



# STROJÍRENSKÁ TECHNOLOGIE 2

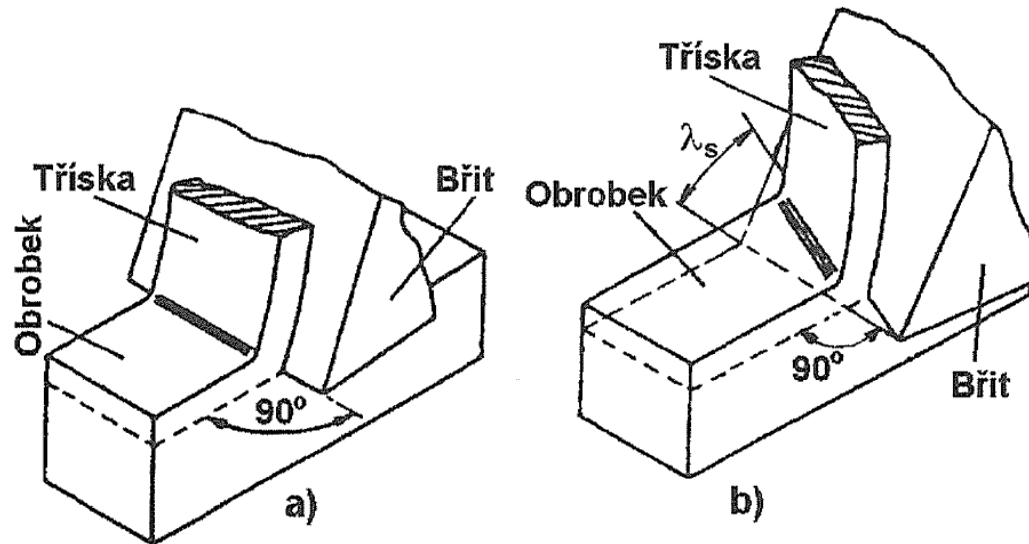
PŘEDNÁŠKA III., IV

# Fyzikální základy procesu řezání

Prioritním výstupem jsou parametry obrobenej plochy.

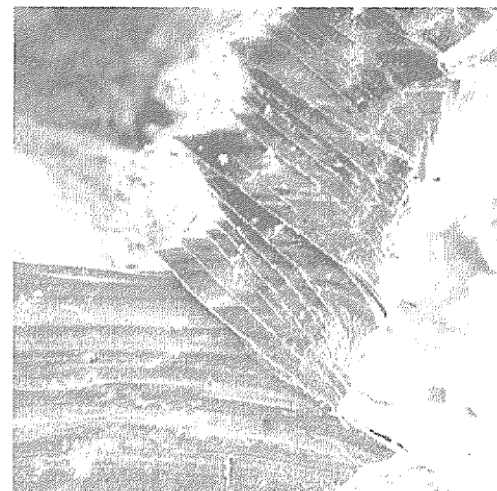
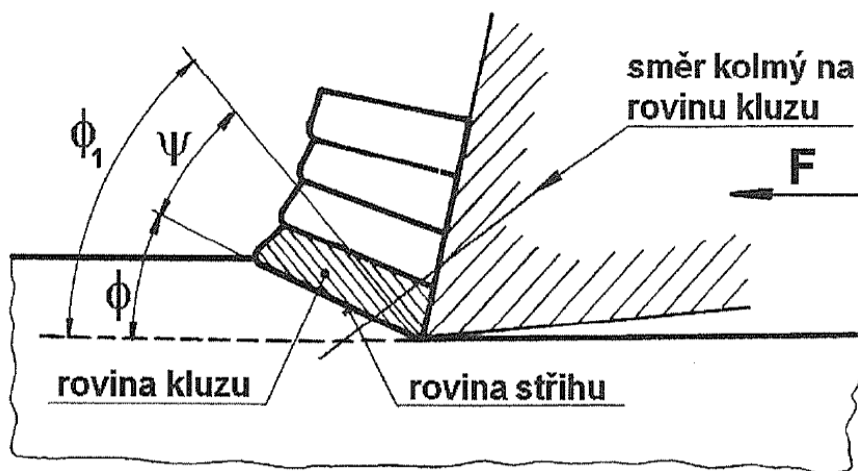
Můžej se realizovat jako:

- **ortogonální řezání (a)** – ostří kolmé na směr řezného pohybu a řeší se v rovině (zapichování, frézování s přímými zuby, protahování...)
- **obecné řezání (b)** – je potřeba řešit v prostoru (podélné soustružení, vrtání, frézování se zuby ve šroubovici...)



# Plastická deformace

Při vnikání nástroje do materiálu je břít tlačěn do obrobku silou  $F$ . Před a pod břítem se koncentruje napětí. To má za následek vznik plastické a pružné deformace. Smyková napětí rostou do té míry než dojde k plastické deformaci pře břítem (posuv vrstev v kluzných rovinách pod úhlem  $\Phi_1$ ). Pohyb nástroje pokračuje, roste plastická deformace a dochází k pěchování a posunu vrstev materiálu. Zde končí plastická deformace.

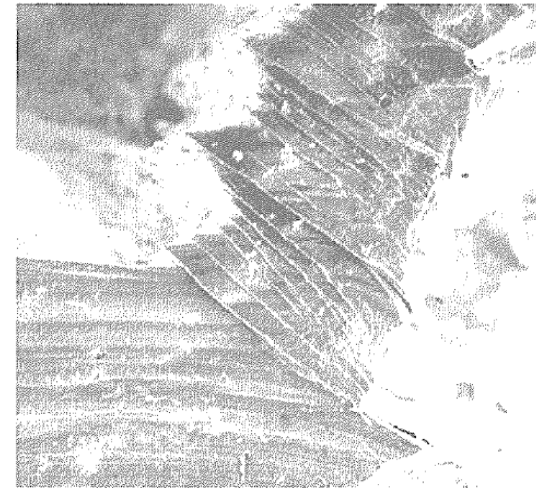
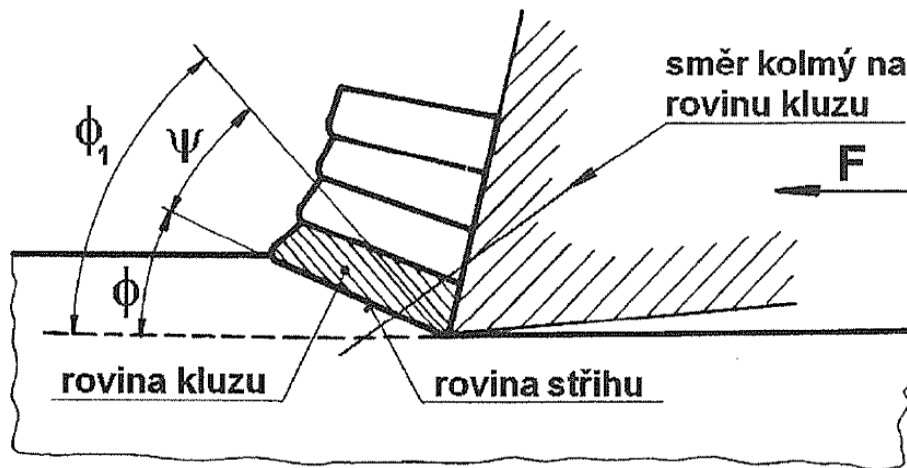


Vznik třísky



# Střih materiálu

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  $\Phi$ .



Vznik třísky



# Oblasti deformací

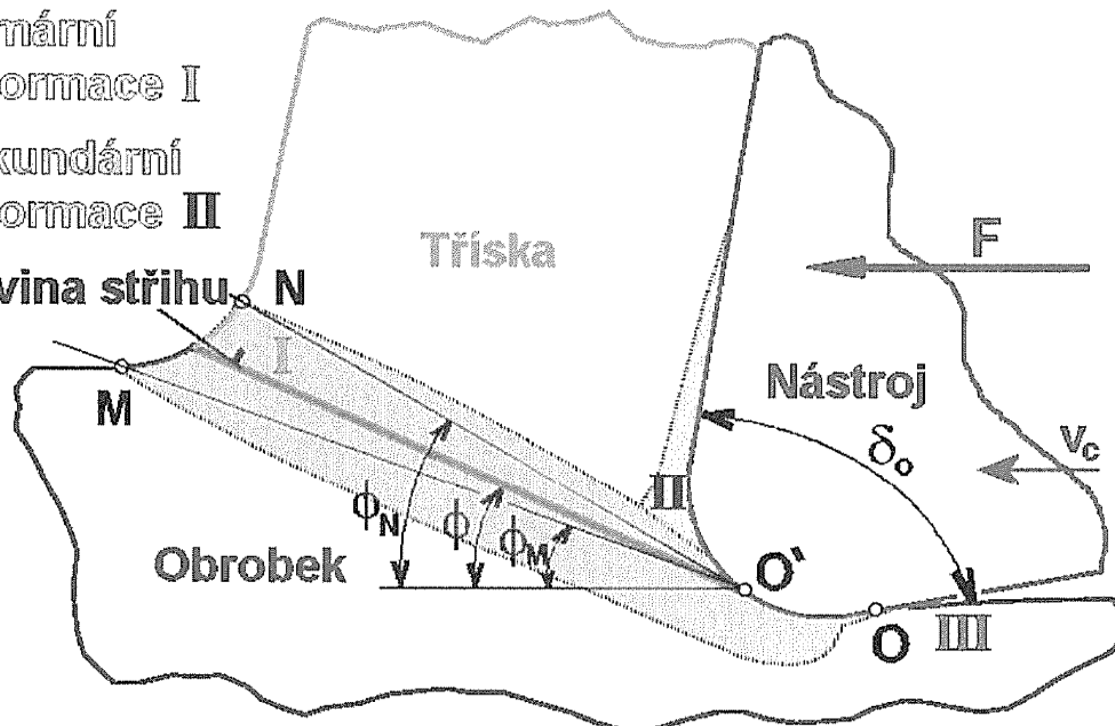
Při vnikání břitu do materiálu vznikají deformace v těchto oblastech:

- před břitem nástroje, oblast primární plastické deformace (I - OMNO )
- v povrchových vrstvách styku třísky a čela nástroje (II – sekundární plastická deformace)
- v povrchové vrstvě obrobek plochy

Primární  
deformace I

Sekundární  
deformace II

Rovina stříhu, N



# Vlivy deformace

**Velikost a tvar oblasti OMNO' a stav napjatosti jsou proměnné a závisí na:**

- fyzikálních vlastnostech materiálu (deformační a zpevňovací schopnosti)
- řezné rychlosti  $v_c$  (s rostoucí rychlostí se oblast zužuje, při velmi vysokých rychlostech „HSC“ obě roviny splývají)
- geometrii nástroje (zejména úhel  $\gamma$ )
- řezné prostředí (chlazení)

**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 hřbetě v důsledku vlivu III)
- změnu textury materiálu v tříске i v povrchové vrstvě obrobené plochy
- vzniku zbytkových napětí v povrchové vrstvě obrobené plochy
- pěchování třísky (průřez a délka třísky neodpovídají teoretickým hodnotám)

# Tříška – objemový součinitel třísky

Tříška, jako doprovodný produkt řezání má mít určité vlastnosti z hlediska rozměrů a tvaru. Je to z důvodu lepší manipulovatelnosti při odvod ze stroje a další dopravy. Proto by měly zaujímat co nejmenší objem.

Tvar třísky je důležitý také pro efektivní využití nástroje (dlouhá plynulá tříška se namotává na nástroj a zvyšuje nebezpečí poškození a dosažení předepsaných vlastností povrchu. Proto je potřeba dosáhnout pokud možno vždy dělení třísky. Tvar závisí na více faktorech, nejvíce však na:

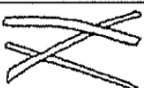



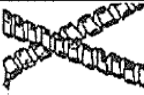


- vlastnostech obráběného materiálu
- geometrii nástroje a tvaru břitu (lamače, utvařeče)
- řezných podmínkách
- nástrojovém materiálu (tření)

Objemový součinitel  $W$  lze vyjádřit:

$$W = \frac{V_t}{V_m}, \text{ kde}$$

$V_t$  – objem volně ložených třísek [dm<sup>3</sup>]

$V_m$  – objem odebraného materiálu [dm<sup>3</sup>]

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			

# Práce a výkon řezání

K oddělení třísky musíme vynaložit určitou práci  $E$ . Skládá se z následujících složek:

$$E = E_p + E_e + E_t + E_d \text{ [J]}, \text{ kde}$$

$E_p$  – práce nutná k překonání plastických deformací (50-80%)

$E_e$  – práce nutná k překonání elastických (pružných) deformací (5-10%)

$E_t$  – práce nutná k překonání tření třísky po čele ( $E_{tč}$ ) a tření hřbetu po řezné ploše ( $E_{th}$ ) (20-40%)

$E_d$  – disperzní práce potřebná k vytvoření nového povrchu (1%)





# Tepelná bilance řezného procesu

Během obrábění se téměř veškerá práce přemění v teplo. Teplo řezného procesu  $Q_e$  je přibližně rovné práci řezného procesu. Vzniklé teplo nám 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 a hřbetě nástroje



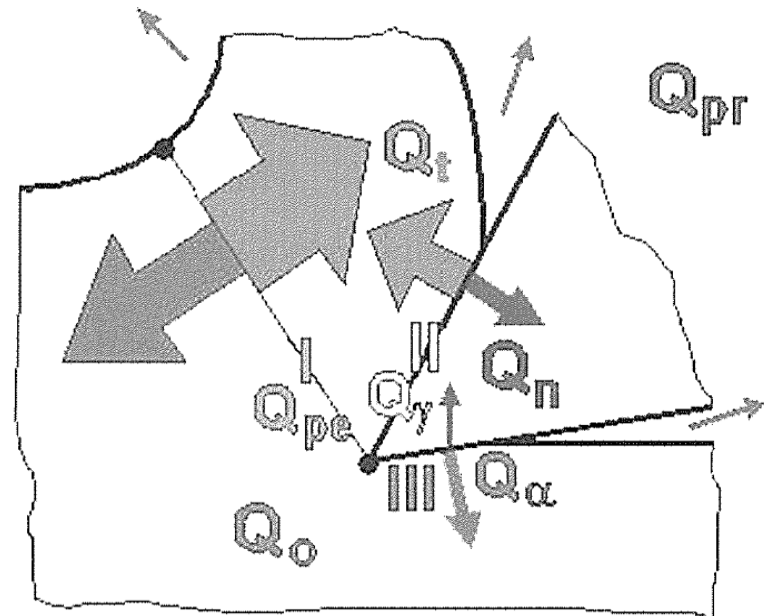
# Tepelná bilance řezného procesu

Teplo při obrábění vzniká v těchto oblastech:

- I ( $Q_{pe}$ ) oblast primární plastické deformace
- II ( $Q_\gamma$ ) oblast v důsledku tření mezi čelem nástroje a třísky
- III ( $Q_\alpha$ ) oblast v důsledku tření hřbetu nástroje a přechodové plochy

Vzniklé teplo je odváděno:

- třískou  $Q_t$
- nástrojem  $Q_n$
- obrobkem  $Q_o$
- řezným prostředím  $Q_{pr}$



Na základě předpokladu, že teplo vzniklé a odvedené musí být v rovnováze platí:

$$Q_{pe} + Q_\gamma + Q_\alpha = Q_t + Q_n + Q_o + Q_{pr} \text{ [J]}$$

# Teplota řezání

Teplota v zóně řezání závisí zejména na:

- kontaktu třísky a nástroje
- velikosti řezných sil
- třecích procesech mezi materiálem obrobku a nástroje

Identifikace teplotního pole je velmi složitý proces a vyžaduje složité měřicí systémy. Určuje se např. pomocí termokamery propojené s PC.

Dále se dá určovat střední teplota stykových ploch mezi nástrojem a obrobkem (označuje se též jako teplota řezání). Měří se pomocí:

- termočlánků
  - umělý
  - poloumělý
  - přirozený
- termodua (rozdíl napětí dvou nástrojů z rozdílných materiálů)
- pyrometry

# Řezné prostředí

Prostředí v místě řezu má vliv na kvantitativní, kvalitativní a ekonomické parametry řezného procesu. Řezná média by měla splňovat následující požadavky a jsou na ně kladeny tyto požadavky:

- **chladicí účinek** (je to schopnost média odvádět teplo z místa řezu)
- **mazací účinek** (médium vytváří na povrchu obrobku tenkou vrstvu, která snižuje tření mezi nástrojem a obrobkem)
- **čistící účinek** (má zajistit odstraňování třísek z místa řezu)
- **provozní stálost** (měřítkem je doba výměny a tím neměnné vlastnosti po dobu mezi jednotlivými výměnami)
- **ochranný účinek** (nesmí způsobovat korozi obrobku ani jinak napadat povrch)
- **zdravotní nezávadnost** (při práci přichází pracovník do přímého kontaktu s médiem, proto musí být zdraví neškodlivé)
- **ekologická odbouratelnost**
- **přiměřené provozní náklady** (souvisí se spotřebou řezného média a náklady)



# Řezné kapaliny

Řezné kapaliny lze rozdělit do dvou základních skupin:

- s převažujícím chladícím účinkem
- s převažujícím mazacím účinkem

Dále je lze podle složení rozdělit na:

- **vodní roztoky** (základem je voda, která se musí upravovat, s přídavkem přísad proti korozi, pěnivosti, smáčivosti, apod.)
- **emulze** (tvoří disperzní soustavu dvou nerozpustných kapalin (voda x olej)
- **mastné oleje**
- **zušlechtěné řezné oleje** (jsou na bázi minerálních olejů)
- **rostlinné oleje** (ekologicky nezávadné)
- **syntetické kapaliny** (mají vysokou provozní stálost, jsou složeny z glykolů)



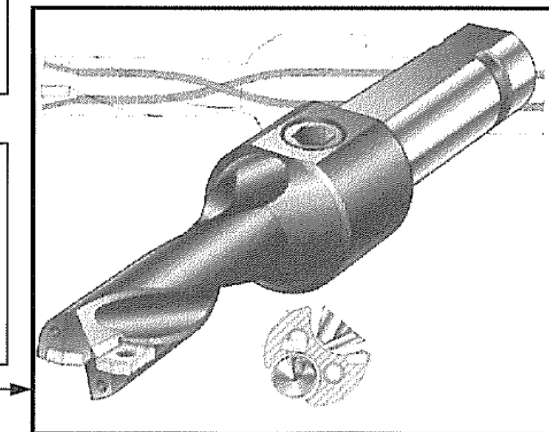
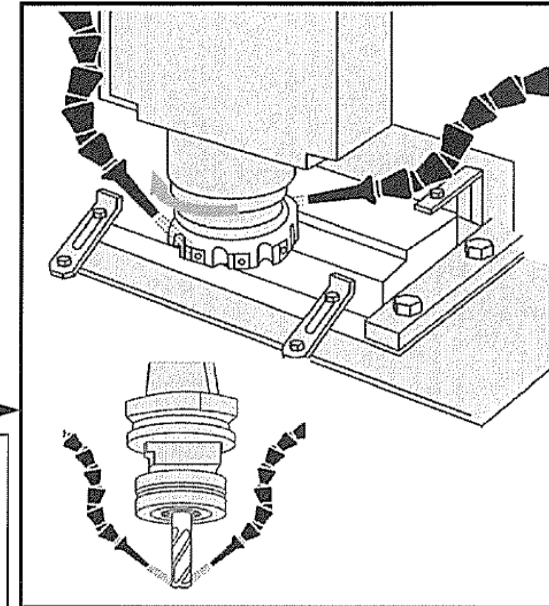
# Přívod do místa řezu

- **standardní chlazení** (je dodáváno potrubím z nádrže s chladicí kapalinou, dodáváno přímo výrobcem obráběcího stroje)

- **tlakové chlazení** (v podstatě podobné jako standardní, ale pod vysokým tlakem do místa řezu, používá se tam, kde je nebezpečí vysoké teploty)

- **chlazení řeznou mlhou** (řezná kapalina je rozptýlena tlakem vzduchu do prostředí, má velmi dobrý odvod tepla z místa řezu, protože mlha je schopna lépe přejímat teplo, někdy se používá i kapalin, které se poté odpaří – nemusí se likvidovat)

- **vnitřní chlazení** (do těla nástroje jsou vytvořeny otvory a kapalina je přiváděna přímo do místa řezu, vhodná pro nástroje s VBD, nevýhoda – poměrně drahé nástroje)



# Plynné řezné prostředí

Toto prostředí se běžně nepoužívá, protože mají nízký chladicí a téměř žádný mazací účinek. Některé materiály se však chladí vzduchem, přiváděným pod tlakem do místa řezu.

Jedním z chladicích plynů je stlačený  $\text{CO}_2$ , ovšem tento plyn je poměrně drahý. Zvláštní aplikací je suché obrábění, kde řezným prostředím je okolní vzduch. Ovšem je otázka, zdali se to dá pokládat za chlazení. Souvisí to z rozvojem výkonných řezných materiálů, které nevyžadují chlazení.



# Fyzikální podstata opotřebení

Opotřebení je důsledkem funkce všech strojních součástí, které jsou ve vzájemném pohybu a kontaktu.

**Při obrábění dochází k relativnímu pohybu mezi**

nástroj – obrobek

nástroj – tříska

**a také ke kontaktu**

nástroj – obrobek (na hlavním a vedlejším hřbetě, na špičce nástroje)

nástroj – odcházející tříska (na čele nástroje)

**Proces opotřebení je jev velmi složitý a závisí na mnoha faktorech:**

- fyzikální a mechanické vlastnosti obráběného a nástrojového materiálu
- druhu obráběcí operace
- geometrii nástroje
- pracovních podmínkách
- řezném prostředí, apod.





# Základní mechanismy opotřebení

Mezi základní mechanismy opotřebení patří:

- abraze
- adheze
- difuze
- oxidace
- plastická deformace
- křehký lom

Mimo výše uvedené základní mechanismy uvádí odborná literatury i další:

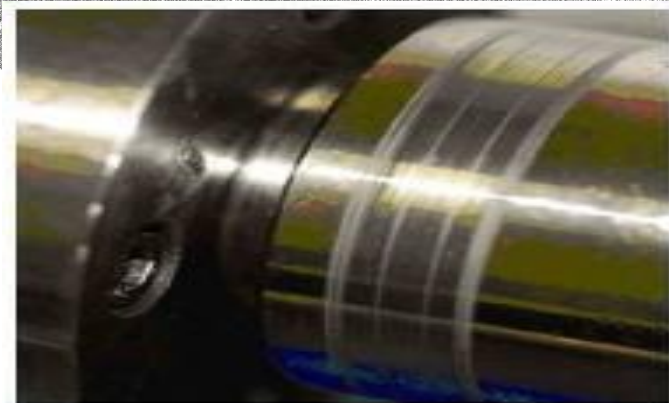
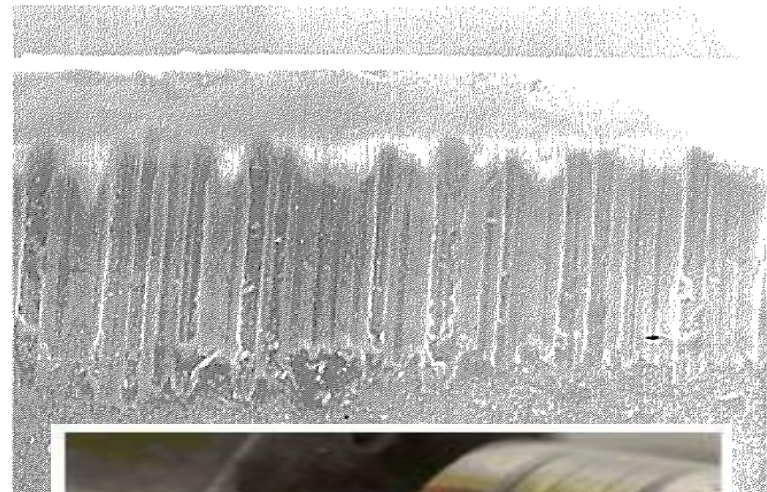
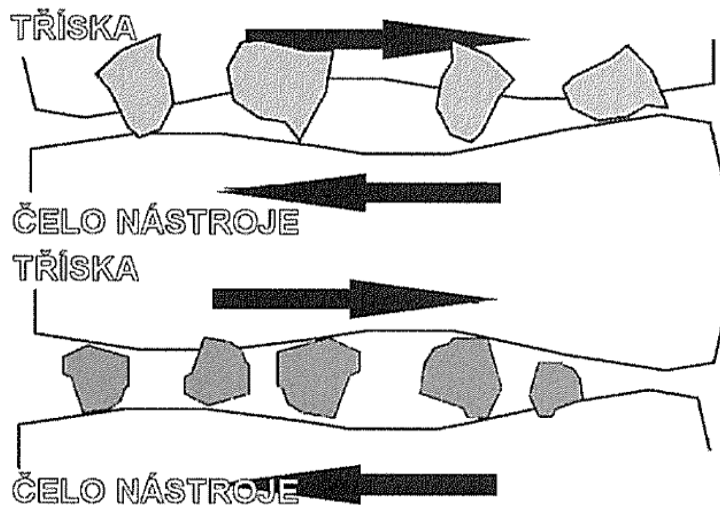
- **mechanická únava**
- **tepelná únava** (vytváření hřebenovitých trhlinek kolmých na ostří na čele i na hřbetě)
- **delaminační opotřebení** (odlupování tenkých vrstev z povrchu nástroje)
- **termoelektrické opotřebení** (odstraňování elektricky vodivého materiálu z funkčních povrchů nástroje)
- **rozpuštění nástrojového materiálu**
- **elektrochemické opotřebení**



# Abrazivní opotřebení

Tento druh opotřebení je velmi rozšířenou formou, která vzniká hlavně, ale ne výhradně, působením tvrdých částic v materiálu obrobku. Je to podobné jako při broušení, kdy se tvrdé částice dostávají mezi povrch obrobku a povrch nástroje.

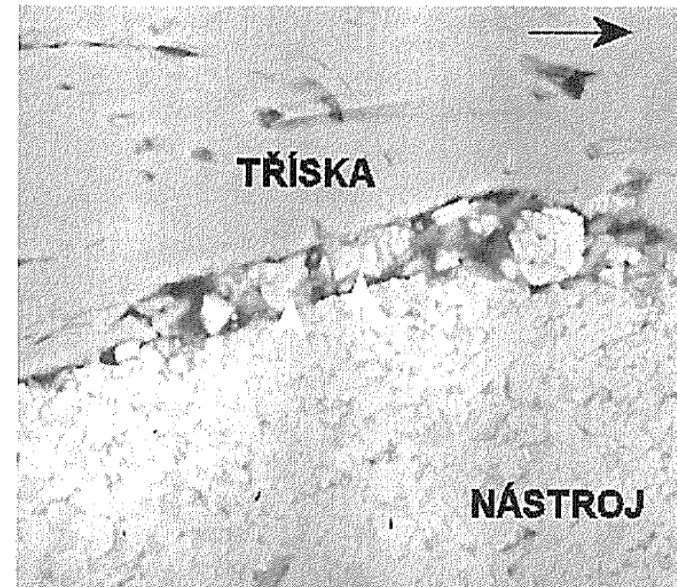
Schopnost bříty odolávat abrazivnímu opotřebení je nejvíce závislá na jeho tvrdosti. Řezný nástrojový materiál, který obsahuje hustou strukturu tvrdých částic, bude tomuto druhu opotřebení odolávat dobře. Nemusí však při obrábění odolávat ostatním druhům opotřebení



# Adhezní opotřebení

Tento jev vede k vytváření nárůstků mezi třískou a břitem. Jedná se přitom o dynamický jev, při němž dochází k navařování a vytvrzování vrstev z třísky. Ty se tak stávají součástí břitu.

Takto nárůstkem vytvořený břit může tvořit základ pro nové nárůstky na břitu a nebo může poškodit původní břit vydrolováním nebo výlomem.



# Difuzní opotřebenění

Vzniká působením chemických vlivů při procesu obrábění. Chemické vlastnosti řezného materiálu a jeho afinita vůči materiálu obrobku mají rozhodující vliv na průběh difuzního opotřebenění. Některé řezné materiály nereagují s materiálem obráběným vůbec, naopak jiné mají vztah k materiálu obrobku velmi silný. O podílu difuzního opotřebenění na celkovém opotřebenění rozhoduje víceméně chemické složení jak materiálu nástroje, tak materiálu obrobku.



# Oxidační opotřebení

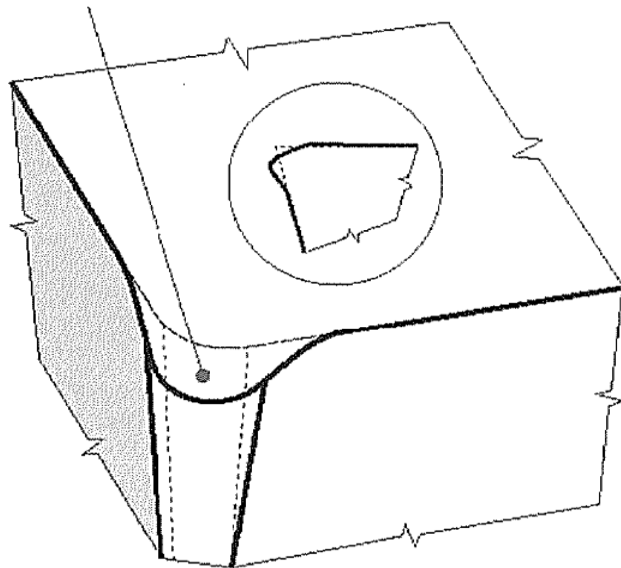
Vysoké teploty a okolní vzduch mají za následek oxidaci většiny kovů. Každý z materiálů je proto k oxidačnímu opotřebení náchylný s jinou intenzitou. Speciálně v místě kontaktu bříty, kde končí šířka třísky (dle hloubky řezu), má vzduch přístup do řezného procesu. V tomto případě vznikají působením oxidace typické žlábkové vady, které jsou v současné době relativně vzácným fenoménem. Jedná se v podstatě o vznik chemických sloučenin na povrchu nástroje.



# Plastická deformace

Je to důsledek vysokého tepelného a mechanického zatížení, které se může projevit v nejhorším případě jako tzv. lavinovité opotřebení.

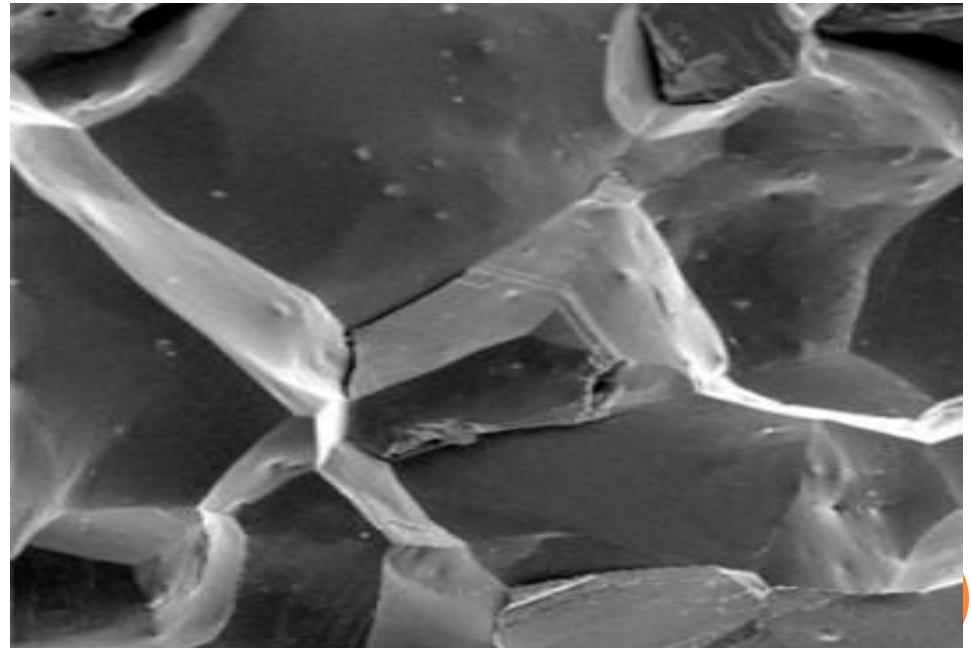
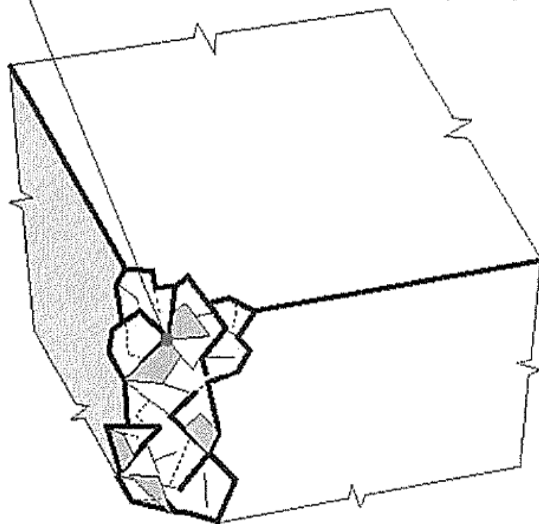
Plastická deformace špičky



# Křehký lom

Má velmi často termomechanické příčiny. Kolísání teplot a zatížení řeznými silami mohou vést k vydrolování a lomu řezného nástroje. Řezné nástrojové materiály reagují na tato zatížení různě. Mechanická únava může být vyvolána s ohledem na mechanickou pevnost břitu příliš vysokými řeznými silami. Nejčastěji bývá způsoben přerušovaným řezem, nehomogenitou nástroje nebo vměstkou v obrobku.

Křehké porušení v oblasti špičky



# Trvanlivost a životnost nástroje

**Trvanlivost** – je to součet všech čistých časů řezání od začátku obrábění a do opotřebení břitu na předem stanovenou hodnotu vybraného kritéria opotřebení.

**Životnost** – je definována jako součet všech trvanlivostí nebo celková doba funkce nástroje od uvedení činnosti do vyřazení (nástroje které lze ostřit do doby než je odbroušena celá funkční plocha, u VBD do doby než jsou použity všechny břity).





# Taylorův vztah

**Trvanlivost nástroje, podobně jako opotřebení závisí zejména na:**

- metodě obrábění (soustružení, frézování, apod.)
- vlastnostech obráběného materiálu
- vlastnostech nástrojového materiálu
- řezných podmínkách.

Počátkem 20. století zjistil F.W. Taylor, že nejvíce z řezných parametrů závisí trvanlivost na řezné rychlosti. Odvodil vztah na němž jsou do dneška odvozeny normy ISO. Tento vztah je znám jako Taylorův vztah nebo také jako T- $v_c$  závislost a užívá se ve vztahu (zjednodušený vztah):

$$T = \frac{C_T}{v_c^m}, \text{ kde}$$

$C_T$  – konstanta [-]  
 $v_c$  – řezná rychlost [m.min<sup>-1</sup>]  
 $m$  – exponent [-]



# Obrobitelnost materiálu

Je to jedna z nejdůležitějších vlastností materiálu a lze ji definovat jako schopnost konkrétního materiálu být zpracováván některou z metod obrábění. Je to hlavní činitel ovlivňující volbu rezných podmínek pro správnou funkci nástroje.

**Obrobitelnost je závisí na mnoha faktorech, zejména pak:**

- způsob výroby a tepelného zpracování obráběného materiálu
- mikrostruktura obráběného materiálu
- chemické složení obráběného materiálu
- fyzikální a mechanické vlastnosti obráběného materiálu
- metoda obrábění
- rezné podmínky
- rezné prostředí
- geometrie nástroje
- druh a vlastnosti nástrojového materiálu

Obrobitelnost je vlastnost relativní a určuje se porovnáním s jiným materiálem, obráběným za stejných podmínek.



# Obrobitelnost materiálu

Pro potřeby vyhodnocování jsou materiály obrobku rozdělené do 9 základních skupin:

**a – litiny**

**b – oceli**

**c – těžké neželezné kovy**

**d – lehké neželezné kovy**

e – plastické hmoty

f – přírodní nerostné hmoty

g – vytvrzené hmoty

h – pryže

v – tvrzené litiny pro výrobu válců

V jednotlivých skupinách je vždy vybrán tzv. REFERENČNÍ (dříve etalonový) materiál a k tomu je pak stanovována ona relativní obrobitelnost. Např. pro oceli je to materiál 12050.1.



# NÁSTROJOVÉ MATERIÁLY

## Nástrojové oceli

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

- **Uhlíkové oceli** (Tyto oceli jsou citlivé na tepelné zpracování a na druh použití, zejména při vyšších teplotách, kdy nástroje z uhlíkových ocelí ztrácí tvrdost. Jejich maximální teplotní odolnost je okolo 250°C. Vyrábí se z nich málo namáhané nástroje jako např. ruční nástroje a nářadí (pilníky, sekáče)).
- **Slitinové oceli** (Jsou více odolné proti otupení a mají vyšší tvrdost a pevnost za tepla. Vyrábí se z nich nástroje s vyšším namáháním. Hlavními oblastmi použití jsou tvářecí nástroje, zápustky, formy na plasty a jednoduché rezné nástroje (výhrubníky, protahováky, závitníky, pilové listy, dřevoobráběcí nástroje...). Odolávají teplotám do 350°C.
- **Rychlořezné oceli** (V porovnání s ostatními nástrojovými oceli mají několikanásobně vyšší řezivost a dobrou pevnost v ohybu. Mají též vysokou tvrdost a odolnost proti popouštění a snášení maximální teploty okolo 550 °C. Vyrábějí se z nich především namáhané nástroje pro obrábění (soustružnické a hoblovací nože, frézy, pilové kotouče, závitové čelisti a závitníky, tvarové nože...) a nástroje na opracovávání dřeva. Mohou se používat i při obrábění s rázy nebo při přerušovaném řezu.

# Slinuté karbidy

Jde o materiály vyráběné práškovou metalurgií. Struktura je tvořena karbidy vysocetavitelných kovů (WC a TiC) a pojivem, jenž bývá kobalt (Co). Jako další přísady se používají tantal, niob, apod. Jejich velký rozvoj zaznamenala změna způsobu upínání VBD. Ze starého způsobu pájení se přešlo na mechanické upínání destiček.

## Obecný postup výroby SK:

- příprava směsí prášků, mletí, míchání (karbidy + pojivo),
- formování směsí
- vysokoteplotní izostatické lisování (**HIP** - Hot Isostatic Pressing), kdy probíhá slinování za vysokých teplot a působení tlakového plynu, který zajistí rovnoměrný tlak na slinovaný výrobek ze všech směrů. Takto vyrobené slinuté karbidy mají vysokou hustotu, která se blíží teoretické hodnotě, s minimálním objemem pórů a jiných vad a při aplikacích pro řezné nástroje proto dosahují nejvyšších hodnot trvanlivosti.
- předslinování a slinování zformovaných směsí (1350-1650 °C)
- dodatečné úpravy povrchu (broušení, povlakování).



# Povlakování SK

V současné době se většina SK povlakuje oxidy, nitridy, karbidy a jejich kombinací. Hlavním cílem povlaků je:

- snížit koeficient tření na čele
- získání tvrdých povrchů při zachování houževnatého jádra
- zamezení vzniku nárůstků
- prodloužení životnosti nástroje

## Postupem času se povlaky vyvíjeli:

1. generace: jednovrstvý povlak (TiC), špatná přilnavost a soudržnost podkladu a povlaku
2. generace: jednovrstvé povlaky (TiC, TiN, TiCN), zdokonalení výroby, vyšší přilnavost, větší tloušťky povlaků
3. generace: vícevrstvý povlak (2-3 vrstvy) s ostře ohraničenými přechody, jasně dané řazení vrstev
4. generace: speciální vícevrstvé povlaky (10 i více) s méně výraznými přechody mezi vrstvami, vrstvy se řadí účelně



# Metody povlakování

## - PVD (fyzikální napařování)

Používala se pro povlakování rychlořezných ocelí, v poslední době zaznamenala významný rozvoj při povlakování SK. Povlak je vytvářen napařováním čistého kovu (Ti) pomocí elektrického oblouku. Výhodou je, že probíhá za relativně nízkých teplot a může povlakovat i ostré hrany. Nevýhodou je poměrně složitý systém vakuových komor a nutnost během povlakování pohybovat předměty aby došlo k dokonalému povlakování celého povrchu.

## - CVD (chemické napařování z plynné fáze)

Je to hlavní metoda povlakování SK. Je založen na reakci plynných chemických sloučenin u podkladu a následném uložení produktů reakce na povrchu. Nevýhodou jsou vysoké pracovní teploty, v poslední době je snaha tyto teploty snižovat. Výhodou je vysoká hustota a dobrá adheze povlaku.

## - MTCVD (chemické napařování za středních teplot)

Tato technologie umožňuje nanášet povlaky za podstatně nižších teplot než CVD. Výhodou je nárůst houževnatosti povlaku.



# CERMETY

Název tohoto materiálu vznik odvozením dvou slov CERamics a METal. Měl vykazovat dobré vlastnosti obou materiálů. Pevnost a tvrdost keramiky a houževnatost kovu. Charakteristickou vlastností je nízká měrná hmotnost (cca poloviční než SK). Rozšířil se zejména v Japonsku. Neobsahuje jako pojivo kobalt a těžký wolfram.

V Evropě se příliš nerozšířil, ale dá se použít při dokončovacím obrábění – použití vyšších řezných rychlostí a nižších posuvů oproti SK.





# Řezná keramika

Tento opomíjený materiál je charakterizován jako krystalický materiál se složkami nekovového charakteru. Pro dělení a značení keramických řezných materiálů neexistuje konkrétní norma, jako je tomu např. u slinutých karbidů či nástrojových ocelí. Každý autor uvádí své rozdělení ŘK po svém. Všeobecně se však přijímá následující dělení:

Na bázi oxidu hlinitého ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )

- čistá (oxidická) - 99,5%  $\text{Al}_2\text{O}_3$
- směsná -  $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{ZrO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{ZrO}_2 + \text{CoO}$
- vyztužená -  $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiC}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{ZrO}_2 + \text{TiC}$  ...

Na bázi nitridu křemíku ( $\text{Si}_3\text{N}_4$ ) -  $\text{Si}_3\text{N}_4 + \text{Y}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Si}_3\text{N}_4 + \text{TiC}$ , sialony



# Supertvrdé materiály

Sem lze zařadit dva materiály, které svojí tvrdostí a ořezuvzdorností převyšují ostatní nástrojové materiály a jsou to:

- kubický nitrid boru
- polykrystalický diamant

## **Kubický nitrid boru**

Používá se na obrábění tvrdých ocelí (nad 50 HRC), legované litiny a návarů. Dosahuje mnohem vyšší životnosti než NO, SK a také schopnost dosahovat vysoké jakosti povrchu. Využívá se s výhodou jako náhrada broušení rovinných ploch.

## **Polykrystalický diamant**

Nástroje osazené elementy z tohoto materiálu se používají na obrábění neželezných kovů a slitin (Al, Cu, apod.). Nehodí se na materiály obsahující uhlík, protože má k němu afinitu a zalepují se břity. Další oblastí použití jsou keramické a plastické hmoty, gumy, kompozity...

Obecně se u těchto materiálů používají velmi vysoké řezné rychlosti, při dodržení malých hloubek řezu (řádově desetiny mm) a malých posuvů a je vysloveně zakázáno chlazení!!



## *POZNÁMKA:*

### HRC – TVRDOST PODLE ROCKWELLA

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

