláneku do místa řezu (měření teploty). S pomocí těchto dvou cizích vodičů lze měřit teplotu v různých místech nástroje i obrobku, kromě stykových ploch břitu s třískou a plochou řezu. Nejčastěji se používá k měření teploty na břitu nástroje (obr. 8.5).



Obr. 8.5 Schéma zapojení umělého termočláneku

Upravený a izolovaný termočlánek se vloží na dno otvoru v nástroji. Vlastní zabudování termočláneku do nástroje je poměrně složité a lze jen obtížně určit přesnou polohu umístění měřicího spoje termočláneku. Tato poloha zároveň mění i podmínky vedení tepla a často znehodnocuje obráběcí nástroj.



Obr. 8.6 Umělý termočlánek pro nástroj s vyměnitelnou břitovou destičkou

Proto se častěji používá nástrojů s vyměnitelnou břitovou destičkou (slnutý karbid nebo rychlořezná ocel). Termočlánek je stabilně zabudovaný v nástroji a snímá teplotu na dolní ploše břitové destičky (obr. 8.6).

Tab. 8.2 Obvykle používané kombinace umělých termočláneků a jejich vlastnosti

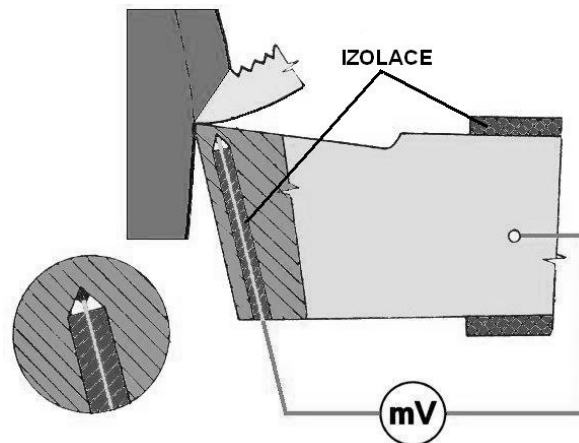
označení	+ přívod	- přívod	teplotní rozsah v (°C)	rozsah v (mV)
J	Fe	Cu – Ni	-210 °C - 1200 °C	-8,1 – 69,5
K	Ni - Cr	Ni - Al	-270 °C – 1372 °C	-6,4 – 54,9
T	Cu	Cu – Ni	-270 °C – 400 °C	-6,2 – 20,8
R	Pt (13%) – Rh (13%)	Pt	-210 °C - 1200 °C	-0,2 – 21
G	W	W (26%) – Re (26%)	-50 °C – 1768 °C	0 – 38,5
D	W (3%) – Re (3%)	W (25%) – Re (25%)	0 °C - 2320 °C	0 – 39,5
E	Ni – Cr	Cu - Ni	0 °C - 2320 °C	-9,8 – 76,4



Pro izolaci, která je velmi důležitým článkem, se nejčastěji používají skleněné, popř. keramické kapiláry. Srovnávací spoj je umístěn na svorkách milivoltmetru a je udržován na teplotě okolí. Výhodou těchto termočlánků je známost charakteristiky závislosti termonapětí na teplotě (normalizované termočlánky). Toto nám umožňuje stanovit teplotu přímo ve stupních a odpadne tím pracné a složité cejchování. Nejčastěji používané kombinace a jejich vlastnosti jsou uvedeny v tab. 8.2.

### Poloumělý termočlánek

Při poloumělém termočlánku tvoří jeden vodič termočlánku materiál nástroje nebo obrobku a druhý cizí vodič je vodivě spojený v místě řezu. Na rozdíl od umělých termočlánků jsou více použitelné vzhledem k malým rozměrům cizího vodiče, který lze snáze umístit do místa měření. Jeho využití závisí na možnostech umístění izolovaného vodiče do místa řezu a jeho vodivém spojení s materiálem obrobku nebo nástroje. Schéma zapojení je na obr. 8.7. Při řezání deformuje odcházející tříska místo řezu a vytváří tak měřicí spoj termočlánku spolu s břitem nástroje. Tohoto se dá s výhodou využít při stanovení teploty v oblasti styku třísky s čelem nástroje. Při měření teplotních polí na čele nástroje se používá rozmístění několika cizích vodičů systematicky rozmístěných po čele nástroje. Nástroj a obrobek musí být elektricky odizolován.

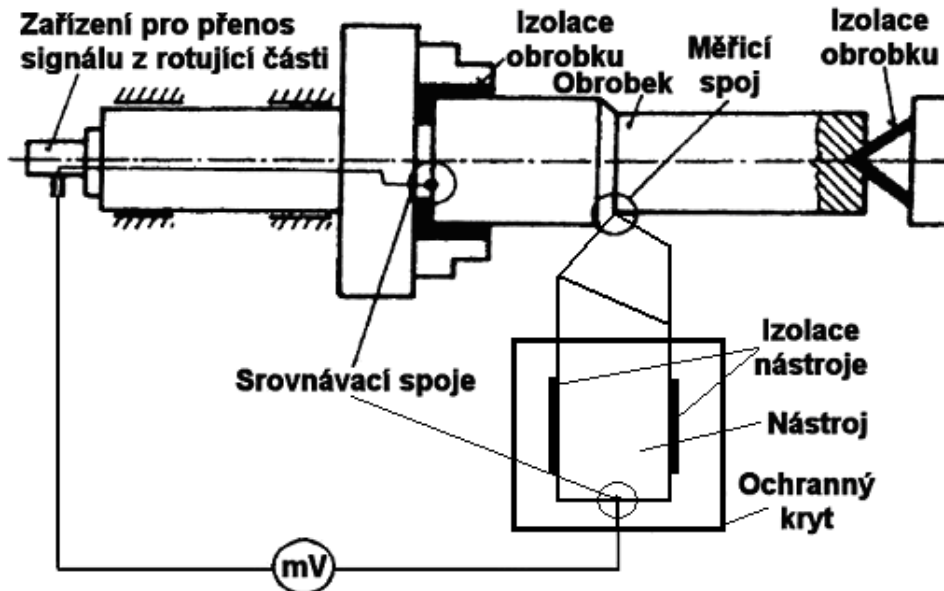


Obr. 8.7 Schéma zapojení poloumělého termočlánku

### Přirozený termočlánek

Přirozený termočlánek, jak název napovídá, je bez přídavného cizího vodiče. Jedním z vodičů je materiál nástroje a druhým materiál obrobku. Měřicí spoj je přímo v místě styku břitu nástroje s obrobkem, tzn. na ploše styku třísky s čelem a hřbetu s plochou řezu. Termoelektrické napětí je potom úměrné střední teplotě v oblasti styku – teplotě řezání. Na ploše styku vzniká soustava elementárních termočlánků s různou teplotou v jednotlivých bodech. Výsledné napětí je proto aritmetickým průměrem termoelektrických napětí těchto mikročlánků. Schéma měření je na obr. 8.8. Nutnou podmínkou je vzájemné odizolování nástroje a obrobku. Při běžných měřeních většinou postačuje odizolování nástroje od obráběcího stroje, ale pro zvýšení spolehlivosti a přesnosti měření je účelné odizolovat od stroje i obrobek. Nevýhodou přirozených termočlánků je nutnost obtížného a zdlouhavého cejchování systémů pro každou dvojici materiálů nástroje a obrobku.



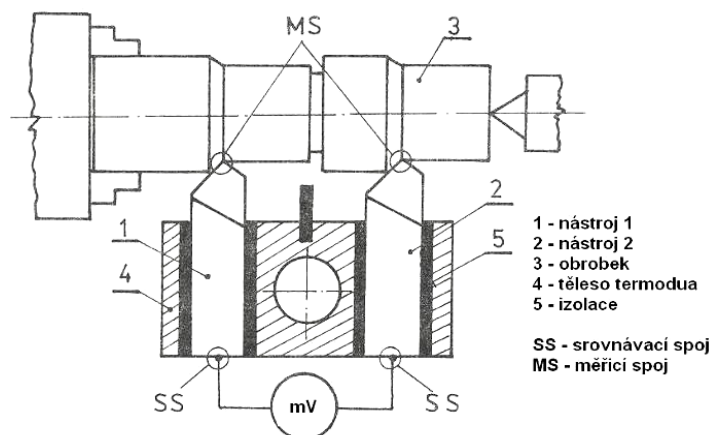


Obr. 8.8 Schéma zapojení přirozeného termočlánku

### Termoduo

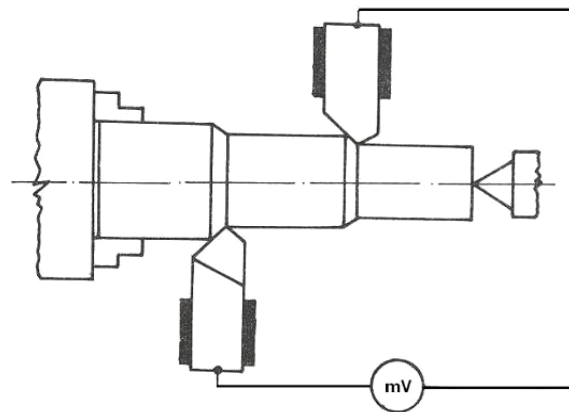
Princip termodua spočívá v současném záběru dvou nástrojů z různých materiálů, stejné geometrie, při stejných řezných parametrech, které spolu tvoří vlastní termočlánek. Uspořádání a schéma je na obr. 8.9. Obráběný materiál tvoří s každým z nástrojů měřicí spoj a slouží jako tepelný a elektrický vodič. Materiály obou nástrojů se musí lišit chemickým složením, aby výsledné termoelektrické napětí bylo dostatečně velké a spolehlivě měřitelné. S výhodou lze použít dvojici nástrojů z rychlořezné oceli a slinutého karbidu. Podmínkou pro správnou funkci je odizolování obou nástrojů od stroje a mezi sebou. Výhodou této metody je, že po ocejchování dvojice řezných materiálů lze stanovit teplotu řezání pro jakýkoliv elektricky vodivý materiál obrobku.

Nevýhodou termodua v uspořádání na obr. 8.9 je velká spotřeba obráběného materiálu, omezená délka obrábění daná roztečí obou nožů spolu s tuhostí upnutí a nutnost úpravy polotovaru na současný záběr obou nožů. Do jisté míry se tyto nedostatky dají eliminovat uspořádáním s noži proti sobě (obr. 8.10). I přes obrábění různými rychlostmi je chyba vzniklá při použití běžných hloubek řezu téměř zanedbatelná. Výhodou je nastavení minimální rozteče obou nástrojů a možnost měřit i na menších průměrech obrobků při relativně malé spotřebě materiálu. Toto uspořádání se dá využít i při stanovení obrobiteľnosti materiálů na základě krátkodobé zkoušky podle teploty řezání.



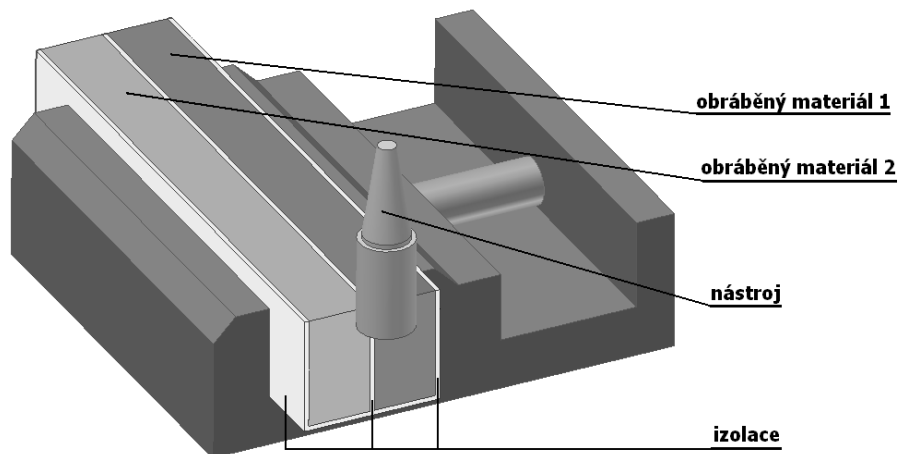
Obr. 8.9 Schéma zapojení termodua





Obr. 8.10 Termoduo s uspořádáním nástrojů proti sobě

Tyto druhy termodua jsou použitelné pouze pro soustružení. Pokud chceme stejnou metodu použít i při jiných způsobech obrábění (frézování, vrtání, a pod.), je nutné konstrukci upravit. Celá úprava spočívá v záměně funkce obrobku a nástroje. Obrábí se jedním nástrojem dva nástrojové materiály různého chemického složení (obr. 8.11).



Obr 8.11 Schéma termodua pro frézování stopkovou frézou

Důležitou podmínkou je nejen vzájemné odizolování obrobků, ale i obrobků od celé soustavy. Důvodem je zamezení vzniku parazitních termočlánků. Tyto termočlánky mohou vznikat i v důsledku špatného odchodu třísky z místa řezu. Proto je nutné věnovat tomuto problému patřičnou pozornost.

### Cejchování termočlánků

Pro stanovení závislosti termoelektrického napětí na teplotě je nejprve nutné konkrétní termočlánek ocejchovat. Tato cejchovní křivka nám potom umožní převést naměřené hodnoty termoelektrického napětí v mV na teplotu ve °C. Cejchování lze provádět třemi základními způsoby:

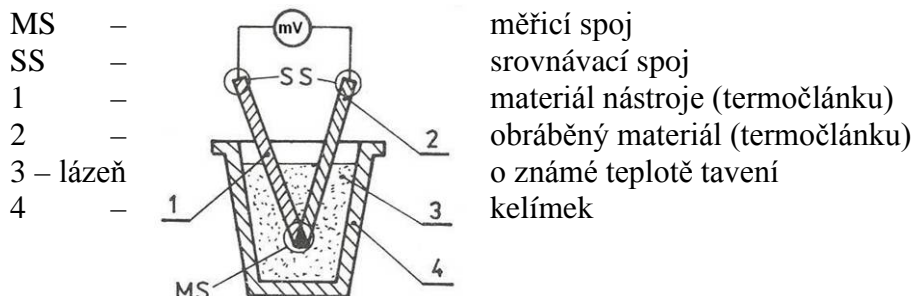
- v lázních čistých kovů a slitin;
- v elektrických pecích s teplotní regulací;
- cejchování plamenem.

Při cejchování v lázni čistých kovů a slitin se známou teplotou tavení se jedná o poměrně jednoduchý a hojně používaný způsob cejchování termočlánků. Pro cejchování je nutné vyrobit tyčinky vhodného průměru a dostatečné délky z materiálu shodného s konkrétním termočlánkem.



Cejchování se zpravidla provádí v elektrických kelímkových pískách, kdy se do lázně z materiálu o známé teplotě tavení (tuhnutí, varu) ponoří cejchovaný termočlánek, zapojený do termoelektrického obvodu (obr. 8.12).

Měřicí spoj je obvykle svařen nebo mechanicky stlačen. Srovnávací spoje je vhodné udržovat při stálé teplotě pomocí termostatu, např. v nádobě s proudící vodou nebo ledem). Používají se kovy o známé teplotě tavení (tab. 8.3).

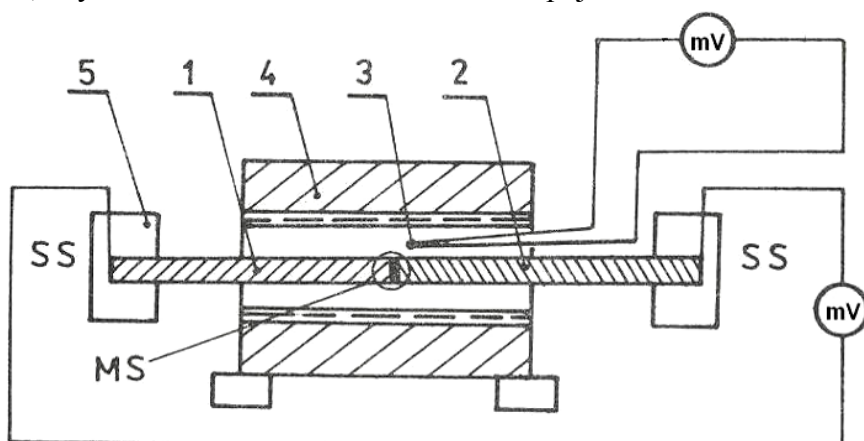


Obr. 8.12 Schéma cejchování v lázni z čistých materiálů

Tab. 8.3 Střední hodnoty elektrických napětí

Látka	Teplota tavení (°C)	Elektrické napětí (mV)
Cín	232	1,3
Olovo	327	1,95
Hliník	658	4,05
Měď	1 083	6,5

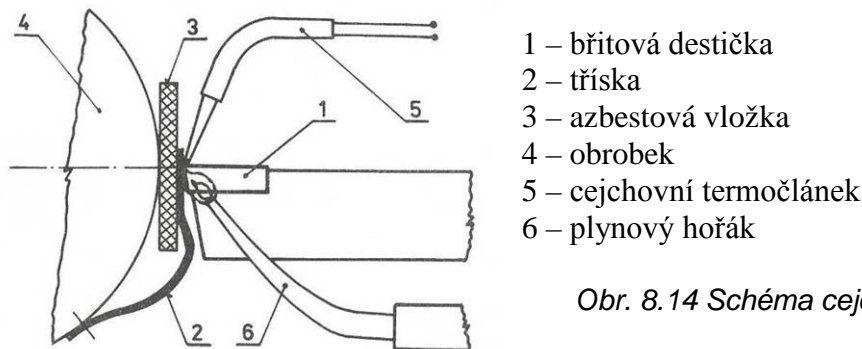
Při cejchování v elektrických pecích s teplotní regulací se používají dva termočláanky. Jeden o známé charakteristice a druhý cejchovaný z obráběného materiálu a materiálu nástroje (obr. 8.13). Při postupném zvyšování teploty se ve vhodných intervalech odečítají ve stejném okamžiku hodnoty termoelektrického napětí obou termočláneků. Je vhodné použít inertní prostředí v peci, aby se tak zabránilo oxidaci měřicího spoje.



Obr. 8.13 Schéma cejchování v elektrických pecích, MS – měřicí spoj, SS – srovnávací spoje, 1 – materiál nástroje, 2 – obráběný materiál, 3 – cejchovní termočlánek, 4 – regulační pírka, 5 – termostat

Při cejchování plamenem je měřicí spoj vytvořen přitlačením špičky nože k třísce odebrané z obráběného materiálu, která je od místa řezu oddělena azbestovou podložkou a vodivě spojena s obrobkem (obr. 8.14). Do místa styku je umístěn i cejchovní termočlánek se známou termoelektrickou charakteristikou. Stálá teplota je udržována plynovým hořákem.

Výstupní hodnoty termoelektrických napětí se odečítají ve stejný okamžik na příslušných milivoltmetrech. Tento způsob cejchování je relativně jednoduchý a lehce realizovatelný, ovšem při nižší přesnosti a používá se většinou pouze pro orientační cejchování. Detailní popis této metody je uveden v literatuře.



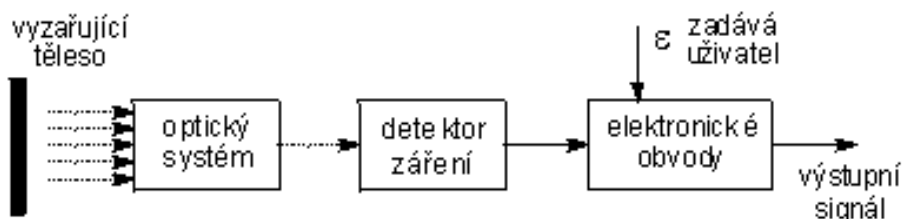
Obr. 8.14 Schéma cejchování plamenem

### Pyrometry

Pyrometry jsou bezdotyková měřidla k měření teploty fungující na principu tepelného záření, které vysílají měřené objekty do chladnějšího okolí. Při experimentálním studiu obrábění se jich využívá především k měření povrchové soustavy stroj – nástroj – obrobek. Používají se dva základní druhy:

- úhrnné pyrometry (radiační nebo také širokopásmové);
- fotoelektrické pyrometry (pásmové nebo také úzkopásmové).

Úhrnné pyrometry využívají celkového tepelného záření, které vyzařuje těleso v celém spektru vlnových délek. Tepelné záření je soustředěno optickou soustavou na teploměrné čidlo (přijímač, obr. 8.15). Tím bývá nejčastěji termočlánek nebo odporový teploměr. Termoelektrické napětí se měří zpravidla milivoltmetrem se stupnicí, která je kalibrována přímo ve °C.



Obr. 8.15 Schéma úhrnného pyrometru

Všechny radiační pyrometry pracují s malými chybami pouze v případech, kdy emisivita  $\varepsilon \rightarrow 1$ . Tuto podmínku splňují dobře uzavřené prostory, objekty bez lesku apod. Aby pyrometr měřil teplotu zářiče správně, musí být zaručeno, že na přijímač záření dopadají jen tepelné paprsky zářiče. Zdrojem častých chyb je rušivě působící denní světlo; např. těleso ozářené sluncem nelze měřit.

Ke zpracování signálu se u současně vyráběných přístrojů využívá moderních elektronických obvodů řízených mikroprocesorem. Do paměti se ukládají údaje o maximální a minimální měřené teplotě, střední hodnota teploty a údaj o rychlosti změny teploty. Na displeji je k dispozici měřený údaj i hlášení o poruchových stavech.



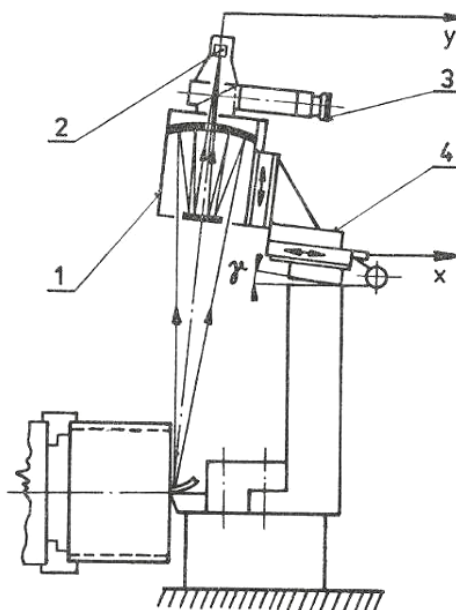


Obr. 8.16 Optický pyrometr MAURER KTR 1085 s číslicovým výstupem

Při měření fotoelektrickými pyrometry se využívá pouze určité šíře spektra tepelného záření, který je vymezen optikou, filtry a spektrální citlivostí fotoelektrického čidla. Jako čidla se používají fotonky, fotočlánky, fotodiody, apod. Výhodou těchto měřidel je velmi rychlá reakce na změnu teploty a dostatečná přesnost a citlivost v daném spektrálním pásmu.

Pásmových pyrometrů lze s výhodou použít tam, kde mezi měřeným objektem a pyrometrem jsou plyny s absorpčními pásmy v oblasti infračerveného záření ( $\text{CO}_2$ , vodní pára apod.). V tomto případě se používá pyrometrů s takovými čidly, kdy se absorpce neuplatňuje. Při obrábění se těchto pyrometrů využívá především pro měření teploty na povrchu třísky (obr. 8.17), břítu nástroje nebo povrchu obrobku.

Do této skupiny pyrometrů můžeme zařadit i jasový pyrometr (obr. 8.18), u něhož se využívá k měření teploty úzkého spektrálního pásma v oblasti viditelného záření. Přístroj pracuje kompenzační měřicí metodou, při níž se porovnává záře měřeného objektu se září srovnávacího zdroje při určité vlnové délce, vymezené barevným filtrem. Provádí-li se porovnávání záře subjektivně, tzn., že čidlem pyrometru je lidské oko, hovoříme o optickém pyrometru.



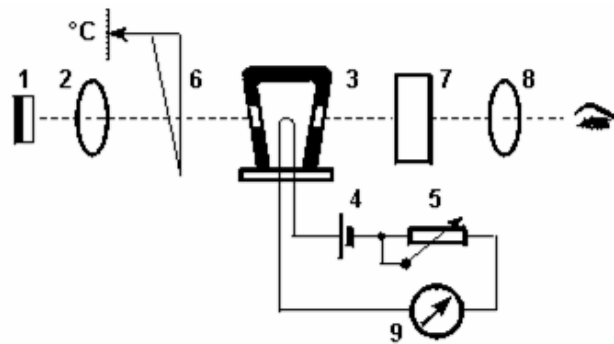
Obr. 8.17 Schéma měření teploty třísky pásmovým pyrometrem (1 – optická soustava, 2 – fotoodpor, 3 – okulár, 4 – posuvový mechanismus s odměřováním, x, y – výstupní signály)

Obraz měřeného objektu je vytvářen objektivem v rovině vlákna pyrometrické žárovky. Wolframové vlákno žárovky je žhaveno proudem z baterie, jehož velikost se reguluje reostatem. Pozorovatel sleduje obraz objektu a vlákno žárovky okulárem přes červený filtr, který vymezuje vlnovou délku. Záře vlákna žárovky se reguluje až do okamžiku, kdy vlákno svou září splyne se září pozorovaného objektu. Měřicí přístroj zařazený v obvodu žárovky je opatřen teplotní stupnicí. U některých typů optických pyrometrů je žhavicí proud vlákna konstantní a porovnání září se provádí zasouváním šedého klínu. Zasunutí šedého klínu je funkcí měřené teploty.



- 1 – měřený objekt
- 2 – objektiv
- 3 – pyrometrická žárovka
- 4 – baterie
- 5 – reostat
- 6 – šedý klín
- 7 – červený filtr
- 8 – okulár
- 9 – měřicí přístroj

Obr. 8.18 Jasový pyrometr

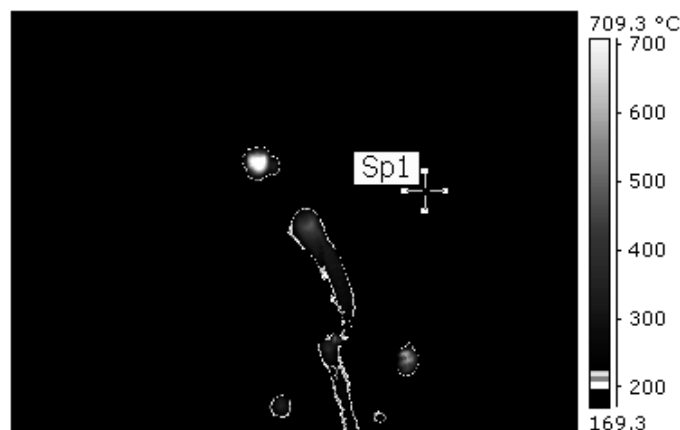


### 1.3.4 MĚŘENÍ POMOCÍ TERMIVIZE

V současnosti existuje řada dalších a přesnějších metod měření teploty při řezání. Vyžadují však moderní měřicí zařízení. Značně jsou rozšířeny termografické (termovizní) systémy, využívané ke snímání, zobrazování a vyhodnocování teplotních polí v mnoha oborech činnosti. Významné je i jejich použití ke sledování výrobních procesů a technologických zařízení prostřednictvím pevně (stabilně) zabudovaných termovizních systémů. On-line sledování míst s kritickou teplotou je přínosem nejen při sledování a řízení technologických procesů a zařízení, ale umožňuje také následně dokumentovat kvalitu výrobku.

Z hlediska studia teplotních jevů při procesu obrábění představuje termovize velmi přesnou a progresivní metodu v experimentálním výzkumu teplot při řezání. Předností této metody je záznam i velmi rychlé změny teploty, což je důležité především pro posouzení dynamických jevů. Uspořádání je v podstatě obdobné jako u termokamery tzn., že je termovize umístěna na suportu a objektiv zaměřen přímo do oblasti řezu. Velkou výhodou tohoto profesionálního systému je možnost vybrat si ze snímku jeden či více bodů, kde můžeme mj. zjistit okamžité teploty v místě řezu či zobrazit celé teplotní pole obráběcího nástroje (obr. 8.19).

Důležitou záležitostí je správné nastavení emisivity měřeného materiálu obrobku. V odborné literatuře se vyskytuje velké množství údajů o emisivitě oceli. Literární prameny zmiňující se o emisivitě oceli jen mlhavě informují o typu oceli – většinou se autoři omezují na udání základní třídy. Např. emisivita použité oceli 12 060 je udávána v rozmezí 0,85 – 0,92.



Obr. 8.19 Analýza místa řezu po úpravě v ThermoCam QuickView 1.3

### 1.3.5 MĚŘENÍ POMOCÍ TEPLTNÍCH INDIKÁTORŮ

Teplotní indikátory jsou termochemické teploměry, kterými se dají určovat místa se stejnou teplotou, tzv. izotermy. Po nanesení těchto látek na povrch zkoumané součásti nastává po dosažení její určité teploty ke změně barvy, či skupenství. Teplotní pole lze tak získat poměrně rychle, bez náročných příprav na měření a bez poškození nástroje či obrobku.





Nevýhodou tohoto měření je nemožnost získání přehledu o teplotě v místě styku obráběcího nástroje s třískou a výroba těchto látek je pouze pro malý rozsah teplot. Mezi nejpoužívanější indikátory patří:

- teploměrné barvy (thermocolors);
- teploměrné tužky (thermocrayons);
- teploměrné křídly nebo vosky.

Teploměrné barvy jsou chemické nátěry, které při dosažení určité teploty (tzv. teplota zvratu) změni svou původní barvu. Ve formě prášku se před použitím rozmíchají v alkoholu. Mohou být také v tekutém stavu, případně jako sprej. Nanášejí se před ohřevem. Teplotní rozsah bývá od 40 °C do 1400 °C. V místě teplotního zvratu se změni barevná stopa. Teploměrné tužky na rozdíl od barev se nanášejí obvykle na ohřátý povrch. Bývají jednozvratné nebo dvojezvratné (dosahují dvou barevných změn při dvou teplotách zvratu). Teplotní rozsah bývá až do 1400 °C.

Teploměrné vosky a křídly při dosažení určité teploty měni pevné skupenství na kapalné, popřípadě změni i svou původní barvu. Nanášejí se taktéž na ohřátý povrch a dodávají se v sadách pro určitý rozsah teplot.

## 1.4 ŘEZNÉ PROSTŘEDÍ

Prostředí, které vzniká v místě řezu, má zásadní vliv na kvantitativní, kvalitativní a ekonomické parametry celého řezného procesu. Řezné prostředí je vytvářeno procesními médii, mezi která patří:

- pasty;
- kapaliny;
- plyny;
- mlhy.

Každé procesní medium musí splňovat několik základních účinků, a to chladicí, mazací a čistící účinek. Mezi další specifické požadavky, lze zařadit provozní stálost, ochranný účinek, zdravotní nezávadnost a přiměřené provozní náklady.

### 1.4.1 SPECIFICKÉ POŽADAVKY NA PROCESNÍ MÉDIA

#### Chladicí účinek

Chladicím účinkem se rozumí schopnost řezného média odvádět teplo z místa řezu. Tuto schopnost má každé médium smáčecí povrch kovů, za předpokladu, že mezi povrchem obrobku a médiem existuje tepelný spád. Odvod tepla vzniklého při řezání se uskutečňuje tím, že řezné médium obklopuje nástroj, třísky i obrobek a přejímá část vzniklého tepla. Důsledkem chladicího účinku je snížení teploty řezání, což má příznivý vliv na opotřebení a trvanlivost nástroje i na jakost povrchové vrstvy obrobenej plochy (nižší hodnoty zbytkových napětí). Chladicí účinek řezného média závisí na jeho smáčecí schopnosti, na výparném teple, rychlosti vypařování za určitých teplot, tepelné vodivosti, měrném teple a průtokovém množství. Čím budou tyto veličiny větší, tím bude chladicí účinek řezného média vyšší. Výparné teplo zvětšuje chladicí účinek, ale přílišné odpařování řezného média není žádoucí.

#### Mazací účinek

Mazací účinek je umožněn tím, že médium vytváří na povrchu obrobku a nástroje vrstvu, která brání přímému styku kovových povrchů a snižuje tření, ke kterému dochází mezi nástrojem a obrobkem. Vzhledem k vysokým tlakům, které vznikají při řezání, zde nemůže



dojít ke kapalnému tření. Může ale vzniknout mezní tření, má-li řezné médium velkou afinitu ke kovu, nebo váže-li se s materiálem obrobku chemicky, v mikroskopické povrchové mezní vrstvě. Mazací účinek znamená zmenšení řezných sil, zmenšení spotřeby energie a také zlepšení jakosti obrobeného povrchu. Mazací účinek řezného média se uplatní zejména u dokončovacích obráběcích operací, ale také při protahování, výrobě závitů nebo výrobě ozubení.

Mazací schopnost řezného média je závislá na viskozitě a na pevnosti vytvořené mezní vrstvy. Negativním důsledkem vyšší viskozity je omezení průniku média mezi třecí plochy, zhoršení jeho proudění a snížení odvodu tepla. Viskóznější médium ve větším množství ulpívá na třískách, čímž dochází k jeho značným ztrátám. Pevnost mazací vrstvy se zvyšuje přísadami povrchově aktivních látek, které napomáhají pronikání do trhlin deformovaného kovu a usnadňují tak vlastní proces řezání.

### **Čistící účinek**

Čistící účinek řezného média spočívá zejména v odstraňování třísek z místa řezu. Čistící účinek je významný zejména při broušení (zlepšení řezivosti broušícího kotouče v důsledku vyplavování zanesených pórů, zabránění slepování částic třísky a usnadnění jejich usazování), řezání závitů nebo vrtání hlubokých děr.

### **Provozní stálost**

Měřítkem provozní stálosti řezného média je doba jeho výměny. Dlouhá doba mezi jednotlivými výměnami média je podmíněna tím, aby se jeho vlastnosti po celou tuto dobu neměnily. Stárnutí řezného média olejového typu se projevuje tvořením pryskyřičnatých usazenin, které mohou způsobit i poruchu stroje. Produkty stárnutí mají vliv i na zhoršování funkčních vlastností média, jeho rozklad, zmenšení mazacího účinku, ztrátu ochranných schopností, korozi a hnilobný rozklad. Provozní stálost řezného média závisí na jeho fyzikálních a chemických vlastnostech a na pracovní teplotě.

### **Ochranný účinek**

Ochranný účinek řezného média se projevuje tím, že nenapadá kovy a nezpůsobuje korozi. Tento požadavek je důležitý proto, aby nebylo nutné výrobky mezi jednotlivými operacemi konzervovat a aby byl obráběcí stroj chráněn před korozi. Pro zvýšení antikorozního účinku jsou do řezného média přidávány pasivační přísady. Dalším důležitým požadavkem je, aby řezné médium nerozpouštělo nátěry obráběcích strojů a nebylo agresivní vůči gumovým těsněním.

### **Zdravotní nezávadnost**

Požadavek na zdravotní nezávadnost řezného média vychází z toho, že při práci na obráběcích strojích s ním obsluhující pracovník přichází do přímého styku. Proto médium nesmí být zdraví škodlivé, nesmí obsahovat látky dráždící sliznici a pokožku, nesmí být jedovaté a nesmí zamořovat ovzduší nepříjemným zápachem. Jeho zdravotní nezávadnost závisí také na jeho provozní stálosti a čistotě. Přitom je nutné v provozu dbát na to, aby byla zajištěna základní hygienická opatření, jako je větrání (někdy je nutné, aby vznikající páry byly odsávány), umývání, preventivní ochrana pokožky apod.

### **Provozní náklady**

Přiměřené provozní náklady souvisí především se spotřebou řezného média. Při rozboru nákladů je nutné nejdříve posoudit jejich vliv na proces obrábění (průběh plastických deformací v zóně řezání, opotřebení, trvanlivost, ostření nebo výměna nástroje, změny struktury povrchu obrobené plochy, spotřeba energie). Po tomto rozboru musí následovat hodnocení řezného média s ohledem na jeho provozní stálost, spotřebu, výměnu a náklady na



likvidaci. Jedině podrobný technicko-ekonomický rozbor může rozhodnout o vhodnosti určitého druhu řezného média. Hodnocení podle cenových rozdílů je sice jednoduché, ale zcela nedostačující, protože cena řezného média není tím hlavním parametrem, který by rozhodujícím způsobem ovlivňoval ekonomii obrábění.

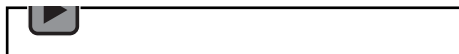
## 1.4.2 ŘEZNÉ KAPALINY

Řezné kapaliny lze členit na kapaliny s převažujícím chladicím účinkem a kapaliny s převažujícím mazacím účinkem. Toto rozdělení však přesně nevystihuje sortiment kapalin, které jsou v současné době na trhu. Stále více se totiž projevuje snaha zvyšovat mazací účinky i u řezných kapalin s převažujícím chladicím účinkem. Všechny moderní druhy řezných kapalin tento požadavek plní, čímž je prakticky rozdíl mezi oběma skupinami stírán. Řezné kapaliny se rozdělují na vodní roztoky, emulzní kapaliny, mastné oleje, zušlechtěné řezné oleje, rostlinné oleje (ekologicky nezávadné) a syntetické kapaliny. Mezi druhy řezných (procesních) kapalin můžeme zařadit:

- vodní roztoky;
- emulzní kapaliny;
- zušlechtěné řezné oleje;
- syntetické a polysyntetické kapaliny.



Audio 1.3 Řezné kapaliny



### Vodní roztoky

Vodní roztoky jsou nejjednodušší a nejlevnější řezné kapaliny, neposkytují však žádné další výhody. Voda, která je jejich základem, vyžaduje řadu úprav - změkčování a přidávání přísad proti korozi (kalcinová soda trinatriumfosfát, triethanolamin), pro zlepšení smáčivosti a proti pěnovosti. Vodní roztok musí být vždy alkalický. U těchto kapalin vzniká nebezpečí rozmnožování anaerobních bakterií, které způsobují tvorbu kalů a nepříjemný zápach. Vodní roztoky mají velmi dobrý chladicí a čistící účinek, ale téměř žádný mazací účinek.

### Emulzní kapaliny

Emulzní kapaliny tvoří disperzní soustavu dvou vzájemně nerozpustných kapalin, z nichž jedna tvoří mikroskopické kapky, rozptýlené v kapalině druhé (olej ve vodě). Aby toto bylo umožněno, je třeba do této soustavy přidat ještě třetí složku, tzv. emulgátor zmenšující mezipovrchové napětí emulgovaných kapalin, stabilizující emulzi a zabraňující koagulaci jemně rozptýlených částic oleje ve vodě. Funkce emulgátoru je podmíněna tím, že některé jeho částice mají na jednom konci silný elektrický náboj, zatímco druhý, neutrální konec je rozpustný v oleji. Záporný náboj polární části molekuly způsobuje, že olejové částice jsou elektrostatickou silou vzájemně odpuzovány, což brání jejich spojování.

Emulzní kapaliny spojují do určité míry přednosti vody a mazacích olejů. Chladicí účinek emulzní kapaliny závisí na koncentraci emulze, s jejímž nárůstem klesá. Schopnost ochrany proti korozi závisí na tom, jaké hodnoty pH emulze dosahuje (pro slitiny na bázi železa postačuje hodnota  $\text{pH} = 8 \div 9$ ), ale v daleko menší míře než u vodných roztoků. Emulzní kapaliny jsou nejčastěji používanými řeznými kapalinami, tvoří asi 80 % jejich celkového objemu.



### Zušlechtěné řezné oleje

Jsou to kapaliny na bázi minerálních olejů. Přísady, které se používají (mastné látky, organické sloučeniny a pevná maziva), zvyšují jejich tlakovou únosnost a mazací vlastnosti. Mastné látky jsou zmydelnitelné mastné oleje, mastné kapaliny nebo syntetické estery. Tyto přísady zvětšují přilnavost oleje ke kovu a zlepšují jeho mazací schopnosti, ne však za extrémních tlaků. Organické sloučeniny jsou vytvořeny na bázi síry, chloru, nebo fosforu. Všechny tyto látky se osvědčily jako vysokotlaké přísady. Na povrchu předmětů vytvářejí vrstvičku kovových mýdel, která zabraňují svařování a usnadňují kluzný pohyb troucích se ploch. Sloučeniny s chlorem zmenšují tření, ale jejich účinnost klesá při teplotách nad 400°C. Sloučeniny s fosforem mají vyšší účinek a jako nejúčinnější se projevíly kombinace sloučenin síry, chloru a fosforu.

Pevná maziva, která se používají jako přísady do řezných olejů, působí při řezání navíc mechanickým účinkem. Svou afinitou ke kovu vytvářejí mezní vrstvu, odolnou proti tlakům a zlepšují mazací schopnosti oleje. Mezi pevná maziva patří grafit a siričkatý molybden. Jejich nevýhodou je, že se v kapalinách nerozpouští a musí se proto udržovat v rozptýleném stavu.

### Syntetické a polysyntetické kapaliny

Tento druh řezných kapalin se vyznačuje velkou provozní stálostí. Většinou jsou rozpustné ve vodě a mají dobré chladicí, mazací a ochranné účinky.

Syntetické řezné kapaliny neobsahují minerální oleje, ale jsou složeny z rozpouštědel - glykolů, které ve vodě emulgují, nebo se rozpustí. Glykoly jsou průsvitné, takže umožňují sledovat průběh obráběcího procesu.

Aplikace syntetických řezných kapalin má proti kapalinám na bázi oleje ekonomické výhody a navíc zajišťuje rychlé odvádění tepla, dobrý čistící účinek a jednoduchou přípravu. V syntetických řezných kapalinách je možné rovněž rozptýlit oleje, čímž vznikají polysyntetické řezné kapaliny, které mají příznivější mazací schopnosti. V polysyntetických kapalinách jsou olejové částice mnohem menší než v emulzích.

## 1.4.3 PŘÍVOD ŘEZNÉ KAPALINY DO MÍSTA ŘEZU

Způsob přívodu řezné kapaliny do zóny řezání významně ovlivňuje parametry řezného procesu, zejména trvanlivost břitů nástroje a jakost obrobené plochy.

### Standardní chlazení

Tento způsob přívodu řezné kapaliny nevyžaduje žádnou úpravu přívodního potrubí a vystačí se standardním zařízením, dodávaným výrobcem obráběcího stroje. Toto zařízení je tvořeno nádrží na řeznou kapalinu, čerpadlem a rozvodovým potrubím. Množství dodávané řezné kapaliny je dáno typem čerpadla a škrcením průtoku výstupním kohoutem.

### Tlakové chlazení

Při tlakovém chlazení je řezná kapalina přiváděna do místa řezu pod vysokým tlakem. Průměr výstupní trysky bývá 0,3 ÷ 1,0 mm, tlak 0,3 ÷ 3,0 MPa. Řezná kapalina je přiváděna na břit nástroje zespodu, přímo do místa řezu. Tento způsob chlazení je vhodný tam, kde vzniklé teplo má prokazatelný nepříznivý vliv na trvanlivost nástroje. Množství přiváděné kapaliny se pohybuje v rozmezí 0,5 ÷ 2,0 litrů za minutu. Jedním z nedostatků tohoto způsobu je, že se řezná kapalina rozstříkuje a tvoří mlhu a proto je třeba pracovní prostor stroje uzavřít, aby se zabránilo znečištění pracovního prostředí.

### Podchlazování řezné kapalin

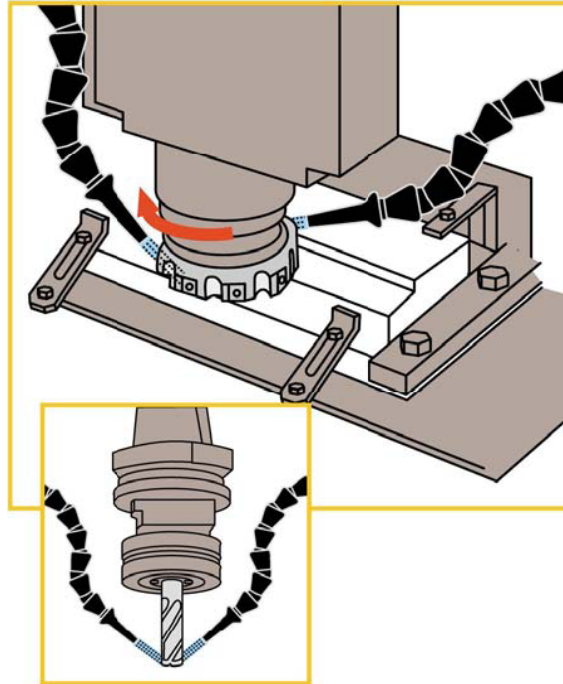
Podchlazování řezné kapaliny na teplotu nižší než je teplota okolí přispívá ke zvýšení trvanlivosti nástrojů. Běžné druhy řezných kapalin mohou být při zachování mazacích



vlastností podchlazeny na  $5 \div 7 \text{ }^\circ\text{C}$ , oleje potom na  $15 \div 20 \text{ }^\circ\text{C}$ . Podchlazení na nižší teploty je omezeno stálostí řezné kapaliny u emulzí a houstnutím u řezných olejů. Snížení teploty řezné kapaliny pod bod mrazu může přinést další zvýšení výkonu obrábění, je však nutné použít řeznou kapalinu speciálního složení.

### Chlazení řeznou mlhou

Řezná kapalina je v tomto případě rozptýlena tlakem vzduchu vytékajícího z trysky rychlostí až  $300 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  a nasměrována přímo na řeznou část nástroje, před jeho najetím do řezu. Velmi dobrého odvodu tepla z místa řezu se dosáhne tím, že rozpínající se vzduch obsahuje částičky řezné kapaliny a má tak větší schopnost přejímat vzniklé teplo.

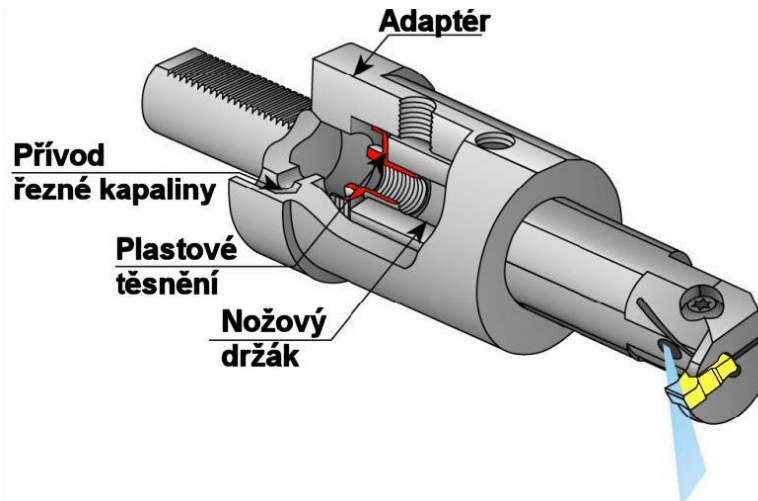


Obr. 9.1 Chlazení mlhou při frézování

### Vnitřní chlazení

Vnitřní chlazení přináší výrazné zvýšení výkonu obrábění, umožňuje zvýšení řezné rychlosti o 5 až 15 %. Při soustružení je tato metoda vhodná pro nástroje s vyměnitelnými břitovými destičkami ze slinutých karbidů.

U vrtáků je vnitřní chlazení upraveno tak, že je řezná kapalina přiváděna centrálními otvory v tělese nástroje až do místa řezu. Mimo vrtáků s vyměnitelnými břitovými destičkami je vnitřní chlazení používáno i u klasických šroubovitých vrtáků vyrobených z monolitních SK i rychlořezné oceli. Tohoto způsobu chlazení se též využívá při vrtání hlubokých děr a vrtání těžkoobrobitelných materiálů. Zvýšení tlaku řezné kapaliny, přiváděné do místa řezu vede ke zvýšení výkonu obrábění a případně k lepšímu odvodu třísek.



Obr. 9.2 Soustružnický nůž s vnitřním chlazením



Obr. 9.3 Vrták s VBD s vnitřním chlazením

#### 1.4.4 PLYNNÉ ŘEZNÉ PROSTŘEDÍ

Plynné látky se jako řezná média běžně nepoužívají, protože mají relativně nízký chladicí účinek, problematický čistící účinek a žádný mazací účinek. Některé obráběné materiály, případně nástrojové materiály se však chladí vzduchem, přiváděným pod tlakem do místa řezu. U prvních slinutých karbidů a řezných keramik bylo povoleno výhradně chlazení vzduchem, až na základě pozdějšího rozvoje technologie výroby umožnil výrobcům nástrojů doporučovat pro tyto materiály i použití řezných kapalin.

Jedním z účinných způsobů chlazení plynem je chlazení stlačeným  $\text{CO}_2$  (tenký paprsek plynu se do místa řezu přivádí pod tlakem  $0,5 \div 7,0$  MPa), doporučováno např. pro obrábění těžkoobrobitelných materiálů. Tato metoda má řadu nevýhod, k nimž patří především vysoké náklady na  $\text{CO}_2$ , jisté nebezpečí při jeho používání a nutnost dokonalého odsávání a větrání pracoviště.

Zvláštním případem aplikace plynného řezného prostředí je tzv. suché obrábění, kdy řezným prostředím je atmosférický vzduch. Rozšiřování tohoto způsobu obrábění souvisí s vývojem nových řezných materiálů, které nevyžadují chlazení a přesto jsou schopny výkonně a efektivně obrábět. Je ovšem otázkou, zda-li se to dá ve své podstatě považovat za chlazení.



## 2 KONTROLNÍ OTÁZKY

- Jaké rozeznáváme typy třísek?
- Jak vypočítáme objemový součinitel třísek?
- Popište stručně vznik třísky.
- Jaké jsou zdroje tepla při obrábění?
- Kam odchází teplo při obrábění?
- Napište tepelnou bilanci pro nástroje s definovanou geometrií.
- Jaké znáte metody měření teploty při obrábění?
- Jaké jsou druhy termočlánků pro měření teploty při obrábění?
- Popište termoduo.
- Jaké známe teplotní indikátory?
- Jaké jsou požadavky na procesní kapaliny?
- Jaké známe procesní kapaliny?
- Jakým způsobem lze přivádět procesní kapaliny do místa řezu?



### 3 PŘEDNÁŠKOVÝ TEXT SE VZTAHUJE K TĚMTO OTÁZKÁM

- 3. Tvorba a tvarování třísky
- 5. Teplo při obrábění – tepelná bilance
- 29. Řezné prostředí





## 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**



## ÚVOD DO TEORIE OBRÁBĚNÍ

---

### 4 Opotřebení rezných 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 978-80-248-3013-1



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>OPOTŘEBENÍ ŘEZNÝCH NÁSTROJŮ</b> .....	<b>3</b>
1.1	Opotřebení řezných nástrojů .....	4
1.1.1	Klasifikace typů opotřebení.....	5
1.2	Experimentální měření opotřebení .....	11
1.2.1	Přímé metody měření opotřebení.....	12
1.2.2	Nepřímé metody měření opotřebení .....	15
1.3	TRVANLIVOST, ŽIVOTNOST a řezivost nástrojů.....	15
1.3.1	Trvanlivost a životnost nástroje .....	15
1.3.2	Řezivost nástroje.....	18
1.4	obrobitelnost materiálů .....	19
1.4.1	Značení obrobitelnosti.....	20
1.4.2	Zkoušky obrobitelnosti .....	22
<b>2</b>	<b>KONTROLNÍ OTÁZKY</b> .....	<b>26</b>
<b>3</b>	<b>PŘEDNÁŠKOVÝ TEXT SE VZTAHUJE K TĚMTO OTÁZKÁM</b> .....	<b>27</b>
<b>4</b>	<b>POUŽITÁ LITERATURA</b> .....	<b>28</b>



# 1 OPOTŘEBENÍ ŘEZNÝCH NÁSTROJŮ



## OBSAH KAPITOLY:

Charakteristiky opotřebení řezných nástrojů

Měření opotřebení

Trvanlivost a životnost řezných nástrojů

Řezivost nástrojů

Obrobitelnost materiálů (značení a metody testování)



## MOTIVACE:

Při obrábění vzniká velké množství tepla, které se vyvíjí na ploše hřbetu a čela nástroje. Tepelná zatížení značně namáhají materiál břitu nástroje a v některých případech (např. při frézování) vytváří dynamický faktor, a to v okamžiku, kdy jeden břit z materiálu vystupuje a jiný do něj naopak vniká. Procesem utváření třísky, provázeném vysokým tlakem a teplotou se průběžně vytváří čistý kovový povrch, při kterém má obráběný materiál sklon k chemickým reakcím nebo k difúzním procesům.

Trvanlivost řezného nástroje lze definovat jako součet všech čistých (strojních) časů řezání, od začátku obrábění, až po opotřebení břitu nástroje na předem stanovenou hodnotu vybraného kritéria (kritérium opotřebení a jeho hodnota musí být stanoveny tak, aby vyráběný obrobek měl požadovaný tvar, rozměry a kvalitu povrchu po celou dobu trvanlivosti nástroje). Životnost nástroje je pak definována jako součet všech jeho trvanlivostí, nebo též jako celková doba funkce nástroje od prvního uvedení do činnosti až do jeho vyřazení.

Obrobitelností označujeme souhrnný vliv fyzikálních vlastností, chemického složení kovů na průběh a na ekonomické, popř. kvalitativní výsledky procesu řezání. Lze ji obecně posuzovat z hlediska vlivu materiálu obrobku na intenzitu otěru, energetické bilance procesu řezání a také jejich vlivu na proces tvorby třísky a vytváření nového povrchu na obrobku.



## 1.1 OPOTŘEBENÍ ŘEZNÝCH NÁSTROJŮ

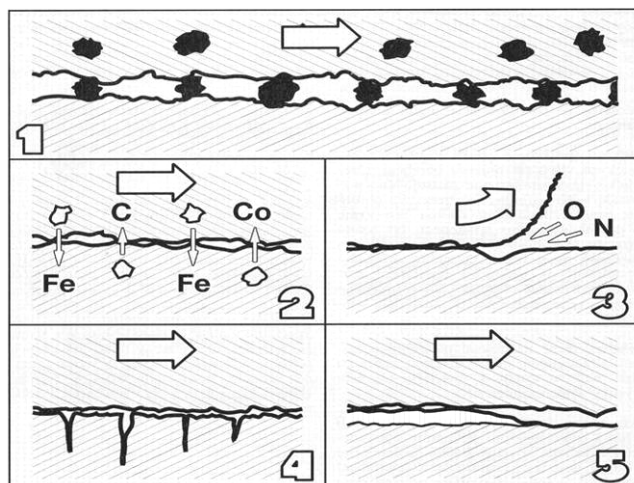
Většina obráběných materiálů obsahuje tvrdé částice různého druhu. Tyto částice nezdávka dosahují tvrdosti materiálu břitu nástroje. Dochází tak k abrazivnímu efektu.

Kombinací výše uvedených mechanických, tepelných, chemických a abrazivních faktorů (obr. 5.1) dochází ke složitému zatěžování břitu nástroje. Toto se pak projevuje opotřebením nástroje. K základním mechanismům opotřebení patří zejména:

- abraze (brusný otěr vlivem tvrdých mikročástic obráběného materiálu i mikročástic uvolněných z nástroje);
- adheze (vznik a okamžité následné porušování mikrosvarových spojů na stýkajících se vrcholcích nerovností čela a třísky, v důsledku vysokých teplot a tlaků, chemické příbuznosti materiálů a kovově čistých styčných povrchů);
- difúze (migrace atomů z obráběného do nástrojového materiálu a naopak, a z ní vyplývající vytváření nežádoucích chemických sloučenin ve struktuře nástroje);
- oxidace (vznik chemických sloučenin na povrchu nástroje v důsledku přítomnosti kyslíku v okolním prostředí);
- plastická deformace (důsledek vysokého tepelného a mechanického zatížení, kumulovaného v čase), která se může ve svém nejnepríznivějším důsledku projevit ve formě tzv. lavinového opotřebení;
- křehký lom (důsledek vysokého mechanického zatížení, např. přerušovaný řez, nehomogenity a vměstky v obráběném materiálu, atd.).



Audio 1.1 Mechanizmy opotřebení



1 – abrazivní opotřebení

2 – difusní opotřebení

3 – oxidační opotřebení

4 – statický či dynamický lom

5 – adhezní opotřebení

Obr. 5.1 Hlavní mechanismy opotřebení břitu nástrojů

Abraze a adheze jsou též obvykle označovány jako fyzikální

mechanismy opotřebení, difúze a oxidace jako chemické, všechny působí v průběhu času plynule, s tím, že časový okamžik začátku jejich působení nemusí být vždy shodný. Plastická deformace a křehký lom jsou naproti tomu mechanismy, které působí náhle, v daném okamžiku a obvykle způsobí okamžité ukončení činnosti nástroje (náhlá změna tvaru břitu nástroje, lavinové opotřebení nebo ulomení špičky). Hřbet nástroje se opotřebovává především v důsledku abraze a oxidace, čelo v důsledku adheze, difúze, abraze a oxidace. Na skutečnost, zda se nástroj bude více opotřebovávat na hřbetě nebo na čele (příp. na špičce), mají výrazný vliv i další faktory, jako je např. geometrie nástroje, druh operace (hrubování, dokončování) a v neposlední řadě i řezné podmínky (řezná rychlost, posuv, šířka záběru ostří,



řezné prostředí). V podstatě lze proces obrábění sledovat tolika způsoby, kolik signálů o svém okamžitém stavu vysílá do svého okolí.

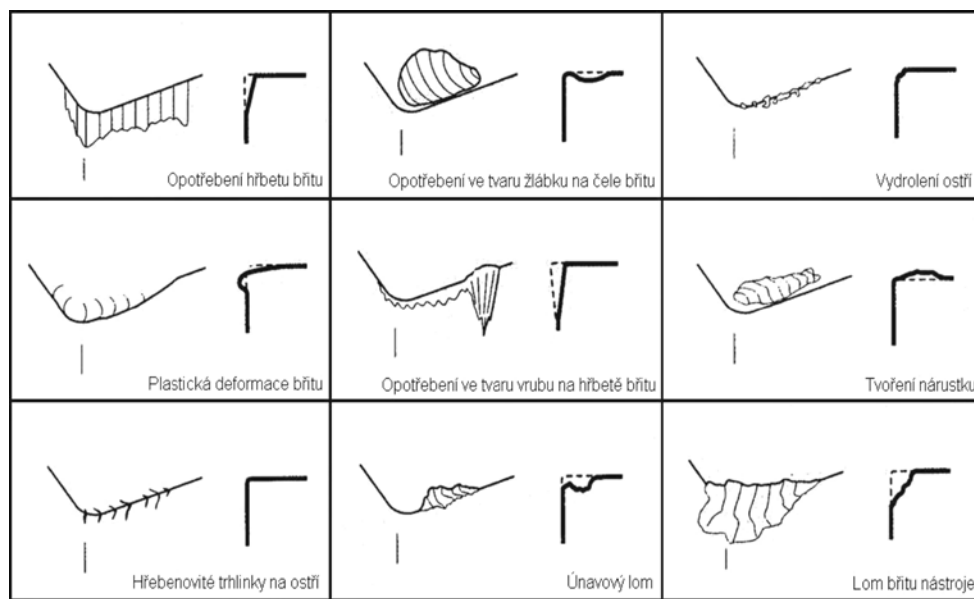
### 1.1.1 KLASIFIKACE TYPŮ OPOTŘEBENÍ

Klasifikace typů opotřebení břitu nástroje byla provedena za účelem vytvoření báze pro posouzení operací obrábění a tím i možnosti ovlivnění produktivity. Mimo to jsou pro volbu správných druhů řezných nástrojových materiálů a pro určení odpovídajících parametrů obrábění k dispozici následující kritéria obrábění:

- přesnost rozměrů;
- jakost obrobené plochy;
- kontrolovaný odchod třísky.

Pohled na břit při zvětšení a posouzení, jaká opotřebení jsou na něm viditelná, umožňuje kontrolovat vhodnost trvanlivosti, její spolehlivost a dokonce i možnost jejího prodloužení. Pro každý proces existuje optimální průběh opotřebení. Správný nástroj a odpovídající řezné podmínky, kvalifikovaná odborná pomoc, vlastní zkušenost, dobrá jakost materiálu obrobku a dobré podmínky pro obrábění jsou důležitými předpoklady pro vznik optimálního průběhu opotřebení. V tab. 5.1 je uvedena klasifikace jednotlivých typů opotřebení, tak jak je ve své literatuře uvádí firma Sandvik Coromant.

Tab. 5.1 Klasifikace druhů (typů) opotřebení

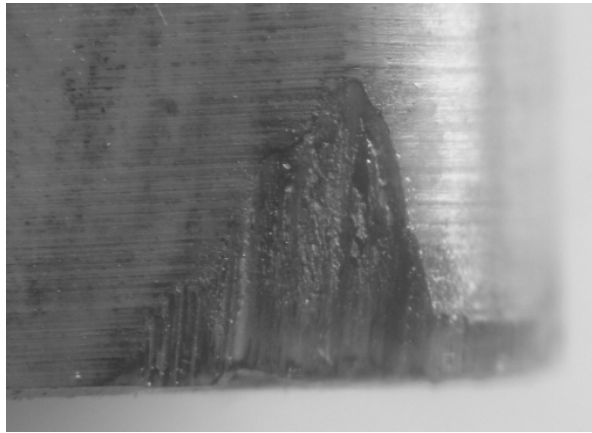


Tato část uvádí nejdůležitější formy opotřebení. Ne všechny případy lze považovat za formu pravého opotřebení. Jsou však příčinou způsobující rychlý lom destičky a proto se jim musí bezpodmínečně zabránit. Vyvážené opotřebení zajišťuje optimální trvanlivost při které je možné využít břit bezpečně, spolehlivě a s opakovatelnou přesností.

#### Opotřebení na hřbetu nástroje

Opotřebení hřbetu břitu patří mezi abrazivní formy opotřebení a projevuje se na hřbetní ploše břitu (obr. 5.2). Plochy hřbetu u hlavního ostří, vedlejšího ostří, poloměru špičky a na čelní fasetce jsou před utvářením, během utváření a po utváření třísky zvláště vystaveny působení materiálu obrobku. Opotřebení hřbetu je všeobecně obvyklým typem opotřebení. Stejněměrně se zvětšující opotřebení hřbetu je často považováno za ideální. Příliš velké opotřebení hřbetu má za následek zhoršení jakosti obrobeného povrchu, nepřesnost rozměrů a narůstání tření, které vzniká změnou geometrie břitu.

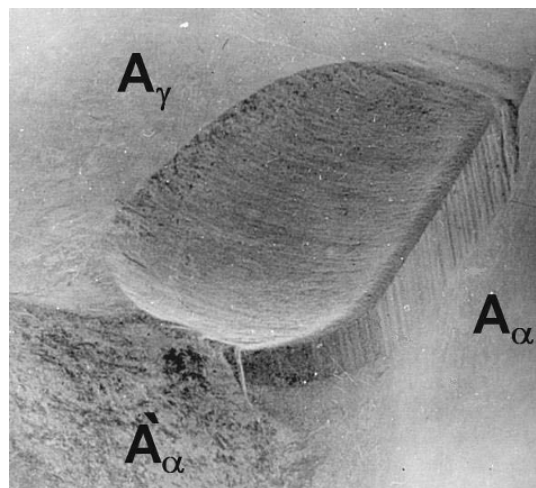




Obr. 5.2 Opotřebení na hřbetu nástroje

### Opotřebení ve tvaru žlábků

Opotřebení ve tvaru žlábků na čele je důsledkem působení mechanismů difúzního opotřebení a abraze. Žlábek vzniká částečně úběrem řezného materiálu nástroje vyvolaného broudicím pochodem, který vzniká působením tvrdých částic obsažených v materiálu, ale zejména difúzí v místě břitu s nejvyšší teplotou, tzn. v kontaktním místě mezi třískou a materiálem břitu. Tvrdost za tepla a malá afinita mezi materiály obrobku a břitu nástroje snižují tendenci ke vzniku tohoto opotřebení. Mimořádně velké opotřebení v podobě žlábků může změnit geometrii břitu a ovlivnit tak tvar třísky, změnit směr působení síly řezání a zeslabit břit (obr. 5.3).



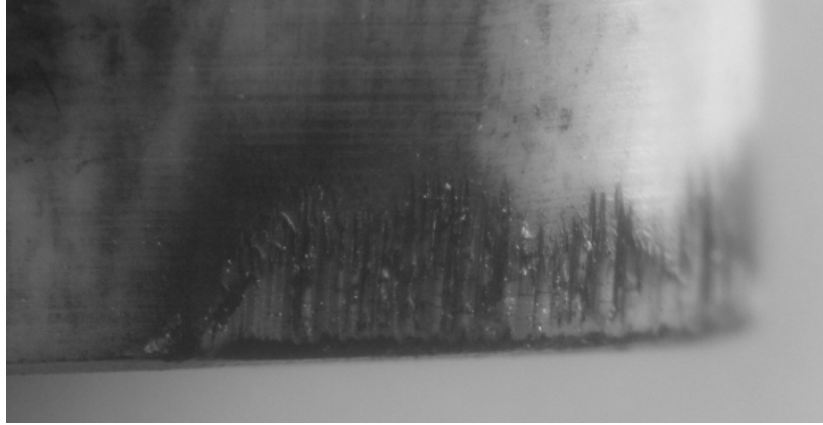
Obr. 5.3 Opotřebení ve tvaru žlábků

### Vydrolení ostří

Vydrolení ostří je formou opotřebení, při níž se břit místo stejnosměrného opotřebení vydroluje (obr. 5.4). Toto opotřebení je způsobeno špičkami zatížení a vede k tomu, že se drobné částice řezného nástrojového materiálu začnou oddělovat z povrchu břitu. Nejčastější příčinou tohoto typu opotřebení je obrábění přerušovaným řezem. Pečlivé sledování břitu ukáže, kde je možné očekávat vydrolování. Odlupování materiálu a trhliny jsou příznaky, které upozorňují na možnost lomu břitu. Dalšími faktory způsobující tento typ opotřebení mohou být nevhodná volba řezného materiálu, nebo nevhodná volba ostří.



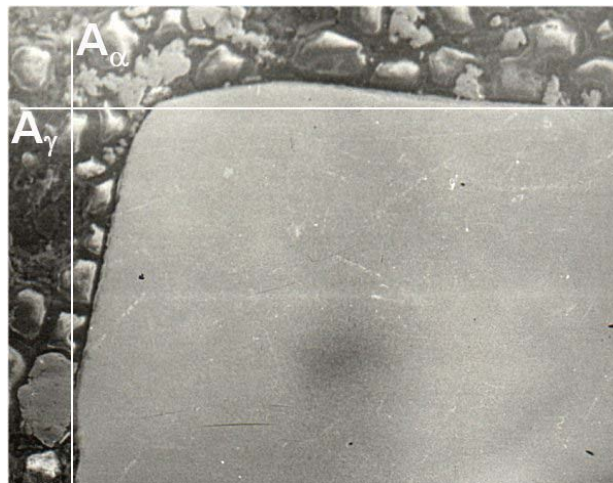




Obr. 5.4 Vydrolení ostří nástroje

### Plastická deformace břitu

Plastická deformace břitu vzniká působením kombinace vysokých teplot a řezných tlaků na břit (obr. 5.5). U řezného materiálu nástroje, který těmto zatížením odolává a plasticky se nedeformuje, je tvrdost za tepla rozhodujícím faktorem. Typická deformace (vyboulení) břitu ještě více zvyšuje teploty a má za následek změnu geometrie břitu, změny v odchodu třísek a může velmi rychle dosáhnout kritického stádia. Toto opotřebení lze zmenšit použitím vhodného řezného materiálu s vyšší oteřuvzdorností, správného zaoblení ostří a volbou správné geometrie.



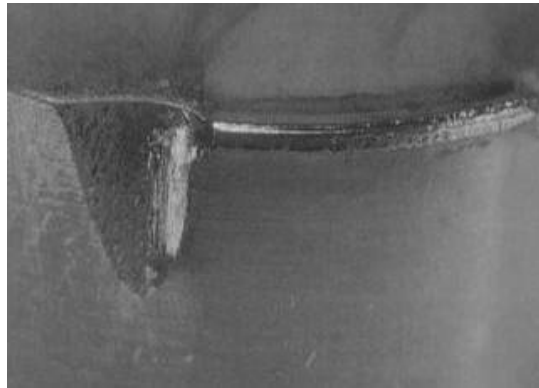
Obr. 5.5 Plastická deformace břitu

### Opotřebení ve tvaru vrubu

Opotřebení ve tvaru vrubu na hřbetě břitu patří k typickým adhezním opotřebením. Může však stejně dobře souviset s jevem oxidačního opotřebení. Vruby vznikají v místě kontaktu břitu s bokem třísky (obr. 5.6). Toto opotřebení se omezuje přesně na to místo, kudy proniká vzduch do oblasti obrábění.

Opotřebení ve tvaru vrubu na vedlejším hřbetu břitu má mechanické příčiny. Jejich původcem jsou tvrdé částice materiálu obrobku. Mimořádně velké opotřebení ve tvaru vrubu ovlivňuje utváření třísky a může vést k lomu destičky.





Obr. 5.6 Opotřebení ve tvaru vrubu

### Tvorba nárůstku na hřbetě nástroje

Tvorba nárůstku je v převážné většině případů fenoménem, vztahující se k teplotám a řezným rychlostem. Může však být způsobena i odlupováním vrstev v místě bříty nebo jinými formami opotřebení. Mimo změny geometrie bříty působí tato forma opotřebení negativně, protože se částice materiálu mohou odlomit (obr. 5.7). Afinita bříty k materiálu hraje v tomto případě rozhodující roli. Nízké teploty a vysoké tlaky vyvolávají mezi materiálem třísky a čelem nástroje efekt svařování.

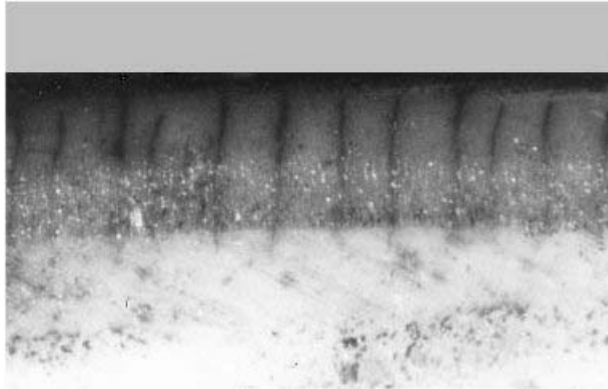
Velká část moderních způsobů obrábění probíhá nad oblastí tvorby nárůstků a mnohé moderní řezné materiály nemají při správném použití k této formě opotřebení sklony. Prvním negativním důsledkem tvorby nárůstku je zhoršená jakost obrobeného povrchu. Nadměrná tvorba nárůstků může vést až k lomu VBD.



Obr. 5.7 Tvorba nárůstku na hřbetě

### Hřebenovité trhlinky na ostří nástroje

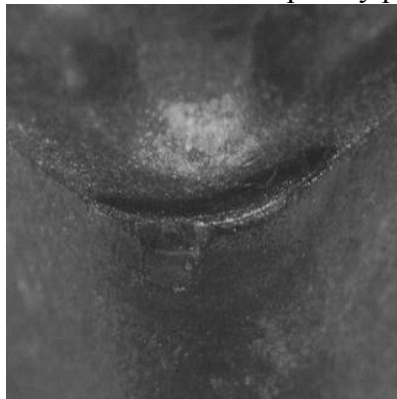
Vznik hřebenových trhlinek na ostří je formou únavového opotřebení, které vzniká tepelným šokem. Zvláště změna teplot při frézování často vede k tomuto druhu opotřebení. Trhlinky se tvoří kolmo na ostří. Přitom se mohou částice řezného materiálu mezi jednotlivými trhlinkami vylamovat a vyvolat tak náhlý lom bříty. Změnou tloušťky třísky se při obrábění změni rovněž teploty. Použití chladicích kapalin se nedoporučuje, protože zvyšuje rozdíl teplot při záběru bříty do materiálu obrobku a při výstupu z něj.



Obr. 5.8 Vznik hřebenovitých trhlinek

### Únavový lom nástroje

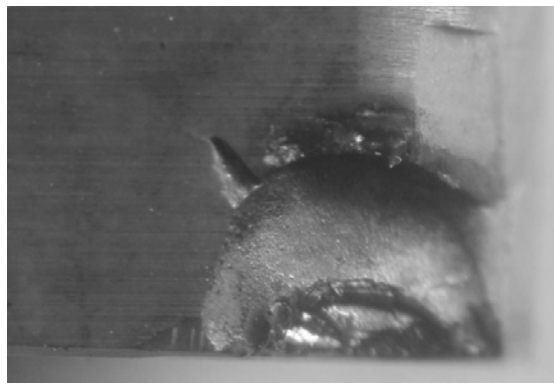
Únavový lom je typickým následkem mimořádně velkých změn velikosti řezných sil. Tento druh lomu vzniká vlivem součtu neustále se měnících různých zatížení, kdy působení jednotlivých zatížení není dostatečně intenzivní, aby mělo za následek lom. Způsob vřezávání nástroje do materiálu obrobku a změna velikosti a směru působení síly řezání mohou být pro pevnost a houževnatost VBD příliš náročné. Lomové plochy probíhají paralelně s ostřím.



Obr. 5.9 Únavový lom

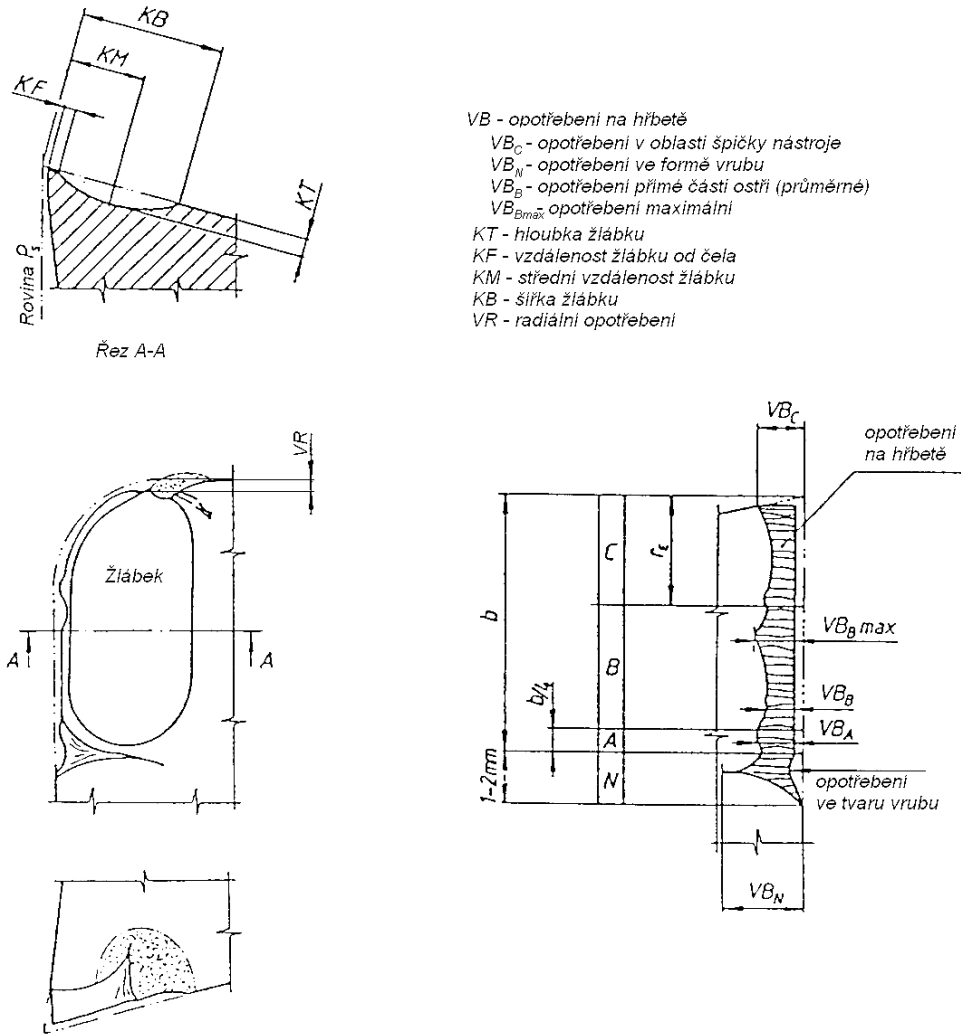
### Lom břitu nástroje

Lom břitu nástroje představuje konec funkčnosti řezného elementu (obr. 5.10). Totální lom je často velmi nebezpečný a mělo by se mu za každých okolností zabránit. Lom břitu nástroje je nutné v každém případě považovat za konec trvanlivosti. Změny geometrie, oslabení břitu, nárůst teplot a sil mohou vést ke značným škodám. Křehký lom může být způsoben různými faktory. Velmi často je zvolený materiál břitu málo houževnatý na to, aby mohl zvládnout všechny požadavky na obrábění.



Obr. 5.10 Lom břitu nástroje

Otupení (opotřebení) břitu obráběcího nástroje lze určovat dle řady autorů. Norma ISO 3685 uvádí následující formy (obr. 5.11) opotřebení s jednotlivými charakteristikami.



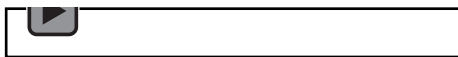
- VB - opotřebení na hřbetě
- VB<sub>c</sub> - opotřebení v oblasti špičky nástroje
- VB<sub>N</sub> - opotřebení ve formě vrubu
- VB<sub>B</sub> - opotřebení přímé části ostří (průměrné)
- VB<sub>Bmax</sub> - opotřebení maximální
- KT - hloubka žlábku
- KF - vzdálenost žlábku od čela
- KM - střední vzdálenost žlábku
- KB - šířka žlábku
- VR - radiální opotřebení

Obr. 5.11 Formy opotřebení dle ISO 3685

Pro měření opotřebení nástrojů je hlavní ostří rozděleno do 4 oblastí, které jsou zobrazeny na obr. 5.11. Oblast C je poloměr ostří, oblast B je přímá část ostří mezi oblastmi C a A, oblast A je čtvrtina délky opotřebení nejvíce vzdálená od radiusu nástroje a oblast N je mimo kontakt nástroje a obrobku přibližně 1 - 2 mm za hlavním ostřím nástroje.

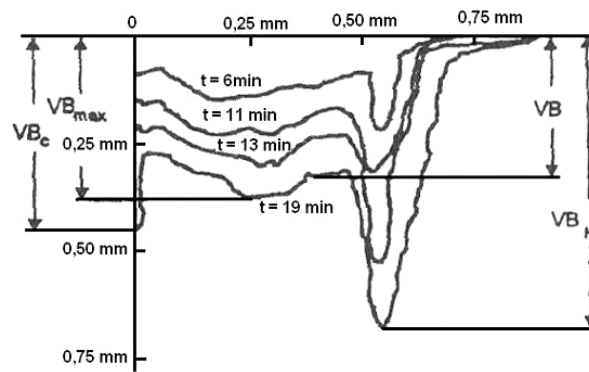


Audio 1.2 Opotřebení nástrojů

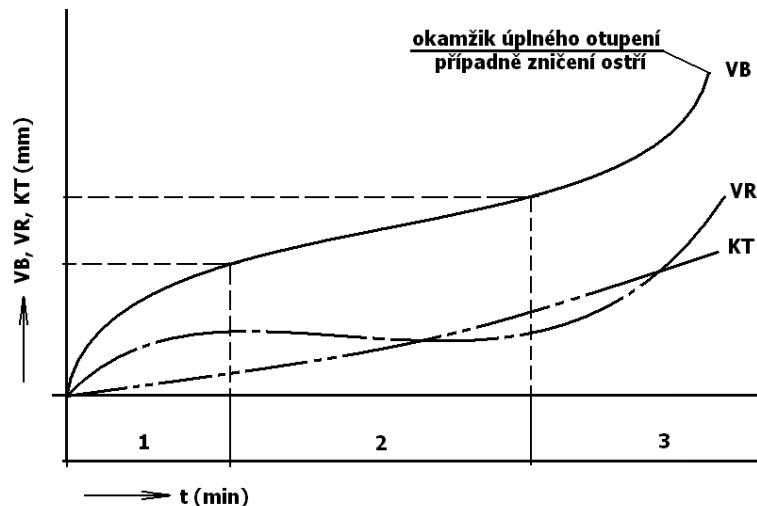


Po nasazení nového nebo přestřeleného nástroje dochází k jeho postupnému opotřebování (obr. 5.12).





Obr. 5.12 Časová mapa opotřebení



Obr. 5.13 Typické průběhy opotřebení VB, VR a KT na době řezání

1 – oblast zrychleného záběhového opotřebení

Obecně souvisí se záběhem nástroje a je způsobeno vysokým měrným tlakem na vrcholcích nerovností nástroje.

2 – oblast lineárního opotřebení

Dochází k lineárnímu nárůstu opotřebení a intenzita je konstantní.

3 – oblast zrychleného nadměrného opotřebení

Bývá obvykle spojeno s limitní teplotou řezání a poklesem tvrdosti nástroje, nastává velmi rychlé, většinou lavinovité opotřebení.

Studium mechanismů opotřebení a analyzování typů opotřebení vede ke správné volbě řezných nástrojových materiálů, geometrií břitů, podmínek obrábění a rovněž materiálů obrobků. Znalost mechanismů a typů opotřebení nám usnadní volbu výkonných řezných materiálů se správnou geometrií břitu a efektivními podmínkami obrábění. Výše uvedené umožní optimální způsoby obrábění z hlediska nákladů.

## 1.2 EXPERIMENTÁLNÍ MĚŘENÍ OPOTŘEBENÍ

Experimentální studium opotřebení a otupování břitu je základem pro určení empirických údajů pro optimalizaci řezných parametrů, resp. trvanlivosti břitu. Významná část výzkumu byla v poslední době zaměřena přímo na monitorizaci a měření opotřebení nástroje, protože stav výsledného obrobku plně závisí na stavu samotného nástroje. Důvodem pro tento výzkum je zavádění automatizovaných pružných výrobních systémů a adaptivní kontroly obráběcích strojů. Nevýhodami měření některých metod jsou negativní děje, které musí být překlenuty:



- odchod třísek z místa řezu (navíjení na obrobek i nástroj, lámání, zničení nebo poškození snímače);
- procesní kapaliny;
- vibrace a chvění stroje;
- doba odezvy, která bývá poměrně dlouhá;
- nízká citlivost a měnící se fyzikální vlastnosti materiálu nástroje a obrobku;
- metody měření nejsou aplikovatelné pro měnící se podmínky řezání.

Pro zjišťování velikosti opotřebení se používají metody přímé a nepřímé.

### 1.2.1 PŘÍMÉ METODY MĚŘENÍ OPOTŘEBENÍ

Přímé metody je těžké aplikovat v důsledku toho, že otupující se plochy jsou nedostupné pro měřicí přístroje. Pak je nutné obrábění přerušit, což ovlivňuje charakter otupení v dalších etapách experimentu. Kromě toho se ve většině případů nástroj snímá z nožového držáku, což přináší změny podmínek obrábění při dalším upnutí a ustavení. Mezi přímé metody patří:

- metoda váhová (hmotnostní);
- metoda radioaktivních izotopů (radioizotopová);
- metoda mikrometrická;
- metoda optická (stínová);
- metoda nanosené odporové vrstvy;
- metoda pneumatická.

Při váhové metodě jako míru opotřebení lze brát úbytek hmotnosti řezného bříty. Tuto metodu nelze použít přímo během procesu obrábění na obráběcím stroji, ale je poměrně přesná a váhový rozdíl určuje míru opotřebení. Nevýhodou je pokud se při obrábění tvoří nárůstek. Ten ulpívá na destičce a znemožňuje tak přesné určení hmotnostního úbytku na nástroji. Lze ji však použít téměř výhradně u nástrojů s vyměnitelnými břitovými destičkami se zřetelem na malé úbytky hmoty při otupování nástroje.

$$\Delta M = M_1 - M_2 \quad [\text{g}] \quad , \text{ kde} \quad (5.1)$$

$\Delta M$  – úbytek hmoty [g],

$M_1$  – hmotnost destičky před otupením [g],

$M_2$  – hmotnost destičky po otupení [g].

Metoda radioaktivních izotopů (radioizotopová) je nejcitlivější a nejpřesnější metoda určování váhového úbytku destičky v závislosti na čase. Umožňuje určit váhové úbytky v řádech až  $10^{-3}$  mg. Využívá toho, že největší část opotřebovaného materiálu nástroje odchází třískou a jen zanedbatelné množství opotřebovaného nástrojového materiálu zůstává na obrobené ploše a neobrobené ploše místa řezu. Zcela minimální část materiálu nástroje odchází do ovzduší.

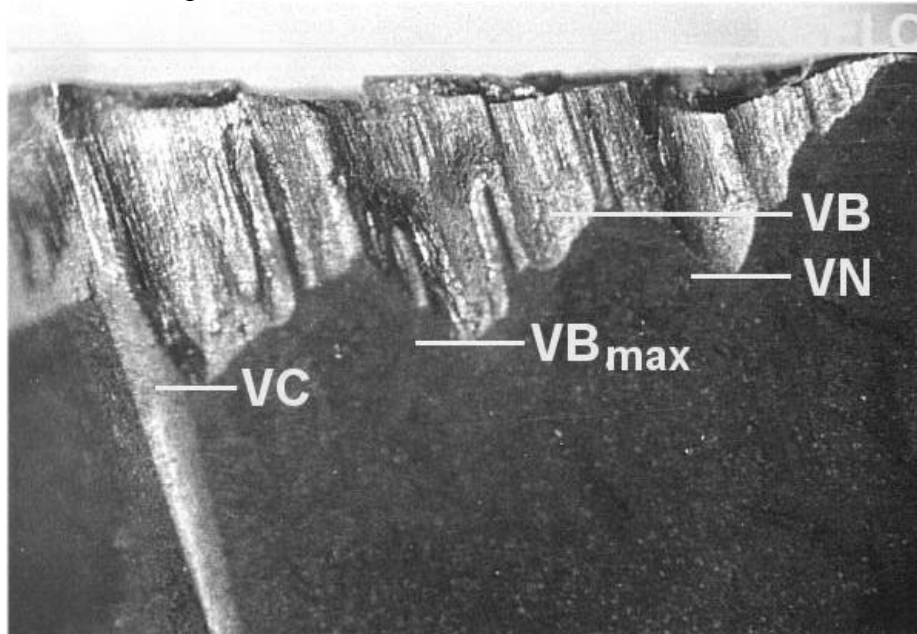
Radioaktivním článkem je materiál nástroje. Aktivaci nástroje lze dosáhnout dvěma způsoby:

- Zavedením radioizotopu již při hutnickém procesu. Potom lze přesně stanovit specifickou aktivitu nástrojového materiálu a změnu aktivity v průběhu času.
- Ozářením hotového nástroje proudem neutronů v reaktoru. Vznikne tak směs radioizotopových prvků tvořící nástrojový materiál.



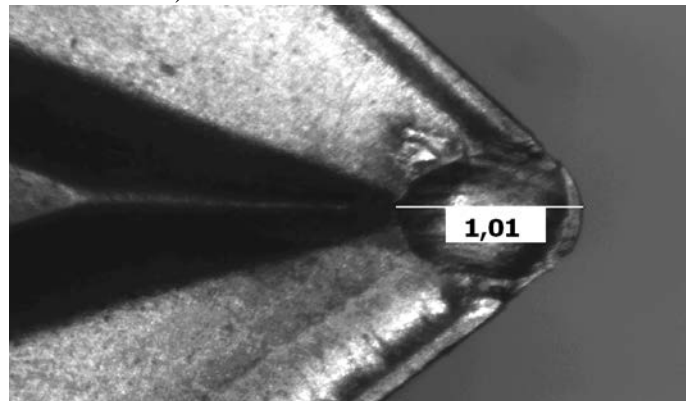
Tato metoda sebou nese riziko zdravotního ohrožení a při práci a manipulaci je nutné dbát přísných bezpečnostních opatření a používat rukavic, manipulátorů a olověných zástěr a desek.

Při mikrometrické metodě je velikost opotřebení určována přímým měřením lineárních rozměrů. Zjistíme ji nejčastěji dílenskými mikroskopy s křížovým stolem. Hloubku žlábků měříme číselníkovými úchylkoměry, komparátory apod. (obr. 5.16). Tuto metodu nelze použít přímo in real time při obrábění.

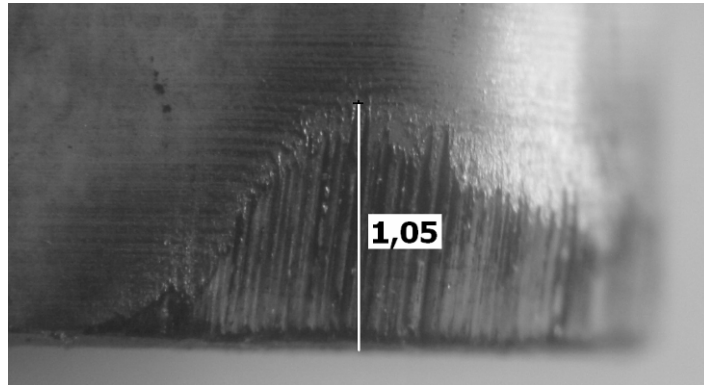


Obr. 5.16 Příklad opotřebení na hřbetě nástroje

Některé software dovolují vyhodnocovat velikost opotřebení přímo on-line na mikroskopu. Takovým příkladem je např. IMPOR BASIC. Nejprve je nutné zkalibrovat optiku na dané zvětšení a potom lze měřit přímo hodnoty opotřebení a zaznamenávat kóty do obrazu, který lze potom uložit (obr. 5.17 a 5.18).



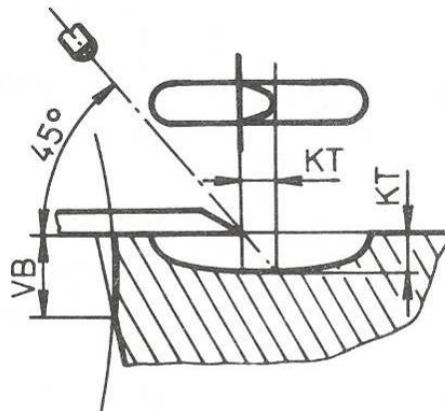
Obr. 5.17 Měření opotřebení na čele KB pomocí software IMPOR



Obr. 5.18 Měření opotřebení na hřbetě  $VB_{Bmax}$  pomocí software IMPOR

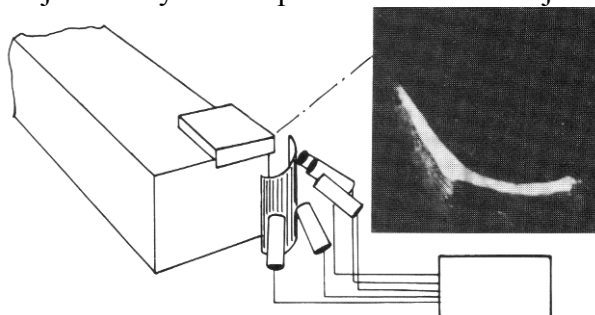
Také je možné využít 3D souřadnicové stroje na vytvoření skutečného obrazu opotřebení. Tato metoda umožňuje vytvořit reálný trojrozměrný obraz a je vhodná především pro měření opotřebení na čele nástroje. Na základě údajů je možné potom zpracovat charakteristickou mapu opotřebení a z ní odečíst parametry opotřebení jako  $KT$ ,  $KM$  a podobně.

Optická (stínová) metoda se používá k měření hloubky žlábků. Umístíme-li ostrou hranu na čelo a osvětlíme ji paprskem světla pod úhlem  $45^\circ$ , pak vzdálenost tečny ke stínu je rovna hloubce žlábků  $KT$  (obr. 5.19).



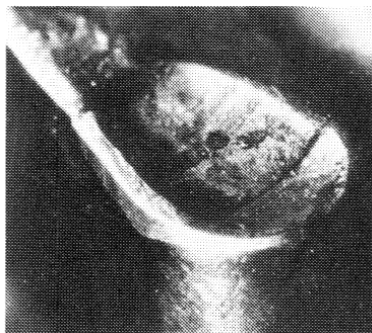
Obr. 5.19 Schéma měření stínovou metodou

Další metodou, jež využívá na měření opotřebení vytváření stínů, je metoda založená na měření opotřebení na čele nástroje. Na tomto čele je difusorem (obr. 5.20) vytvořena charakteristická mřížka, která je snímána prostřednictvím kamery, přičemž deformace mřížky souvisí s vytvářením kráteru na čele nástroje (obr. 5.21). Na základě obrazu z kamery je možné vytvořit skutečný trojrozměrný obraz opotřebení čela nástroje.

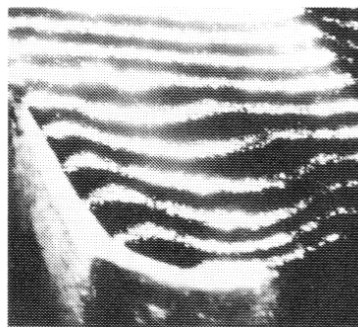


Obr. 5.20 Způsob osvětlení čela nástroje podle





a) opotřebení na čele nástroje



b) světelný řez obrazu opotřebení

Obr. 5.21 Porovnání opotřebení na čele nástroje a světelného obrazu opotřebení

## 1.2.2 NEPŘÍMÉ METODY MĚŘENÍ OPOTŘEBENÍ

Metody nepřímé se opírají o některé znaky, které proces opotřebování doprovází a provádí se přímo při procesu řezání. Všechny tyto metody jsou pouze přibližné. Patří sem:

- vznik lesklého proužku na povrchu obrobku;
- vzrůst složek síly řezání;
- zvýšení potřebného výkonu řezání;
- zvýšení teploty řezání;
- vznik chvění nebo nežádoucího doprovodného zvuku;
- změna barvy a tvaru třísky;
- změna rozměrů obrobku;
- zhoršení drsnosti povrchu;
- emise signálů v pásmu ultrazvuku (akustická emise).

## 1.3 TRVANLIVOST, ŽIVOTNOST A ŘEZIVOST NÁSTROJŮ

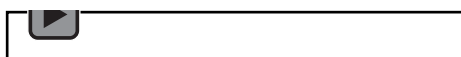
### 1.3.1 TRVANLIVOST A ŽIVOTNOST NÁSTROJE

**Trvanlivost** řezného nástroje lze definovat jako součet všech čistých (strojních) časů řezání, od začátku obrábění, až po opotřebení břitu nástroje na předem stanovenou hodnotu vybraného kritéria (kritérium opotřebení a jeho hodnota musí být stanoveny tak, aby vyráběný obrobek měl požadovaný tvar, rozměry a kvalitu povrchu po celou dobu trvanlivosti nástroje).

**Životnost** nástroje je pak definována jako součet všech jeho trvanlivostí, nebo též jako celková doba funkce nástroje od prvního uvedení do činnosti až do jeho vyřazení (nástroje, které lze ostřit jsou vyřazeny v případě, že byla odbroušena celá jejich funkční část, vyměnitelné břitové destičky v případě, že byly použity všechny jejich břity).



#### Audio 1.3 Trvanlivost a životnost



Z tohoto hlediska lze tedy životnost přebroušovaného nástroje vyjádřit vztahem:

$$Z = \sum T_i = (x+1) \cdot T \quad [\text{min}], \text{ kde} \quad (6.1)$$

$T_i$  - jednotlivé trvanlivosti [min],

$T$  - aritmetický průměr hodnot  $T_i$  [min],

$x$  - počet možných ostření nástroje [-].



Pro nástroj s mechanicky upínanými vyměnitelnými břitovými destičkami se životnost stanoví podle vztahu:

$$Z = \sum T_i = q \cdot T \text{ [min]}, \text{ kde} \quad (6.2)$$

$T_i$  - trvanlivosti jednotlivých ostří destičky [min],

$T$  - aritmetický průměr hodnot  $T_i$  [min],

$q$  - počet použitelných ostří destičky [-].

Pozn.: Anglická literatura obvykle nerozlišuje "trvanlivost" a "životnost", např. v angličtině existuje pro oba pojmy společný výraz "tool life" a proto je třeba dávat pozor při jeho překladu do češtiny.

Trvanlivost nástroje, podobně jako opotřebenění nástroje, závisí zejména na metodě obrábění (soustružení, frézování, vrtání, atd.), vlastnostech obráběného a nástrojového materiálu a řezných podmínkách (řezná a posuvová rychlost, šířka záběru ostří, řezné prostředí). Počátkem XX. století zjistil F. W. Taylor, že z řezných podmínek má na trvanlivost nástroje největší vliv právě řezná rychlost a odvodil základní vztah pro vzájemnou závislost těchto dvou veličin, na němž jsou založeny dnešní normy ČSN ISO 3685, i ČSN ISO 8688-1 a ČSN ISO 8688-2 a který je u nás znám pod názvem "**T-v<sub>c</sub>** závislost" (někdy též "Taylorův vztah") a užívá se ve tvaru:

$$T = \frac{c_T}{v_c^m} \text{ [min]}, \quad (6.3)$$

$c_T$  - konstanta [-],

$v_c$  - řezná rychlost [m.min<sup>-1</sup>],

$m$  - exponent (míra závislosti řezné rychlosti na trvanlivosti) [-]

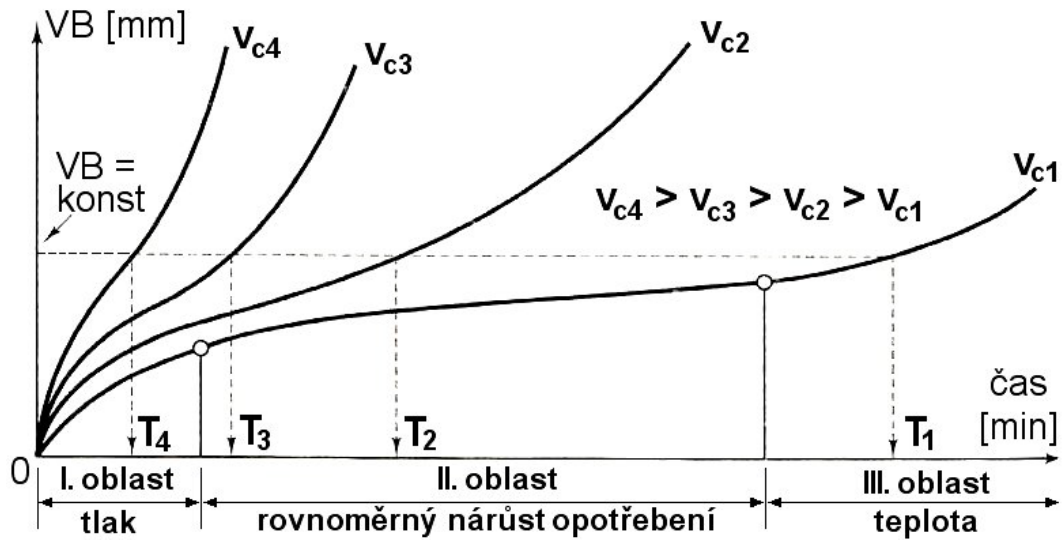
nebo vzhledem k velmi vysoké a nepraktické hodnotě konstanty  $c_T$  (řádově 10<sup>9</sup>÷10<sup>13</sup>) častěji ve tvaru:

$$v_c = \frac{c_v}{T^{1/m}} \text{ [m.min}^{-1}\text{]}, \text{ kde} \quad (6.4)$$

$c_v$  - konstanta [-] (protože  $c_v = c_T^{1/m}$ ), je řádová velikost konstanty  $c_v$  pouze 10<sup>2</sup>÷10<sup>3</sup>).

Postup při stanovování základní **T-v<sub>c</sub>** závislosti pro konkrétní kombinaci řezný nástroj - obráběný materiál vychází z definice trvanlivosti. Za ostatních konstantních řezných podmínek je daný materiál obráběn daným nástrojem minimálně při čtyřech různých řezných rychlostech, přičemž se sleduje časový nárůst opotřebenění nástroje (např. VB), který se vynáší do závislostí VB=f(t), viz *obr. 6.1*. Aby bylo dosaženo rovnoměrné rozložení jednotlivých bodů pro konstrukci **T-v<sub>c</sub>** závislosti, volí se řezné rychlosti podle řady R20. Tuto řadu předepisuje norma ČSN ISO 3685 pro nástroj ze slinutého karbidu. Při nejvyšší řezné rychlosti nemá trvanlivost klesnout pod hodnotu T=5 minut (pro obrábění ušlechtilých (drahých) materiálů se připouští nižší trvanlivost, ne však pod hodnotou nižší než T=2 minuty).



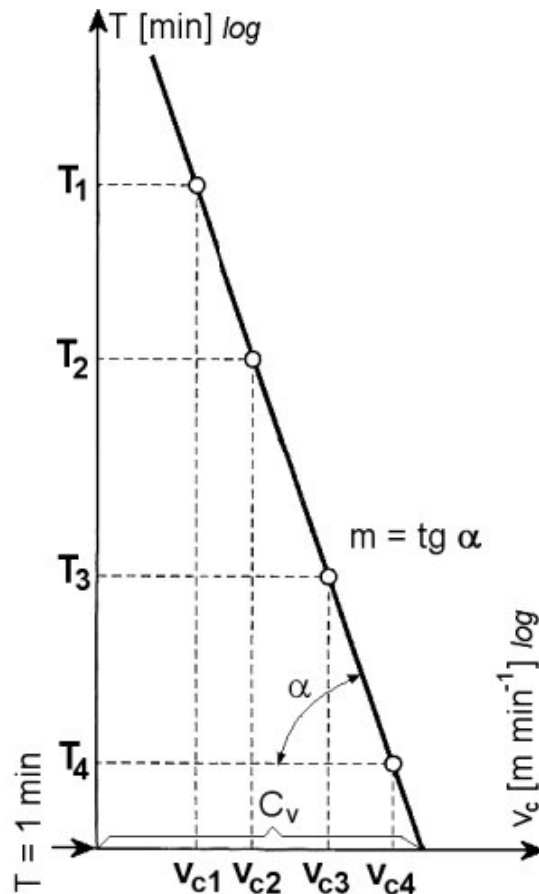


Obr. 6.1 Závislost opotřebení na čase při různých řezných rychlostech

Pro předem stanovenou hodnotu vybraného kritéria (např.  $VB = \text{konst.} = 0,3 \text{ mm}$ ) jsou z časových křivek  $VB$  odečteny hodnoty trvanlivosti  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_3$  a  $T_4$  které odpovídají zvoleným řezným rychlostem  $v_{c1}$ ,  $v_{c2}$ ,  $v_{c3}$  a  $v_{c4}$ . Body o souřadnicích  $v_{c1}-T_1$ ,  $v_{c2}-T_2$ ,  $v_{c3}-T_3$  a  $v_{c4}-T_4$  jsou pak vyneseny do diagramu s logaritmickými souřadnicemi  $T$  a  $v_c$ , kde vytvoří přímku, která odpovídá zvolené hodnotě  $VB$  (obr. 6.2).

Matematicky je získaná  $T-v_c$  závislost popsána základními vztahy (6.3) a (6.4), hodnotu konstanty  $c_T$  lze odečíst na ose  $T$  pro řeznou rychlost  $v_c = \text{m} \cdot \text{min}^{-1}$ , hodnotu konstanty  $c_v$  na ose  $v_c$  pro trvanlivost  $T = 1 \text{ min}$ , exponent  $m$  vyjadřuje směrnici vytvořené přímky,  $m = \text{tg } \alpha$ . Nevýhodou uvedených základních vztahů  $T-v_c$  závislosti je omezení následujícími podmínkami:

- šířka záběru ostří  $a_p = \text{konst.}$ ,
- posuv na otáčku  $f = \text{konst.}$ ,
- opotřebení  $VB = \text{konst.}$

Obr. 6.2 Zlogaritmovaný diagram  $T - v_c$ 

V praxi jsou proto často používány rozšířené vztahy pro  $T-v_c$  závislost ve tvaru:

$$v_{cT} = \frac{c_{vT}}{a_p^{x_v} \cdot f^{y_v}} \quad [\text{m min}^{-1}], \text{ kde} \quad (6.5)$$

$v_{cT}$  - řezná rychlost při konstantní trvanlivosti  $T$ , např.  $v_{c15}$  znamená řeznou rychlost při trvanlivosti  $T=15$  minut,

$c_{vT}$  - konstanta [-],

$x_v$  - exponent, vyjadřující vliv hloubky řezu [-],

$y_v$  - exponent, vyjadřující vliv posuvu na otáčku [-],

nebo ve tvaru:

$$v_c = \frac{c_v}{T^{1/m} \cdot a_p^{x_v} \cdot f^{y_v}} \quad [\text{m min}^{-1}], \text{ kde} \quad (6.6)$$

$c_v$  - konstanta [-].

Výhodou vztahů (6.5) a (6.6) je menší počet omezujících podmínek ( $T = \text{konst}$ ,  $VB = \text{konst}$ ) resp. ( $VB = \text{konst}$ ). Nevýhodou je mnohem větší rozsah zkoušek, potřebných pro jejich konkrétní stanovení, ve srovnání se zkouškami nutnými pro určení vztahů (6.3) a (6.4).

### 1.3.2 ŘEZIVOST NÁSTROJE

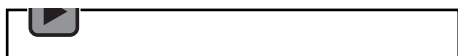
Řezivost nástroje lze charakterizovat např. jako vlastnost, která umožňuje nástroji efektivním způsobem odebrat třísku z obráběného materiálu. Tato vlastnost úzce souvisí s fyzikálními a mechanickými vlastnostmi nástroje, zároveň je ovlivněna i dalšími faktory, jako je metoda



obrábění, geometrie nástroje, řezné podmínky, řezné prostředí atd. Není vlastností absolutní, a to zejména v tom smyslu, že závisí i na obráběném materiálu, především na jeho mechanických vlastnostech



#### Audio 1.4 Řezivost nástroje



(např. za jinak stejných podmínek vykáže nástroj ze slinutého karbidu P20 velmi dobrou řezivost při soustružení běžné oceli, ale bude mít velmi nízkou nebo dokonce nulovou řezivost při soustružení kalené oceli).

Jednoduchým kritériem hodnocení řezivosti nástroje je  $T-v_c$  závislost, a to i ve svém nejjednodušším tvaru. Z obecného hlediska lze říci, že lepší řezivost má ten nástrojový materiál, který vykazuje v závislosti  $T-v_c$  vyšší hodnotu konstanty  $c_v$  a nižší hodnotu exponentu  $m$  (viz tabulka 6.1).

Tab. 6.1 Hodnoty exponentu  $m$  pro různé nástrojové materiály

Materiál	Nástrojové oceli	Rychlořezné oceli	Slinuté karbidy	Řezná keramika
$m [-]$	10 ÷ 8 (až 6)	8 ÷ 5 (až 3)	5,0 ÷ 2,5 (až 2)	2,5 ÷ 1,5 (až 1,2)
$\alpha [^\circ]$	84 ÷ 83	83 ÷ 79	79 ÷ 68	68 ÷ 56

## 1.4 OBROBITELNOST MATERIÁLŮ

Pod pojmem **obrobitelnost** označujeme souhrnný vliv fyzikálních vlastností, chemického složení kovů na průběh a na ekonomické, popř. kvalitativní výsledky procesu řezání. Lze ji obecně posuzovat z hlediska vlivu materiálu obrobku na intenzitu otěru, energetické bilance procesu řezání a také jejich vlivu na proces tvorby třísky a vytváření nového povrchu na obrobku.

Existuje úzký vztah stupně obrobitelnosti kovů k velikosti jednotlivých faktorů, které jsou součástí procesu řezání, jako např. součinitel tření třísky po čele nástroje, plochy řezu na hřbetě břitu, velikost měrné deformační práce, stupeň zpevnění v odřezávané vrstvě materiálu, velikost mezních kluzných napětí ve střížné rovině a velikost jeho úhlu  $\beta$  apod.

Z hlediska technologie obrábění je obrobitelnost jednou z nejdůležitějších vlastností materiálu a lze ji také definovat jako míru schopnosti daného konkrétního materiálu být zpracováván některou z metod obrábění. Je hlavním činitelem pro volbu řezných podmínek a pro funkci nástroje při všech metodách obrábění. Obrobitelnost závisí na mnoha faktorech, z nichž nejdůležitější jsou:

- způsob výroby a tepelné zpracování obráběného materiálu;
- mikrostruktura obráběného materiálu;
- chemické složení obráběného materiálu;
- fyzikální a mechanické vlastnosti obráběného materiálu;
- metoda obrábění;
- pracovní prostředí;
- geometrie nástroje;
- druh a vlastnosti nástrojového materiálu.

Z hlediska charakteristik obrobitelnosti a řezivosti je možné obrobitelnost a řezivost rozdělit na obrobitelnost a řezivost absolutní a relativní. Nutno podotknout, že obrobitelnost a řezivost spolu úzce (neoddělitelně) souvisí a řada kritérií obrobitelnosti je současně i kritérií řezivosti.



**Absolutní obrobiteľnosť**, resp. řezivost je charakterizována buď funkčním vztahem a parametry spolu souvisejícími, nebo určitou velikostí dané veličiny charakterizující obrobiteľnosť, resp. řezivost.

**Relativní obrobiteľnosť**, resp. řezivost je charakterizována bezrozměrnými čísly, která udávají poměr velikostí určité veličiny, a sice poměr velikostí této veličiny vztahující se k danému materiálu obrobku, resp. k nástroji a velikostí této veličiny odpovídající etalonovému (referenčnímu) materiálu obrobku, resp. nástroji.



#### Audio 1.5 Obrobiteľnosť materiálu



Obrobiteľnosť, resp. řezivost hodnotíme především z hlediska intenzity opotřebení břitu, dále též z hlediska teplotního, silového, technologického a kvalitativního. Nejčastěji vycházíme z intenzity opotřebení břitu.

Nejdůležitějším kritériem tohoto typu je komplexní Taylorův vztah. Dalšími kritérii jsou jednoduchý Taylorův vztah a hodnota řezné rychlosti  $v_T$  odpovídající určité trvanlivosti břitu, což patří do absolutní kategorie. K relativním charakteristikám, které vycházejí z intenzity opotřebení břitu, patří především index obrobiteľnosti  $K_v$ .

$$K_v = \frac{v_{T/VB} \text{ zkoušeného materiálu}}{v_{T/VB} \text{ etalonového materiálu}} \quad (7.1)$$

případně

$$K_v = \frac{c_{v_{zk.mat}}}{c_{v_{et.mat}}} \cdot T \left( \frac{1}{m_{et}} - \frac{1}{m_{zk}} \right), \text{ kde} \quad (7.2)$$

$v_{T/VB}$  zkoušeného materiálu odpovídá  $v_{15zk}$  ( $\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$ ), což je řezná rychlost  $v_c$  při trvanlivosti  $T_n = 15$  minut pro zkoušený (sledovaný) materiál,

$v_{T/VB}$  etalonového materiálu odpovídá  $v_{15et}$  ( $\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$ ), což je řezná rychlost  $v_c$  při trvanlivosti  $T_n = 15$  minut pro referenční (etalonový) materiál.

Existuje několik možností jak rychle, dostatečně přesně a objektivně stanovit obrobiteľnosť pro zatím neznámé kombinace – nově vyvinutý řezný a rovněž doposud „neotestovaný“, vysoce houževnatý (pevný a tvrdý) obráběný materiál. Jedná se konkrétně o tyto vybrané, níže uvedené možnosti:

- míra závislosti na řezné rychlosti;
- dosažená drsnost obroběné plochy;
- velikost opotřebení břitu nástroje;
- množství energie potřebné k odřezání dané vrstvy materiálu;
- vztah k dosahované teplotě řezání;
- druh a tvar tvořící se třísky.

### 1.4.1 ZNAČENÍ OBROBITELNOSTI

Pokud je obrobiteľnosť posuzována hodnotou  $v_T$ , jedná se prakticky o vyhodnocování úběru obráběného materiálu (velikost objemu materiálu odebraná za jednotku času) pomocí daného nástroje při smluveném konstantním průřezu třísky, v daném řezném prostředí. Pro potřeby vyhodnocování obrobiteľnosti jsou technické konstrukční materiály rozděleny do devíti základních skupin, označovaných malými písmeny:

a – litiny;

b – oceli;

c – těžké neželezné kovy (měď a slitiny mědi);



- d – lehké nezelezné kovy (hliník a slitiny hliníku);
- e – plastické hmoty;
- f – přírodní nerostné hmoty;
- g – vrstvené hmoty;
- v – tvrzeňé litiny pro výrobu válců.

V jednotlivých skupinách je vždy vybrán jeden konkrétní materiál, který slouží jako etalon obrobiteľnosti a ve vztahu k tomuto materiálu je pak stanovována relativní obrobiteľnost všech ostatních materiálů celé skupiny.

Třídy jsou označovány číslem umístěným před písmeno, které určuje danou skupinu materiálů (např. 11a, 14b, atd.). Odstupňování střední hodnoty indexu obrobiteľnosti v jednotlivých třídách je dáno geometrickou řadou s kvocientem  $q = 1,26$  (třída referenčního (etalonového) materiálu má hodnotu  $q = 1$ ), což znamená, že hodnota řezné rychlosti  $v_{cT}$  v dané třídě je vždy 1,26 krát vyšší (nižší), než hodnota  $v_{cT}$  v sousední třídě. Materiály v třídách s nižším číslem, než má třída referenčního (etalonového) materiálu mají horší obrobiteľnost než referenční (etalonový) materiál.

Relativně nejhorší obrobiteľnost (nejnesnadněji se obrábějící) v dané skupině má vždy materiál zařazený do třídy s nejnižším číslem. Nejlepší obrobiteľnost má materiál zařazený do třídy s nejvyšším číslem. Příklad dělení skupiny oceli na třídy, včetně hodnot  $K_v$  je uveden v tab. 7.1.

Obrobiteľnost, jak již bylo uvedeno, je především vlastností obráběného materiálu. Přesto však musí být posuzována v úzké souvislosti s řezivostí nástrojového materiálu, který je zvolen a použit pro zkoušky obrobiteľnosti.

Tab. 7.1 Hodnoty  $K_v$  indexu obrobiteľnosti pro jednotlivé třídy skupiny ocelí

Třída	$K_v$			Třída	$K_v$		
	vyjádřeno kvocientem	střední hodnota	rozsah		vyjádřeno kvocientem	střední hodnota	rozsah
1b	$1,26^{-13}$	0,050	0,045-0,054	11b	$1,26^{-3}$	0,50	0,45-0,56
2b	$1,26^{-12}$	0,065	0,055-0,069	12b	$1,26^{-2}$	0,63	0,57-0,71
3b	$1,26^{-11}$	0,080	0,070-0,089	13b	$1,26^{-1}$	0,80	0,72-0,89
4b	$1,26^{-10}$	0,10	0,09-0,11	14b	$1,26^0$	1,00	0,90-1,12
5b	$1,26^{-9}$	0,13	0,12-0,14	15b	$1,26^1$	1,26	1,13-1,41
6b	$1,26^{-8}$	0,16	0,15-0,17	16b	$1,26^2$	1,59	1,42-1,78
7b	$1,26^{-7}$	0,20	0,18-0,22	17b	$1,26^3$	2,00	1,79-2,24
8b	$1,26^{-6}$	0,25	0,23-0,28	18b	$1,26^4$	2,50	2,25-2,82
9b	$1,26^{-5}$	0,32	0,29-0,35	19b	$1,26^5$	3,15	2,83-3,55
10b	$1,26^{-4}$	0,40	0,36-0,44	20b	$1,26^6$	4,00	3,56-4,47

Podle normy CNN je pro ocel doporučován pouze jeden referenční (etalonový) materiál, a to ocel 12 050.1. Na základě praktických zkušeností se ukazuje, že je vhodnější používat pro každou třídu obrobiteľnosti jiný referenční materiál. Doporučené materiály etalonů, druhů používaných nástrojů a doporučených řezných podmínek uvádí následující tabulky.

Tab. 7.2 Doporučené referenční materiály



Třída obrobitelnosti	18b / 1	17b / 2	16b / 3	15b / 4	14b / 5
Etalon	12 010 HB105	11 373 HB130	12 040 HB160	14 220 HB160	12 050 HB190
Třída obrobitelnosti	13b / 6	12b / 7	11b / 8	10b / 9	9b / 10
Etalon	12 050 HB250	12 060 HB250	12 060 HB280	12 061 HB280	15 330 HB350
Třída obrobitelnosti	12b / 21	12b / 22	9b / 23	8b / 24	8b / 25
Etalon	17 020	17 021	17 248	17 238	17 352

Tab. 7.3 Doporučené nástroje pro zkoušky obrobitelnosti

Metoda obrábění	Doporučené nástroje
Soustružení	VBD typu SNGN 120408 nebo SPGN 120408, SK P20, průřez držáku 25x25 mm, úhel $\kappa_r = 70^\circ$ (PN223850.1 nebo PN223850.2).
Vrtání	Vrták $\varnothing$ 10 mm, ČSN 221140, strojní ostření s tolerancí délky ostří 0,2 mm. Pro vrtáky se slinutým karbidem doporučen druh K10.
Frézování	Frézovací hlava PN 222462.15 nebo PN 222462.25 o průměru 125 mm, počet zubů 10. Po upnutí destiček je dovolené maximální házení axiální 0,03 mm, házení radiální 0,05 mm.

Jednotné stále platné normativy zařazují oceli do tříd obrobitelnosti na základě zkoušek bez chlazení, prováděných slinutými karbidy typu P10-P20, které mají ve srovnání s dnes již velmi často používanými povlakovanými SK a jinými řeznými materiály, vyznačujícími se zejména podstatně jemnější a pravidelnější zrnitostí mnohem nižší řezivost.

Tab. 7.4 Doporučené řezné podmínky pro zkoušky obrobitelnosti

Metoda obrábění	Řezné podmínky		
	Řezná rychlost ( $\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$ )	Posuv (mm)	Hloubka řezu (mm)
Soustružení	80, 100, 125	0,25	2,0
VBD z SK	160, 200, 250	0,25	2,0
Vrtání RO	12, 18, 24, 30, 35	0,12	3 D
Vrtání SK	28, 36, 44, 52, 60	0,08	2 D
Frézování	80, 110, 139	fz = 0,1 mm	2
VBD z SK	176, 220, 278		šířka frézování 0,5 D

## 1.4.2 ZKOUŠKY OBROBITELNOSTI

Stupeň obrobitelnosti určitého materiálu je zpravidla různý při obrábění různými metodami (soustružení, frézování, broušení, apod.) Proto je třeba zkoušky obrobitelnosti provádět pro jednotlivé způsoby obrábění zvlášť. Z hlediska provádění rozlišujeme zkoušky dlouhodobé a krátkodobé. Dále se dají rozdělit na metody přímé a nepřímé. U přímých metod se bezprostředně stanoví hodnota řezné rychlosti pro zvolenou trvanlivost.

### Dlouhodobé zkoušky obrobitelnost

Dlouhodobá zkouška trvanlivosti je v podstatě jen jedna. Kritériem je zde hodnota řezné rychlosti a provádí se soustružením nebo frézováním dohodnutými konstantními řeznými parametry, druhem řezného nástroje a geometrií více odstupňovanými řeznými rychlostmi až do optimálního otupení břitů.

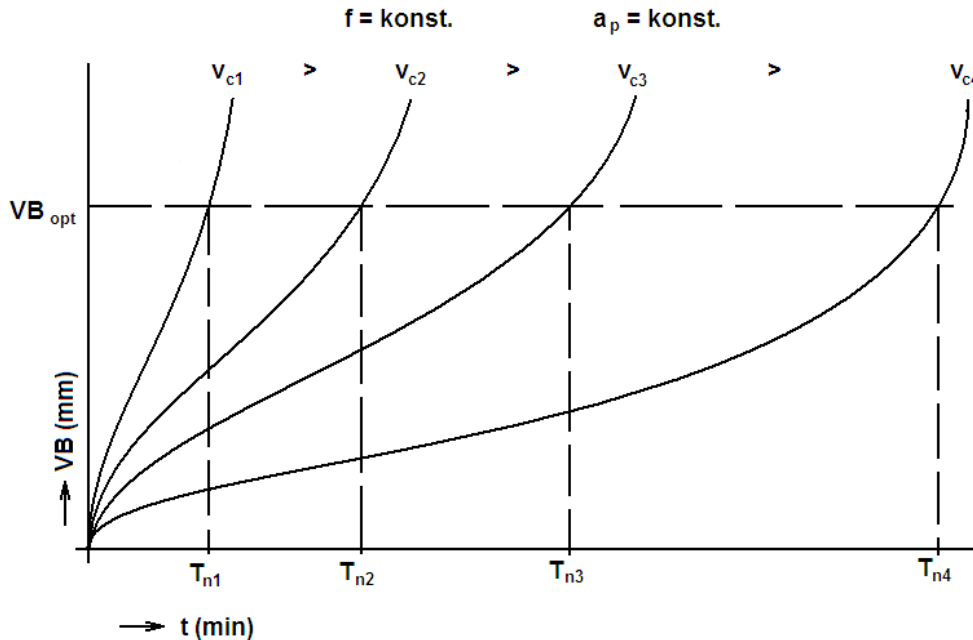




Tato zkouška je považována za základní a podle ní se posuzuje míra objektivnosti ostatních zkoušek obrobitelnosti. Lze je využít i k určování řezivosti nástrojů. Nevýhodou je velká spotřeba obráběného materiálu a náročnost na čas zkoušky.

Dlouhodobá zkouška trvanlivost má následující průběh:

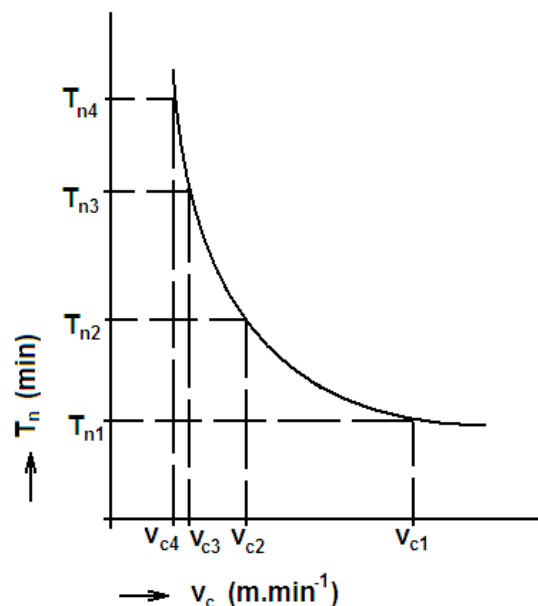
1) změří se časový průběh opotřebení na hřbetu nástroje  $VB_B$  pro několik hodnot rychlostí (tab. 7.4) při konstantních řezných parametrech a sestrojí se křivky otupení (obr. 7.1).



Obr. 7.1 Křivky otupení při proměnné řezné rychlosti,  $f = konst.$ ,  $a_p = konst.$

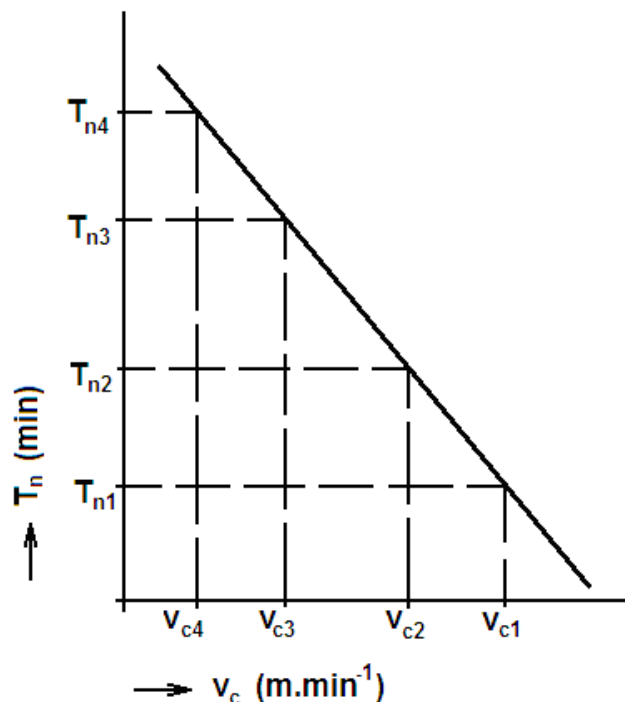
2) Určí se kritérium opotřebení  $VB_{opt}$  a tím se stanoví pro každou řeznou rychlost odpovídající trvanlivost břitu (obr. 7.2).

3) Sestrojí se závislost  $T_n = f(v_c)$  v logaritmických souřadnicích a pro vybranou trvanlivost stanoví index obrobitelnosti při srovnání řezné rychlosti zkoumaného materiálu s řeznou rychlostí materiálu etalonového (obr. 7.3).



Obr. 7.2 Stanovení jednotlivých trvanlivostí na základě kritéria opotřebení





Obr. 7.3 Závislost trvanlivosti na řezné rychlosti

### Krátkodobé zkoušky obrobitelnosti

Tyto zkoušky jsou méně objektivní, ale mají výhodu v nesrovnatelně kratší době trvání a nižší spotřebě materiálu. Rychlé a dostatečně přesné stanovování obrobitelnosti materiálu zejména třískovým obráběním s definovatelnou řeznou geometrií břitu nástroje je při současném prudkém vývoji neustále nově vyvíjených vysoce pevných, tvrdých a přitom zvláště houževnatých technických materiálů velmi potřebné a praxí žádané.

Krátkodobé zkoušky jsou vhodné pro rychlé rozřídění skupiny materiálu podle stupně obrobitelnosti, pro ověření eventuální změny stupně obrobitelnosti u jednotlivých dodávek stejného druhu materiálu nebo pro rychlé určení relativního stupně obrobitelnosti z jednotlivých taveb a u nově vyvíjených materiálů.

Podle principu a použitého kritéria lze tyto zkušební metody dále rozdělit na přímé a nepřímé. Metody založené na přímém zjišťování intenzity opotřebení za zosřazených či jinak smluvně upravených podmínek. Nepřímé metody vycházejí ze známého, resp. předpokládaného vztahu mezi opotřebením břitu a charakteristickými parametry řezného procesu. Jsou založeny převážně na zjišťování energetických parametrů.

Přímé metody zjišťování obrobitelnosti:

- čelní krátkodobá zkouška;
- mikrozkouška trvanlivosti;
- snížení míry opotřebení;
- použití nástroje se sníženou řezivostí;
- zvýšením řezné rychlosti.

Nepřímé metody zjišťování obrobitelnosti:

- dynamická metoda (měření sil při obrábění);
- měření tvrdosti obrobku;
- mikrometrická metoda (při stejné hodnotě drsnosti);



- porovnání tvaru třísky;
- Leyensetterova metoda;
- vrtání při konstantním tlaku;
- pomocí teploty řezání;
- měření hloubky zpevněné vrstvy.

Není cílem těchto skript detailněji popisovat jednotlivé metody krátkodobých zkoušek obrobiteľnosti. Podrobněji se jimi zabývá mnoho literatury, např. Experimentální metody v obrábění, vydané v roce 2007 ve spolupráci VŠB – TU Ostrava a Žilinské univerzity autorů Brychta, Čep, Neslušán, Turek, Tabaček.



## 2 KONTROLNÍ OTÁZKY

- Jaké znáte základní mechanismy opotřebení řezných nástrojů?
- Popište abrazi, adhezi a difuzi při opotřebení.
- Popište oxidaci, plastickou deformaci a křehký lom při opotřebení.
- Jaké známe typy opotřebení?
- Jak měříme opotřebení nástrojů přímými metodami?
- Jak měříme opotřebení nástrojů nepřímými metodami?
- Co je to životnost a co trvanlivost?
- Jak se vypočítá životnost a trvanlivost?
- Napište zkrácený Taylorův vztah a popište ho.
- Co je to obrobiteľnosť?
- Jaký je rozdíl mezi absolutní a relativní obrobiteľnosťí?
- Jak se značí obrobiteľnosť?
- Popište dlouhodobou zkoušku stanovení obrobiteľnosti.
- Jaké známe krátkodobé zkoušky obrobiteľnosti?



### 3 PŘEDNÁŠKOVÝ TEXT SE VZTAHUJE K TĚMTO OTÁZKÁM

- 6. Opotřebení, trvanlivost a životnost nástroje
- 7. Obrobitelnost materiálů



## 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.

