

Teorie třískového obrábění

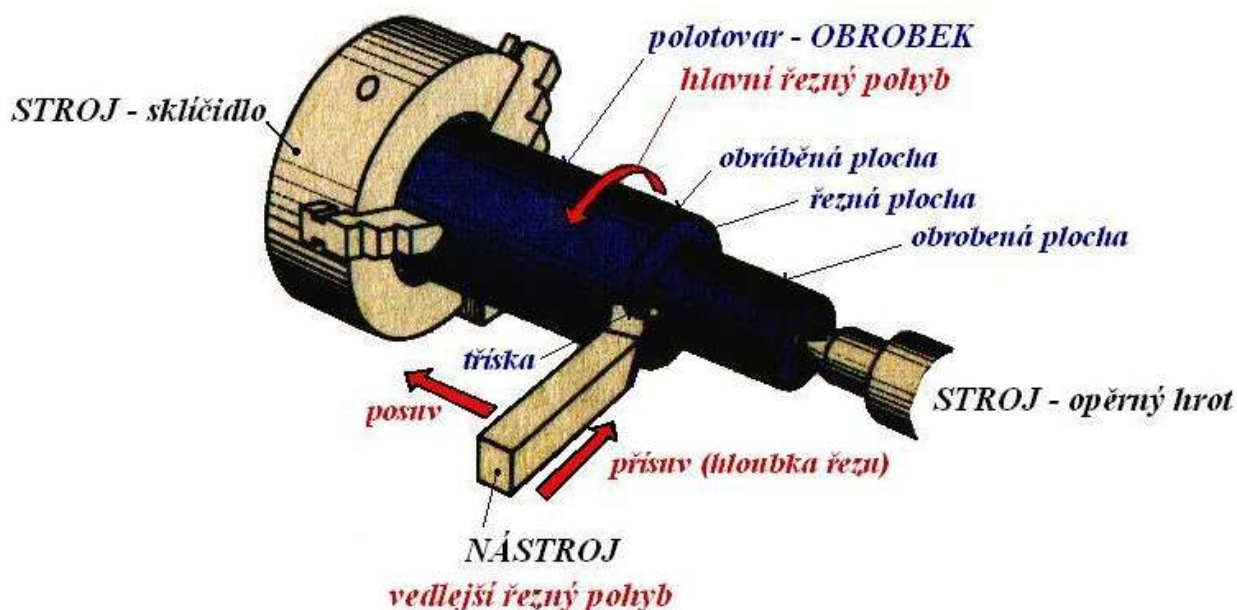
1.1 Fyzikální podstata procesu obrábění

Fyzikální podstatou obrábění je **řezání**, při kterém je oddělováno jisté množství materiálu, tzv. *přídavek na obrábění*, mechanickým účinkem nástroje, jehož řezná část má tvar klínu a je tvrdší než obráběný materiál.

Proces obrábění lze uskutečnit:

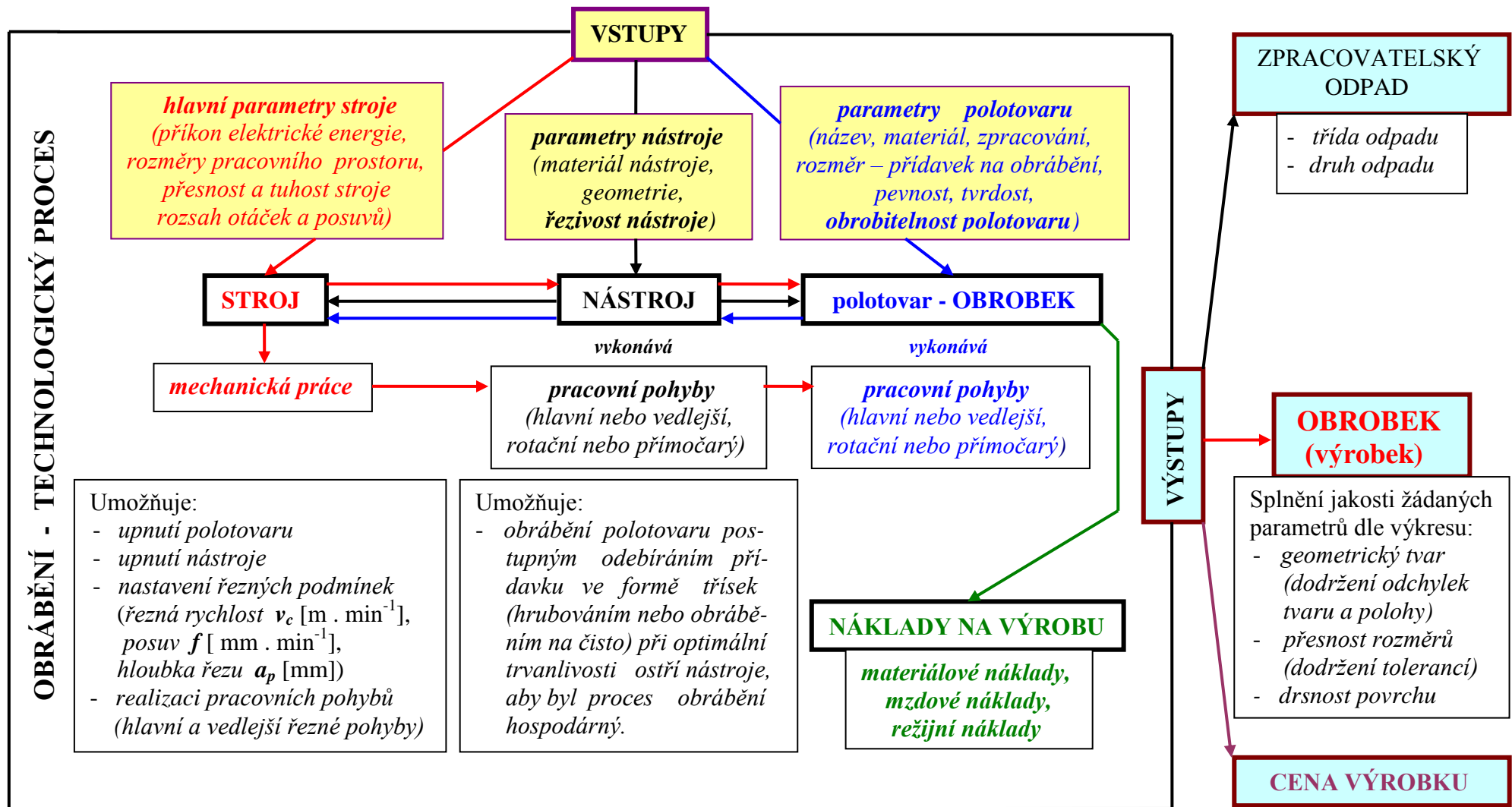
- **řezáním** - nástroj má definovaný počet břitů i tvar břítu,
- **abrazí** - nástroj má břity nedefinovaného počtu a tvaru,
- **erozí** - materiál je odstraňován procesem eroze.

Cílem všech metod obrábění je dát obrobku požadovaný geometrický tvar, rozměr a také dosáhnout odpovídající kvality obrobenej plochy při maximální efektivitě procesu obrábění.



Obr. 178 Soustava stroj – nástroj – obrobek a základní pojmy procesu řezání

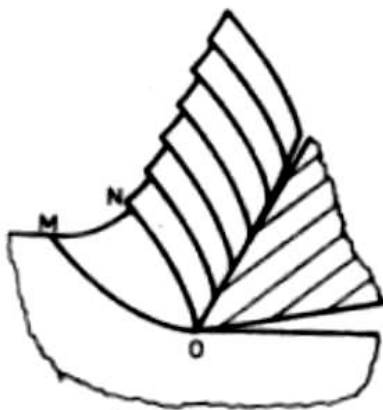
Systémově je **obrábění** technologický proces, jehož hlavními prvky jsou **stroj – nástroj – obrobek**. Hlavními vstupy do systému jsou – **hlavní parametry stroje**, který převádí elektrickou energii na mechanickou práci, dále to jsou **parametry nástroje** – zejména jeho **řezivost** a **parametry polotovaru – obráběného materiálu** – zejména jeho **obrobitelnost**. Vzájemnou interakcí výše uvedených hlavních prvků systému dochází odebráním třísek k postupnému přetváření polotovaru ve výrobek, kterému říkáme **obrobek**, a který je výstupem tohoto technologického procesu. Soustavu stroj – nástroj – obrobek zachycuje obr. 178 a obrábění jako technologický proces, tj. systém a vzájemné vztahy mezi jeho prvky ilustruje schéma na obr. 179.



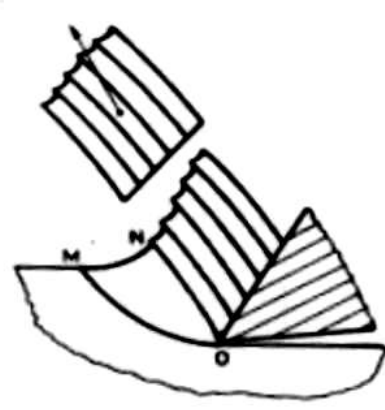
Obr. 179 Obrábění jako technologický proces – systémové schéma

1.2 Mechanika procesu řezání a tvorba třísky

Při řezání se oddělovaná nedeformovaná vrstva na obrobku mění v *třísku*. Dochází při tom k plastické deformaci, která je ovlivněna druhem, vlastnostmi obráběného materiálu a podmínkami, za kterých probíhá; hlavně deformační rychlostí a teplotou. Výsledným projevem této plastické deformace je oddělení třísky formou *lom*. Dochází k tomu na konci tzv. *oblasti primární plastické deformace*, kde je již plasticita materiálu vyčerpána a dochází tedy ke kluzu uvnitř materiálu. Vznikají tak jednotlivé elementy (lamely), které s ohledem na vlastnosti obráběného materiálu se buď od sebe navzájem neoddělují, čímž vzniká *tříška tvářená*, která může být *plynulá* nebo *dělená*, nebo se od sebe oddělují, tj. případ *netvářené třísky*, kdy obrobený materiál odletuje z místa řezu ve formě jednotlivých malých elementů. Dochází k tomu při obrábění tvrdých a křehkých materiálů např. skla, kalené oceli apod. Naopak tvářená tříška se tvoří při obrábění většiny běžně používaných strojírenských materiálů.

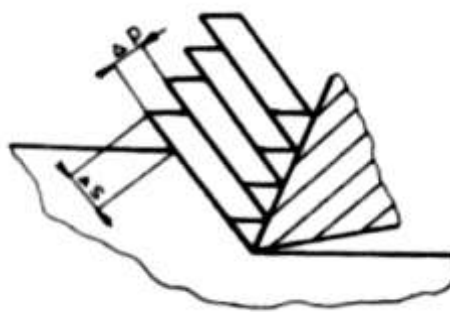


Obr. 180 Tříška tvářená – plynulá



Obr. 181 Tříška tvářená – dělená

Ve výše uvedených obrázcích 180 a 181 je také vyznačena oblast MNO – *oblast primární plastické deformace*, která může například při vysoké řezné rychlosti být velmi úzká a tvorbu elementů je možno si zjednodušeně představit podle obr. 182.



Obr. 182 Zjednodušená tvorba elementů

U technologických procesů, kdy nástroj periodicky nevychází z obráběného materiálu (například při soustružení), je požadavek na vytváření třísek o malých délkách velmi silný z důvodu jejich skladnosti, manipulace s nimi a také jejich dalšího zpracování.

Tvary třísek jsou hodnoceny podle tabulek, v nichž bývá uveden také tzv. **objemový součinitel** W , který je dán vztahem:

$$W = \frac{V_t}{V_m}$$

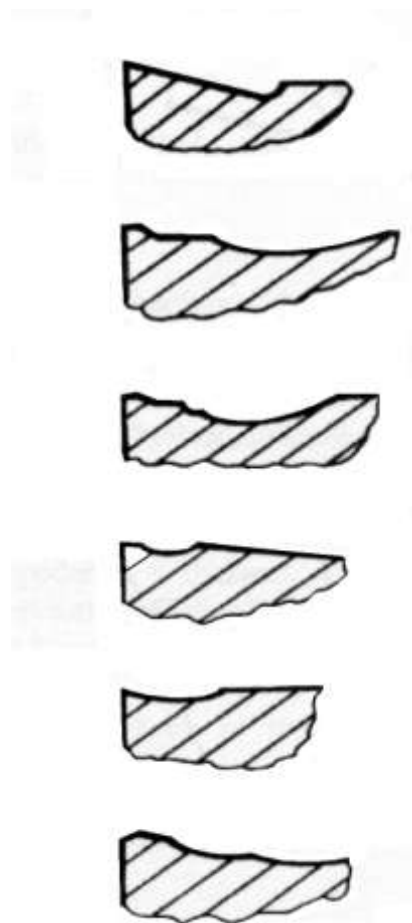
kde V_t je objem volně ložených třísek

V_m je objem odebraného materiálu, ze kterého vznikl uvažovaný objem třísek.

Orientační hodnoty objemového součinitele vystihuje pro některé tvary třísek následující tabulka:

Tab. 10 Hodnocení tvarů třísek

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

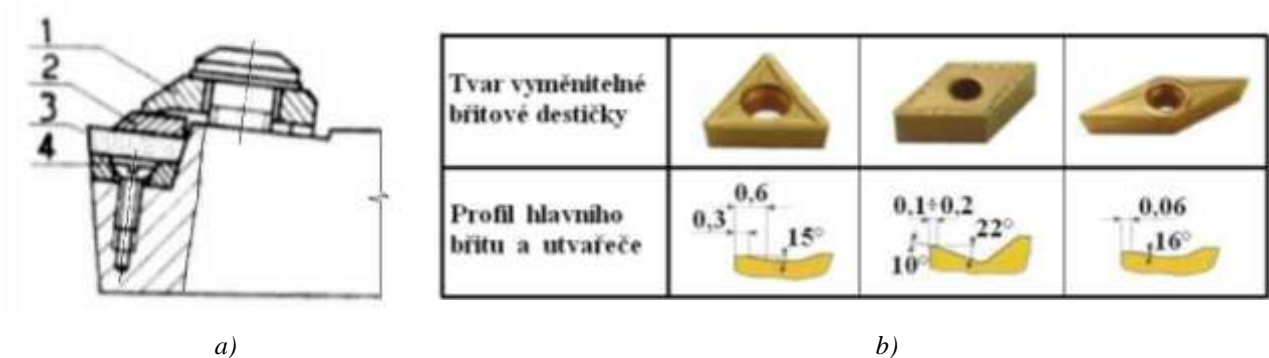


Obr. 183 Utvařeče (lamače) třísek

Na tvar třísek mají kromě obráběného materiálu vliv také **řezné podmínky**, zejména hloubka řezu (respektive tloušťka třísky) a_p a velikost posuvu f , což pak tvoří v grafech, kterých se v praxi využívá, takzvané **oblasti vhodného utváření třísky**.

Pro zlepšení dělení třísek se vytvářejí na čelech obráběcích nástrojů takzvané **utvařeče (lamače) třísek** - viz obr. 183. Tyto utvařeče se dnes realizují u **vyměnitelných břitových destiček**

ze slinutých karbidů hlavně *lisováním*, méně často se již utváření třísek řeší pomocí *příložných utvařečů* – viz obr. 184. Výrobci těchto destiček nabízejí většinou tři základní druhy utvařečů podle charakteru práce a to: *pro hrubování, střední hrubost práce a obrábění na čisto*.



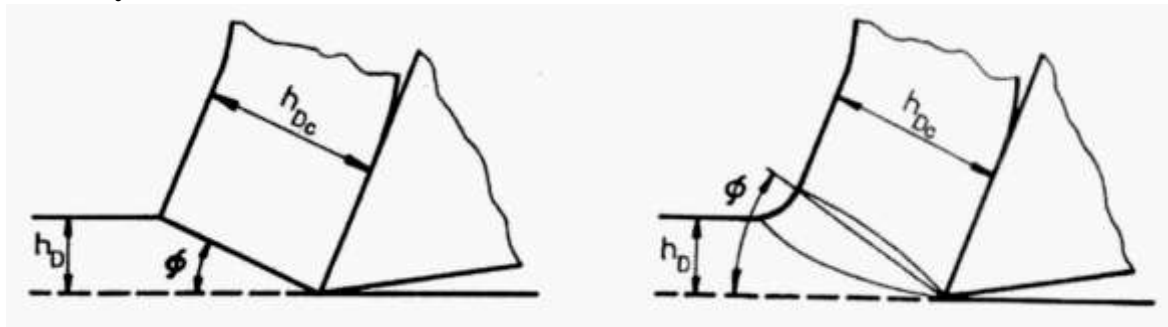
Obr. 184 Praktická realizace utvařečů třísek:

- a) Příložný utvařeč: 1 – upínka, 2 – utvařeč třísek, 3 – břitová destička, 4 – podložka
 b) Lisované utvařeče na vyměnitelných břitových destičkách

1.3 Průvodní jevy procesu řezání

1.3.1 Pěchování třísky

Tloušťka odřezávané vrstvy h_D je vždy menší než tloušťka třísky h_{Dc} . Je to důsledek *plastické deformace materiálu v oblasti primární plastické deformace*, během které je materiál pěchován. Podobně délka třísky l_c je menší než délka dráhy nástroje l , na níž vznikne tříska právě o délce l_c .



Obr. 185 Charakteristiky tvoření třísky

Rozdíl mezi výše uvedenými parametry charakterizuje *součinitel pěchování* A_h , který můžeme vyjádřit na základě následujících vztahů:

$$K_s = \frac{A_{Dc}}{A_D} = \frac{h_{Dc} \cdot b_{Dc}}{h_D \cdot b_D} = \frac{h_{Dc}}{h_D}, \text{ neboť přibližně platí } b_D = b_{Dc}$$

Respektive porovnáním délek:

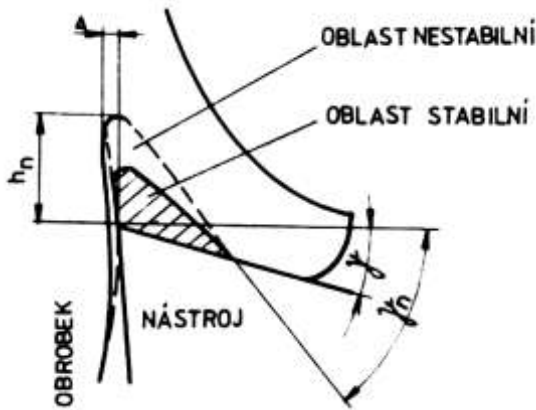
$$K_l = \frac{l}{l_c}$$

Prakticky platí:

$$A_h = K_S = K_l$$

Výše uvedený součinitel pěchování charakterizuje plastickou deformaci obrábění v oblasti primární plastické deformace a energetickou náročnost obrábění. Na *obr. 185* je také naznačen úhel střižné roviny Φ , charakterizující velikost a tvar oblasti primární plastické deformace.

1.3.2 Nárůstek a jeho tvorba



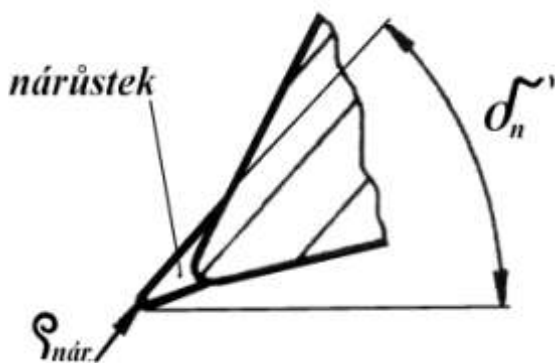
Obr. 186 Geometrické charakteristiky nárůstku

Tříška, která se vytvořila v důsledku plastické deformace odřezávané vrstvy, odchází po čele nástroje, přičemž se již nedeformuje. Při pohybu musí překonávat třecí síly a je vystavena účinkům obrovského normálního tlaku (10^4 až 10^5 MPa) a vysoké teploty. To vede k vytváření **adhezních spojů** mezi třískou a nástrojem, které brání plynulému pohybu třísky, což vede k rozrušování adhezních spojů a to má za následek růst tečných napětí ve vrstvách nejbližší čelu nástroje. Tato tečná napětí vyvolávají v tříске další plastickou deformaci, která je označována jako **sekundární**.

Takto zdeformovaná vrstva nebo její část může zůstat spojená s nástrojem a dochází ke vzniku **nárůstku**. Jak je z obrázku patrné, má dvě oblasti:

- *oblast stabilní*, která je pevně spojena s nástrojem,
- *oblast nestabilní*, tvořící špičku nárůstku.

Všeobecně platí, že stanovení přesné hranice mezi těmito oblastmi není možné. Nárůstek po určitou dobu bývá stabilní a nestabilní je pouze jeho vrchol, řídící se periodickým procesem rušení a obnovování. Elementy špičky nárůstku mohou odcházet buď s třískou a nebo se nalepují na obrobenou plochu a tím zhoršují její kvalitu – viz *obr. 188*. Stabilní nárůstek do jisté míry přebírá funkci břitů, břit chrání, zmenšuje opotřebení nástroje, mění však jeho geometrii (hlavně úhel řezu δ – přechází v δ_n , a poloměr zaoblení ostří nástroje je dán neustále se měnícím poloměrem nárůstku – $\rho_{nár}$). Tím však také negativně ovlivňuje rozměr obrobku, jak je patrné z *obr. 187*.

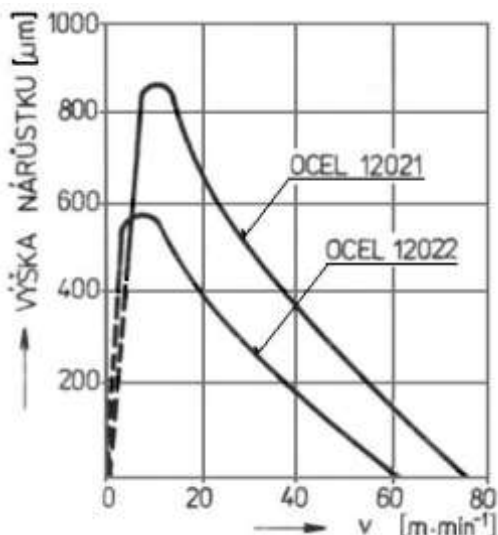


Obr. 187 Obvyklý tvar nárůstku



Obr. 188 Postupné zvětšování nárůstku

Experimentálně bylo prokázáno, že nárůstek vzniká tehdy, je-li hodnota *součinitele tření* f na čele nástroje větší než 0,5. Jednou z možností, jak odstranit tvoření nárůstku, je tedy *mazání*. Další možností je použití nástrojů s vyměnitelnou břitovou destičkou ze slinutých karbidů, které umožňují *obrábění při vysokých řezných rychlostech*, kdy se nárůstek netvoří, neboť při vysoké deformaci je kov vstupující do oblasti sekundární zóny deformace teplejší než vlastní tříška a tato teplá vrstva působí jako jistý druh maziva mezi třískou a čelem nástroje.



Jak již bylo výše uvedeno, nárůstek mění podmínky řezání, ale přítomnost jeho vzniku je primárně dána řeznými podmínkami. Jak je zřejmé z *obr. 189*, dosahuje maximálních rozměrů pro řezné rychlosti $v \cong 15 \text{ [m} \cdot \text{min}^{-1}]$. Tyto hodnoty se ještě mění s vlastnostmi materiálu obrobku. S rostoucím posuvem se rovněž zvětšuje výška nárůstku, zatímco změna hloubky řezu nevykazuje takřka žádný vliv.

Obr. 189 Výška nárůstku v závislosti na řezné rychlosti

1.3.3 Povrchová vrstva

Při obrábění vzniká napětové pole, které vyvolává určitý stav deformace. Tyto deformace jsou ovlivňovány i teplotním polem, které mění vlastnosti materiálu. Jak je z *obr. 190* patrné, bude mít *poloměr zaoblení ostří nástroje* ρ značný vliv na velikost deformace povrchové vrstvy, u které dojde v důsledku plastické deformace ke *zpevnění*, což se výrazně projeví hlavně u tvárných materiálů. Hloubka a intenzita zpevnění bude také závislá ještě na řezné rychlosti, tloušťce a šířce odřezávané vrstvy a také na geometrii nástroje.



Legenda:

- BAC – styk břitu nástroje s plochou řezu
- Δa - stlačovaná vrstva materiálu (celková deformace)
- $\Delta a'$ - odpružení stlačovaného materiálu (pružná deformace)
- ρ - poloměr zaoblení ostří nástroje

Obr. 190 Znázornění vzniku stlačeného pásma v povrchové vrstvě

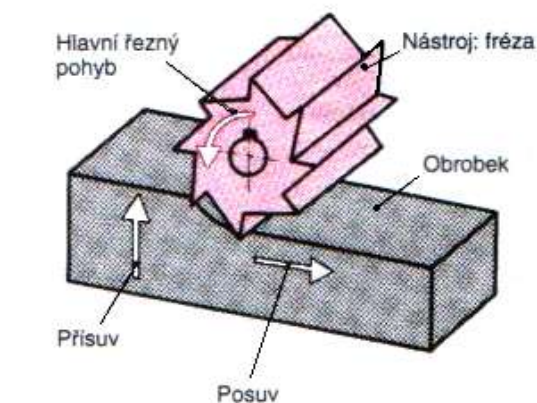
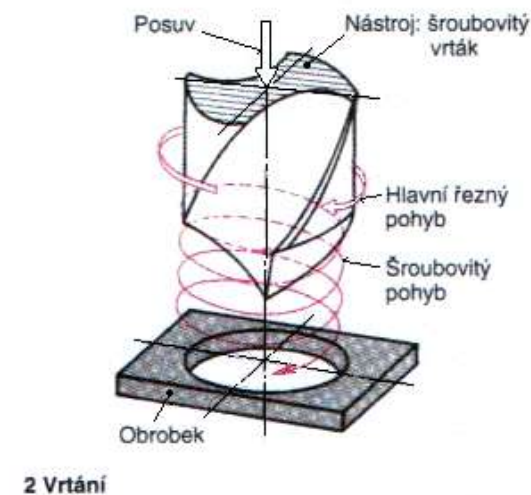
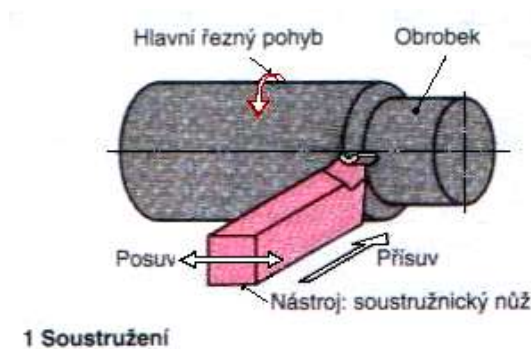
Takto zpevněná povrchová vrstva má příznivý vliv na mechanické opotřebení obrobené plochy a zvyšuje její odolnost proti korozi.

Vlastnosti povrchové vrstvy ovlivňují také tzv. **zbytková pnutí** jako důsledek poruch struktury, vyvolaných plastickou deformací a také objemových změn strukturálních složek, což je výsledek fázových změn. Zbytková pnutí po obrábění je možno rozdělit do dvou skupin:

- vzniklá v důsledku mechanických účinků – jsou obvykle *tlaková (záporná)* a působí pozitivně neboť zvyšují *mez únavy* σ_c obrobku;
- vzniklá v důsledku tepelného účinku – jsou obvykle *tahová (kladná)* a působí negativně, neboť jsou zdrojem povrchových trhlin, které vedou naopak k *únavovým lomům*.

1.4 Metody třískového obrábění

1.4.1 Základní pojmy a charakteristika metod obrábění



Metoda (způsob) obrábění je určena druhem nástroje a pracovními pohyby, které se dějí na příslušném obráběcím stroji.

Na obr. 191 je vyobrazeno pět hlavních metod obrábění: *soustružení, vrtání, frézování, broušení a hoblování (obrážení)*. U všech těchto způsobů rozlišujeme tyto pracovní pohyby: *hlavní řezný pohyb, vedlejší pohyb – posuv, přísuv; výsledný řezný pohyb a najíždění*.

Hlavní řezný pohyb je složka řezného pohybu, která se shoduje se základním pohybem obráběcího stroje. Může být buď *rotační (otáčivý)* – v případě soustružení jej vykonává *obrobek* a v případě vrtání, frézování a broušení jej koná *nástroj*. Nebo může být *přímočarý* – v případě hoblování jej vykonává *obrobek* a v případě obrážení jej koná *nástroj*. Podle toho se tříska odebere buď při jedné otáčce, nebo při jednom zdvihu obrobku, případně nástroje.

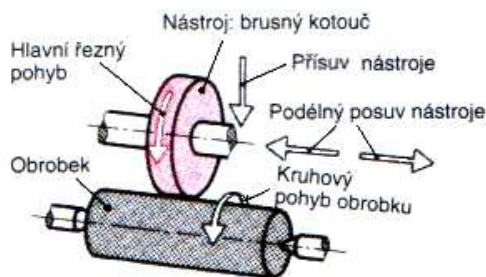
Je charakterizován tzv. *řeznou rychlostí v [m.min⁻¹]*, resp. *[m.s⁻¹]*. Při rotačních pohybech se vypočte ze

vztahu:
$$v = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000}$$
, kde D je průměr obrobku

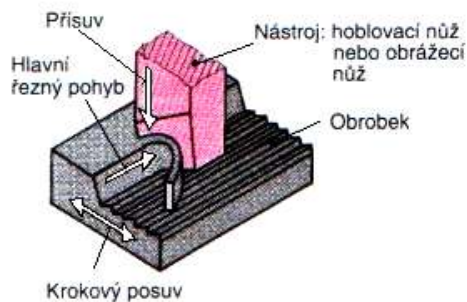
nebo nástroje v [mm] a n jsou otáčky obrobku nebo nástroje [1.min⁻¹], resp. [1.s⁻¹].

Vedlejší pohyb – posuv je při rotačním hlavním řezném pohybu (soustružení, vrtání, frézování, broušení) *plynulý* a při přímočarém hlavním řezném pohybu (hoblování, obrážení) se staví po krocích

v úvratí obrobku nebo nástroje. Obrábění tedy probíhá buď během několika otáček, nebo během několika zdvihů, případně dvojzdvihů.



4 Broušení



5 Hoblování / obrážení

Rozeznáváme:

posuv na otáčku: f [$mm \cdot ot^{-1}$],
posuv za minutu: f_m [$mm \cdot min^{-1}$], což je vlastně
posuvová rychlost: v_f [$mm \cdot min^{-1}$]
posuv na zub: f_z [$mm \cdot z^{-1}$],
posuv na zdvih: f_{zd} [$mm \cdot zd^{-1}$],
a na dvojzdvih: f_{dz} [$mm \cdot dz^{-1}$].

Pozn.: Ve starší literatuře je zavedené označení pro posuv s - vždy s příslušnými indexy: s_{ot} , s_m , s_z , s_{zd} , s_{dz} .

přisuv je dán nastavením vzájemné polohy nástroje a obrobku. Pak jej označujeme t [mm]. Určuje zároveň hloubku řezu (záběru) nástroje, kterou značíme a_p , nebo ve starší literatuře je zavedené označení h [mm].

Obr. 191 Hlavní metody obrábění

Výsledný řezný pohyb vzniká při obrábění jako složený pohyb ze dvou výše jmenovaných složek. Například u soustružení a vrtání má tvar **šroubovice** a u frézování má tvar **cykloidy**.

Pro všechny výše uvedené metody je společné, že se realizují na **obráběcích strojích**, což vždy zahrnuje:

- upnutí obrobku
- upnutí nástroje
- realizaci pracovních pohybů.

Klíčové postavení mezi výše uvedenými metodami má **soustružení**, a proto také je hlavním předmětem zkoumání procesů v třískovém obrábění. Nejlépe totiž vystihuje jeho podstatu spojenou s vnikáním řezného nástroje v podobě klínu do materiálu.