

SLOVENSKÁ POĽNOHOSPODÁRSKA UNIVERZITA
V NITRE
TECHNICKÁ FAKULTA

1128788

**Vplyv rezných podmienok na trvanlivosť nástroja pri
sústružení**

2010

Štefan Bában

**SLOVENSKÁ POĽNOHOSPODÁRSKA UNIVERZITA
V NITRE
TECHNICKÁ FAKULTA**

Bakalárska práca

Študijný program:	Manažérstvo kvality produkcie
Študijný odbor:	Kvalita produkcie
Školiace pracovisko:	Katedra kvality a strojárskych technológií
Školiteľ:	Ing. Ivan Kováč

ČESTNÉ VYHLÁSENIE

Podpísaný Štefan Bában vyhlasujem, že som záverečnú prácu na tému „Vplyv rezných podmienok na trvanlivosť nástroja pri sústružení“ vypracoval samostatne, s použitím uvedenej literatúry.

Som si vedomý zákonných dôsledkov v prípade, ak uvedené údaje nie sú pravdivé

Nitra, 30. 04. 2010

.....

podpis

POĎAKOVANIE

Na tomto mieste by som chcel poďakovať vedúcemu mojej bakalárskej práce Ing. Ivanovi Kováčovi za jeho odborné vedenie, metodickú pomoc a cenné rady, ktoré mi poskytol pri jej vypracovávaní.

ABSTRAKT

Cieľom bakalárskej práce bolo popísať, ako ovplyvňujú jednotlivé parametre pri sústružení trvanlivosť nástroja.

Metodika práce spočívala v zbere a v štúdiu odbornej technickej literatúry, ktorá sa zoberá jednotlivými aspektmi a ich vplyvom na proces obrábania. Trvanlivosť ostria nástroja je nepriamo úmerná intenzite opotrebenia, teplote rezania a iných faktorov, ktoré spolu súvisia až do úplného vyradenia nástroja z práce a nazývajú sa životnosťou nástroja.

Životnosť nástroja priamo ovplyvňuje hospodárnosť a ekonomickú efektivitu pri obrábaní.

Kľúčové slová: rezné podmienky, opotrebenie, trvanlivosť, sústruženie

ABSTRACT

The work describe how different parameters affect the durability of the turning tool.

The methodology consisted of works in the collection and study of specialized technical literature, which deals with particular aspects and their impact on the machining process. Cutting life of the instrument is inversely proportional to the intensity of wear, cutting temperature and other factors that are related to the complete exclusion of the instrument, called the work-life instrument.

Life instrument directly affects productivity and economic efficiency during operation.

Keywords: cutting conditions, wear durability, turning

OBSAH

OBSAH

ZOZNAM POUŽITÝCH JEDNOTIEK

ÚVOD.....	10
1 CIEĽ PRÁCE.....	11
2 METODIKA PRÁCE.....	11
3 SÚČASNÝ STAV PROBLEMATIKY	12
3.1 Strojové obrábanie.....	12
3.2 Charakteristika technológie sústruženia.....	12
3.3 Kinematika sústruženia	12
3.4 Rezné sily pri sústružení	13
3.5 Geometria rezného klina	15
3.6 Nástroje pre sústruženie	16
3.7 Rezné materiály.....	17
3.8 Parametre odrezávanej vrstvy	19
3.9 Vznik triesky	20
3.10 Druhy triesok.....	22
3.11 Teplota rezania	23
3.12 Vplyv rezného prostredia na obrábanie.....	24
4 OPOTREBENIE REZNÝCH MATERIÁLOV	16
4.1 Kvantifikácia opotrebenia	31
4.2 Metódy zisťovania veľkosti opotrebenia	32
4.3 Tvorba nárastku.....	33
5 TRVANLIVOSŤ NÁSTROJOV	35
5.1 Miera trvanlivosti rezného nástroja.....	36
5.2 Vplyv vybraných parametrov na trvanlivosť reznej hrany	37
5.3 Vplyv rezných pomerov na trvanlivosť ostria	38
6 ZÁVER	47
7 ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY.....	48

Zoznam použitých označení a jednotiek

a – hrúbka triesky	mm
a_p – hĺbka rezu	mm
Al_2O_3 - oxid hlinitý	
b – šírka triesky	mm
C – konštanta závislá na fyzikálno-mechanických vlastnostiach obrábaného materiálu	
C_F – konštanta	
C_R – konštanta	
C_{TV} – veľkosť konštanty	
D – priemer obrábanej plochy	mm
f – posuv	mm/ot
F – rezná sila	N
F_y – radiálna rezná sila	N
F_x – axiálna rezná sila	N
h – hrúbka orezávanej vrstvy	mm
KB – šírka žliabku opotrebenia	mm
k_F – opravný koeficient pre jednotlivé podmienky obrábania	
KM – poloha stredu žliabku opotrebenia	
KT – opotrebenie dané hĺbkou žliabku	
m – exponent reznej rýchlosti	
n – otáčky obrobku	min^{-1}
P_s – rovina	
R – rezný odpor	
r – polomer hrotu	mm
r_n – polomer hrotu pri reznom kline	mm
$s_{\max}$ - medze prípustných posuvov	
T – trvanlivosť	
t – hĺbka rezu	mm
TiC - karbid titánu	
TiN - nitrit titánu	
V_c – rezná rýchlosť	$\text{m}.\text{min}^{-1}$
VB – opotrebenie na chrbtovej ploche	

V_k – kritická rezná rýchlosť

x_F – exponent pre jednotlivé druhy materiálov stanovený experimentom

x_T – exponent

y_F - exponent pre jednotlivé druhy materiálov stanovený experimentom

y_T - exponent

ÚVOD

V súčasnej modernej strojárenskej výrobe patrí na predné miesto medzi strojárenskými technológiami trieskové obrábanie. Je jednou z najstarších výrobných technológií, je to proces, pri ktorom obrobok dostáva požadovaný tvar, geometrickú a rozmerovú presnosť zodpovedajúcu kvalitu povrchu odoberaním materiálu vo forme triesok. Ide najmä o dosiahnutie požadovaných parametrov obrobku, ktoré výrazne ovplyvňujú rezné podmienky. Ich optimalizáciou a úpravou dosiahneme kontrolovaný odvod triesky a tepla z miesta rezu.

Snahou v dnešnej dobe je zvyšovanie produktivity rezania, zvyšovanie kvality, čo je úzko späté so spoľahlivosťou výrobkov. Kladie to zvýšené nároky na rezné nástroje a rezné materiály, čo zvyšuje ich požiadavky voči opotrebeniu. Rezné materiály zabezpečujú stabilný rezný proces pri vyšších rezných rýchlostiach. Pri zvyšovaní výkonnosti obrábania a dosiahnutí dobrého ekonomického využitia strojov a nástrojov, pri požadovanej kvalite výrobkov je dôležitá správna voľba rezných podmienok.

1 Cieľ práce

Cieľom bakalárskej práce bolo popísať, ako ovplyvňujú jednotlivé parametre pri sústružení trvanlivosť nástroja.

Pre splnenie cieľa bolo potrebné:

- popísať technológiu sústruženia, nástroje, rezné materiály, parametre rezania,
- popísať opotrebenie, kvantifikáciu opotrebenia a metódy zisťovania opotrebenia,
- popísať vplyv jednotlivých parametrov na trvanlivosť nástroja

2 Metodika práce

Pre dosiahnutie stanoveného cieľa sme navrhli nasledovný postup vypracovania bakalárskej práce:

- preštudovanie odbornej literatúry knižnej, časopisovej a internetových zdrojov,
- analýza súčasného stavu,
- štúdium a spracovanie poznatkov o danej problematike,
- popis jednotlivých parametrov a ich vplyv na trvanlivosť.

3 SÚČASNÝ STAV PROBLEMATIKY

3.1 Strojové obrábanie

V štádiu výroby súčiastok je obrábanie významným procesom. Uskutočňuje sa rôznymi metódami obrábania. K základným metódam patrí sústruženie, frézovanie, vŕtanie, vyhrubovanie, vystružovanie, zahlbovanie, vyvrtávanie, hobľovanie, obrážanie, preťahovanie a pretlačovanie. Uvedené metódy sú charakterizované s použitím nástrojov s danou geometriou a predstavujú v súčasnej dobe najviac využívané aplikácie pri obrábaní srojárnských súčiastok. Funkciou obrábania je dať materiálom a polovýrobkom potrebný tvar, rozmerovú presnosť a stav obrobeného povrchu. Tieto vlastnosti sa dosahujú strojovým obrábaním na obrábacích strojoch. Rôznorodosť rozmerov tvarov súčiastok viedla ku škonštruovaniu radu rôznych obrábacích strojov pre presné a rýchle obrobenie všetkých súčiastok.

3.2 Charakteristika technológie sústruženia

Sústruženie je obrábacia metóda používaná pre výrobu súčiastok rotačných tvarov, pri ktorom sa väčšinou používajú jednoklinové nástroje rôznych tvarov a veľkostí. Z viacerých hľadísk je sústruženie najjednoduchšia forma obrábania kovov. Vo väčšine prípadov je rezný nástroj pevne upnutý a obrobok vykonáva rotačný pohyb. Pri sústružení zohľadňujeme mnohé faktory ovplyvňujúce výber rezného nástroja hmotnosť obrobku, tvar obrobku, základný materiál obrobku, náklady a podobne.

3.3 Kinematika sústruženia

Hlavný pohyb je obyčajne rotačný pohyb obrobku pričom rýchlosť hlavného pohybu je súčasne reznou rýchlosťou v_c . Vyjadri sa zo vzťahu (1). Posuvný pohyb je priamočiary, vykonáva ho obyčajne nástroj a rýchlosť tohto pohybu sa udáva v milimetroch na otáčku (Kocman, 2005). Ak je smer pohybu noža v základnej rovine je aj rovnobežný s osou vykonávame pozdĺžne sústruženie a výsledkom je obrobená vonkajšia alebo vnútorná valcová plocha. Pri pohybe nástroja kolmom na os obrobku hovoríme o priečnom sústružení a obrábame čelá obrobkov. Kombináciou priečneho a pozdĺžneho sústruženia vytvárame guľové, kužeľové a iné plochy a hovoríme o tvarovom sústružení.

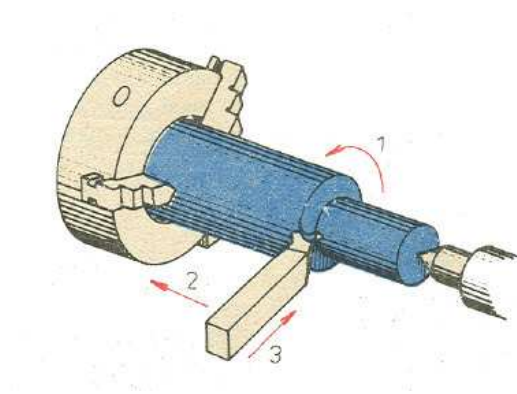
Posuv je pohyb nástroja počas jednej otáčky obrobku. Udáva sa v milimetroch na otáčku. Prísuv je pohyb nástroja kolmý na obrobenú plochu a nastavujeme ním hĺbku rezu. Udáva sa v milimetroch.

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \quad (1)$$

kde

D – priemer obrábanej plochy, mm

n – otáčky obrobku, min⁻¹



Pracovné pohyby pri sústružení

1. hlavný pohyb
2. pozdĺžny posuv
3. priečny posuv

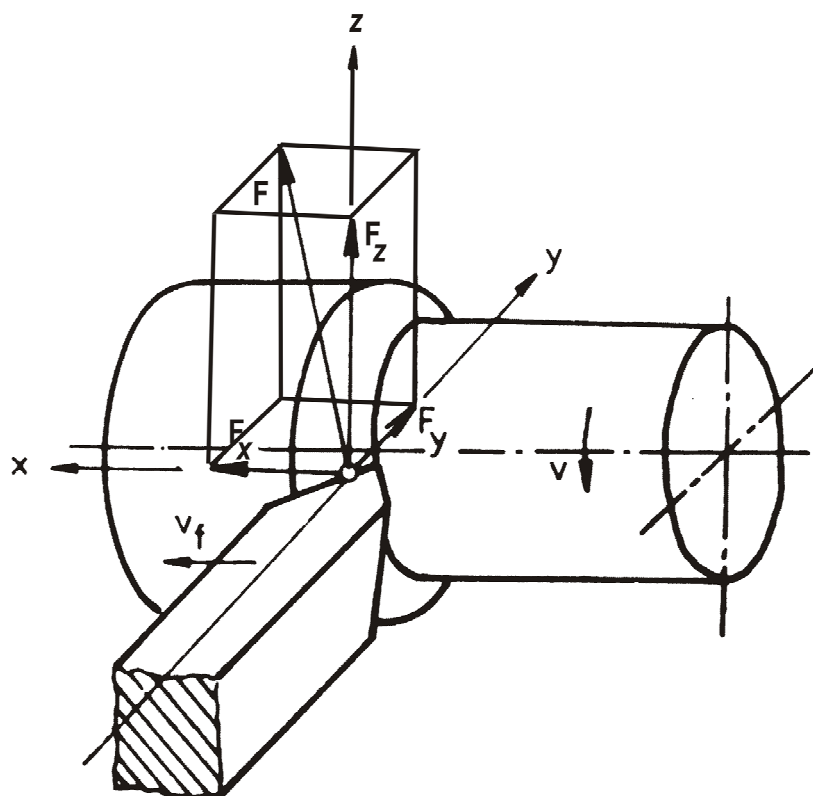
Obr. 1
Pohyby pri sústružení

3.4 Rezné sily pri sústružení

Pri obrábaní kladie materiál odpor proti vnikaniu nástroja tzv. rezný odpor R. Aby sme mohli vôbec obrábať musíme tento odpor prekonávať reznou silou F. Obe tieto zložky musia byť v rovnováhe $F = -R$ (Bátora, 1995).

Rezná sila je dynamický jav, čo znamená že v časovom priebehu nie je stála, jej veľkosť závisí od všetkých faktorov procesu obrábania sú to pevnosť materiálu, veľkosť prierezu triesky a jeho parametre (posuv, hĺbka rezu), rezná rýchlosť, geometria rezného klinu a reznej kvapaliny (Tuhý, 2005).

Pri sústružení pôsobí na nôž výsledná rezná sila F, ktorá sa rozkladá na tri zložky (obr. 2).



Obr. 2
Zložky reznej sily

1. Na zložku F , ktorá leží v smere reznej rýchlosti. Uvedená zložka sa nazýva tangenciálna rezná sila alebo aj hlavná rezná sila. Vedomosti o jej hodnotách sú potrebné pre výpočet výkonu hlavného pohybu, pevnosti nástroja, súčastok mechanizmu hlavného pohybu, prípadne aj iných častí obrábacieho stroja.
2. Na zložku F_y , ktorá má radiálny smer. Radiálna rezná sila F_y ovplyvňuje prehyb súčastok a tuhosť obrábacieho stroja a nástroja. Poznatky o jej hodnotách sú potrebné pri výpočtoch presnosti obrábaných súčastok a tuhostí technologickej sústavy a jej častí.
3. Na zložku F_x , ktorá má smer osi otáčajúcej sa súčastky – axiálna rezná sila. Jej veľkosť treba poznať pri výpočte súčastok posuvného mechanizmu (Buda, 1988).

Medzi výslednou silou a jej zložkami platí vzťah:

$$F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2 + F_z^2} \quad , \quad \text{N} \quad (11)$$

Pre výpočet jednotlivých zložiek výslednej reznej sily sa používajú tieto rovnice:

$$F = C_{Fx} \cdot b_{Fx}^X \cdot a_{Fx}^Y \cdot k_{Fx}, N \quad (12)$$

$$F = C_{Fy} \cdot b_{Fy}^X \cdot a_{Fy}^Y \cdot k_{Fy}, N \quad (13)$$

$$F = C_{Fz} \cdot b_{Fz}^X \cdot a_{Fz}^Y \cdot k_{Fz}, N \quad (14)$$

Kde: b - šírka triesky v mm

a – hrúbka triesky v mm

k_F – opravné koeficienty pre jednotlivé podmienky obrábania

C_F – konštanty

x_F, y_F – exponenty pre jednotlivé druhy materiálov stanovené experimentálne.

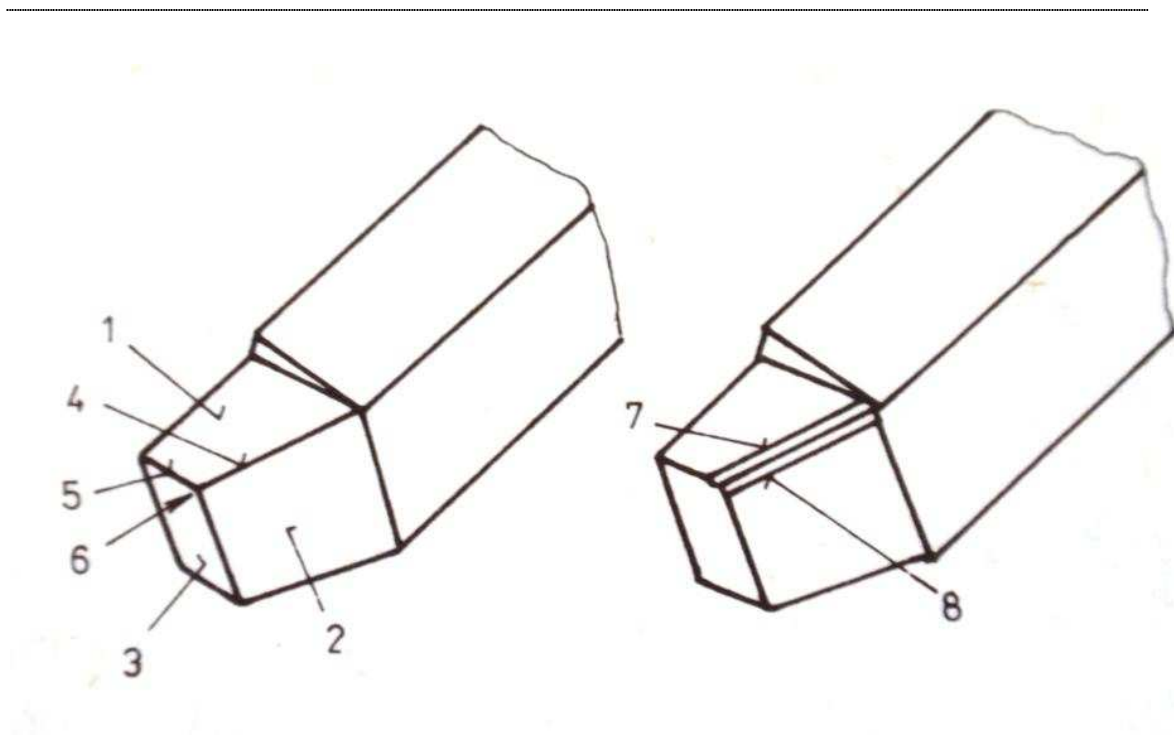
3.5 Geometria rezného klina

Z hľadiska regulácie procesu rezania t.j. javov alebo dejov, ktoré prebiehajú v zóne

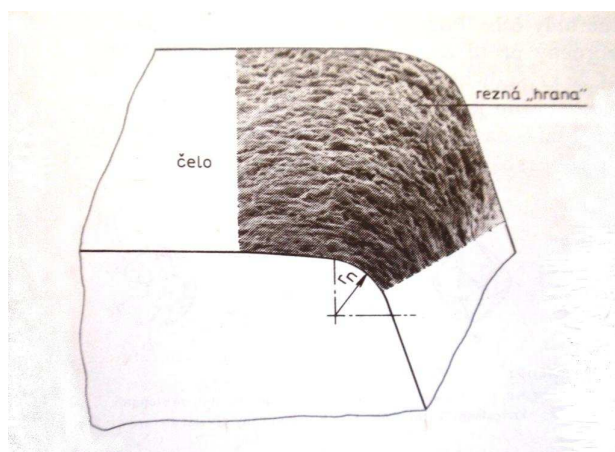
rezania je predstavovaná rezným klinom, ktorý je charakterizovaný tvoriacimi plochami. Po čelnej ploche kľže trieska, chrbtová plocha sa dotýka s reznou plochou a je obrátená smerom k obrobenej ploche (Buda, 1988). Geometria rezného klina má pri obrábaní rozhodujúci význam, vplýva na trvanlivosť nástroja a kvalitu obrobených plôch.

Nástroj má upínaciu a reznú časť, upínacia časť je v rozličných vyhotoveniach podľa spôsobu upnutia, tvaru a účelu použitia.

Rezná časť sa realizuje rezným klinom, ktorého tvar je charakterizovaný tvoriacimi plochami (obr. 3). Rezný klin je ohraničený čelnou plochou (1), hlavnou chrbtovou plochou (2) a vedľajšou chrbtovou plochou (3). Prienik čelnej a hlavnej chrbtovej plochy tvorí hlavnú reznú hranu (4). Prienikom čelnej plochy a vedľajšej chrbtovej plochy je vedľajšia rezná hrana (5). Oblasť prieniku čelnej, hlavnej chrbtovej a vedľajšej plochy nazývame hrotom (6). Hlavná a vedľajšia rezná hrana je najčastejšie spojená polomerom hrotu r_n (obr. 4), alebo prechodovou hranou (Příručka o obrábění, Sandvik Coromat, 1997)



Obr. 3
Rezný klin



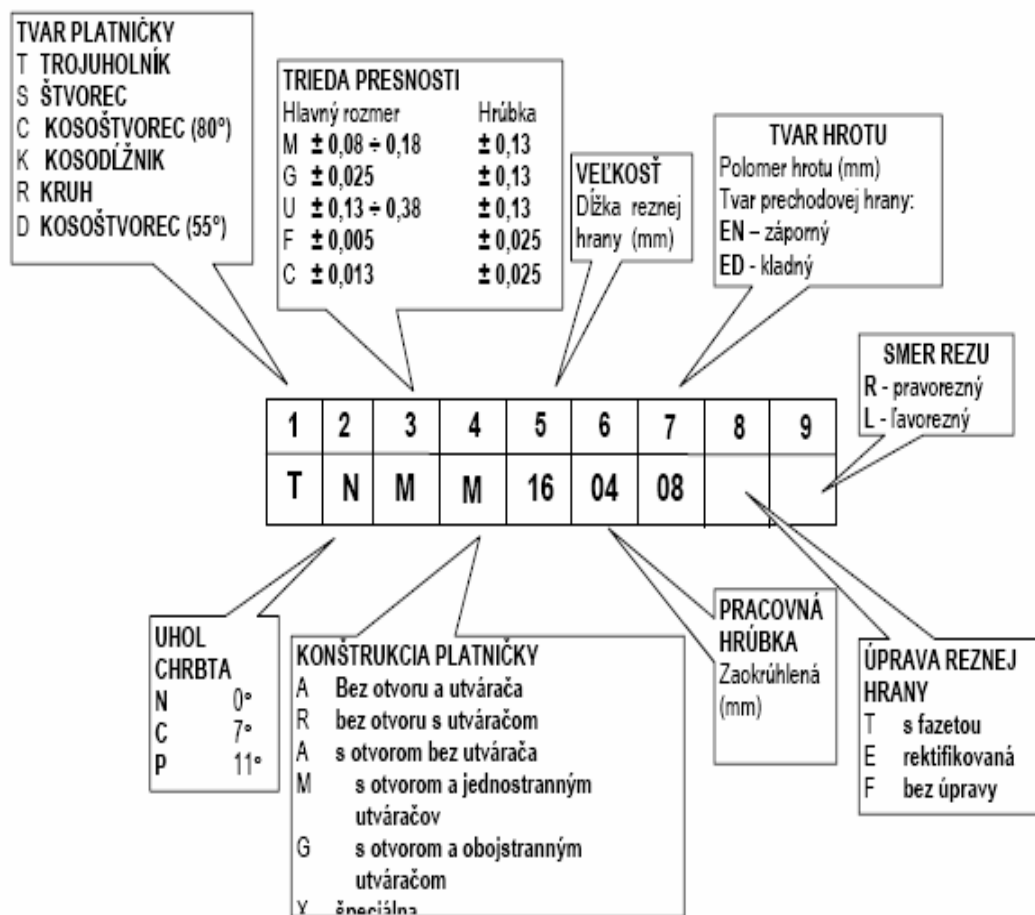
Obr. 4
Spojenie hlavnej a vedľajšej časti reznej hrany

3.6 Nástroje pre sústruženie

Sústružnícke nože predstavujú najpoužívannejšie sústružnícke nástroje, delia sa z rôznych hľadísk. Rozlišujeme radiálne, prizmatické, kotúčové, tangenciálne a s vymeniteľnými doštičkami.

Vymeniteľné doštičky sú mechanicky upnuté k nožovému držiaku. Ide najmä o doštičky so spekaných karbidov, cermetu, reznej keramiky, kubického nitridu bóru,

prípadne syntetický diamant. Doštička má viac rezných hrán po otupení jednej sa pootočí do ďalšej polohy a používa sa nová rezná hrana (Kocman, 2005).



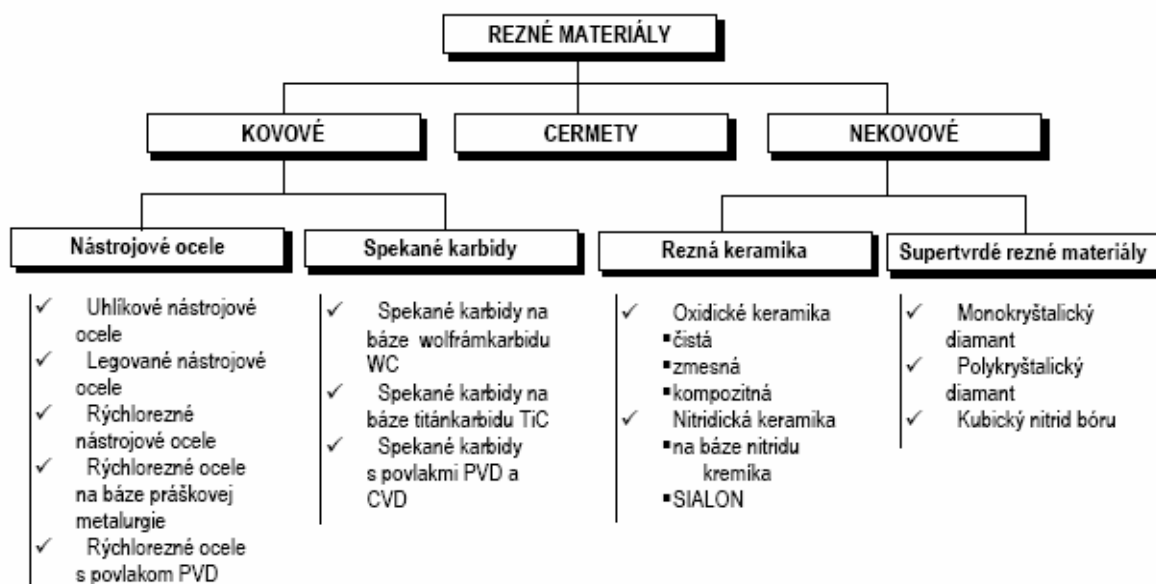
Obr. 5

Označovanie vymeniteľných platničiek podľa ISO

3.7 Rezné materiály

Priebeh a výstupy rezného procesu závisia na vlastnostiach reznej časti nástoja vhodný nástoj musí spĺňať a zohľadňovať nasledujúce faktory:

- operácia obrábania
- požadovaná presnosť a akosť povrchu
- veľkosť a tvar obrobku
- rezné podmienky
- akosť obrobku
- náklady na obrábanie.
- obrábací stroj



Obr. 6

Klasifikácia rezných materiálov

Nepovlakované spekané karbidy sa členia podľa zloženia do troch skupín.

Spekané karbidy typu P – WC, TiC, Co určené na obrábanie železných kovov so vznikom dlhej triesky, ocele na odliatky a temperovanej liatiny.

Spekané karbidy typu M – WC, TiC, TaC, Co na obrábanie železných kovov so vznikom dlhej a krátkej triesky, obrábanie neželezných kovov, manganovej ocele, austenitickej ocele, ocele na odliatky.

Spekané karbidy typu K – WC, Co na obrábanie kovov s krátkou trieskou, šedá liatiny, neželezné kovy, meď, bronz, hliník a nekovové materiály.

Povlakované spekané karbidy spĺňajú požiadavku na reznú doštičku s tvrdým a oteruvzdorným povrchom a húževnatým jadrom. Používajú sa tvrdé povlaky karbidu titánu TiC, nitridu titánu TiN, alebo oxidu hlinitého Al₂O₃. Povlaky môžu byť jedno alebo viacvrstvové s jedným alebo viacerými komponentmi.

Cermety ide o rezný materiál obsahujúci tvrdé častice v kovovom spojive vyrábaný práškovou metalurgiou. Vyznačujú sa vyššou tvrdosťou ale nie sú tak húževnaté ako spekané karbidy. Používajú sa na dokončovacie operácie. Nástroje sú vhodné na obrábanie ocele, liatiny, liatej ocele, neželezných kovov. Môžu pracovať pri vyšších rezných rýchlostiach ako povlakované spekané karbidy.

Rezná keramika rezné materiály sú tvrdé, za tepla nereagujú chemicky s materiálom obrobku, znášajú vysokú teplotu ostria (až 1200°C) používajú sa pri

vysokých rezných rýchlostiach. Používa sa na obrábanie cementovaných zušľachtených ocelí tvrdej liatiny.

Kubický nitrid bóru je veľmi tvrdý rezný materiál jeho tvrdosť sa blíži k tvrdosti diamantu. Použitie rezných doštičiek z tohto materiálu pri sústružení tvrdých žiaruvzdorných materiálov kalenej ocele v nežihanej tvrdej liatiny, kalené nástrojové ocele, kobaltové a niklové zliatiny. Výhodné použitie ako náhrady za brúsenie pri dokončovacom obrábaní.

Polykryštalický diamant je to najtvrdší materiál. Odporúča sa pre obrábanie neželezných kovov a nekovových materiálov tvrdého kaučuku, grafitu, skla. S kovových materiálov je vhodný pre obrábanie zliatin hliníka, medi, titánu a jeho zliatin (Kocman, 2005).

3.8 Parametre odrezávanej vrstvy

Parametre odrezávanej vrstvy sú posuv, hĺbka rezu a prierez, ďalej hrúbka a šírka odrezávanej vrstvy.

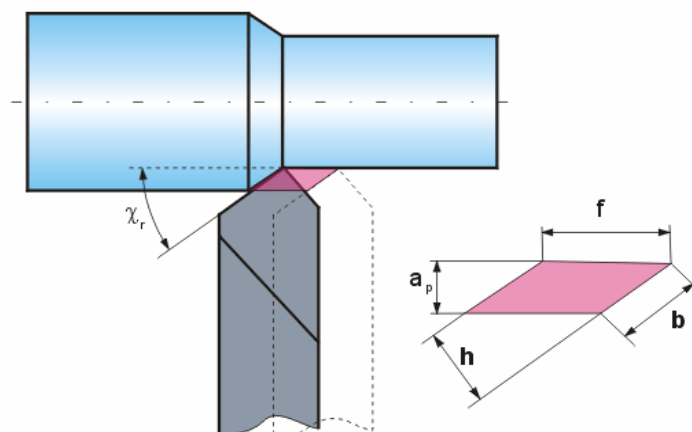
Posuv f je premiestnenie nástroja vzhľadom na obrobok za určitú udalosť: pootočenie obrobku alebo nástroja za otáčku. Rozoznávame rozoznávame posuv na otáčku fot (mm/ot). Rozmer posuvu je mm.

Hĺbka rezu a_p sa zvyčajne definuje ako vzdialenosť medzi obrábanou a obrobenou plochou v smere prísuvu. Kvôli všeobecnej platnosti rovníc budeme na výpočet parametrov odrezávanej vrstvy používať inú definíciu: hĺbka rezu je rozmer odoberaného materiálu v smere kolmom na hlavný pohyb a posuv. Prierez odrezávanej vrstvy pri sústružení, pre nulový uhol nastavenia vedľajšej reznej hrany je:

$$S = a_p \cdot f \quad \text{mm}^2 \quad (2)$$

Hrúbka odrezávanej vrstvy h je jej rozmer v smere kolmom na reznú plochu. Meriame ju v rovine kolmej na hlavný pohyb. Hrúbka odrezávanej vrstvy pre jednoduché nástroje s priamou reznou hranou a bez polomeru hrotu je:

$$h = f \cdot \sin \chi_r \quad \text{mm} \quad (3)$$



Obr. 7

Parametre odrezávanej vrstvy

Šírka odrezávanej vrstvy b je jej rozmer v smere stopy reznej plochy v rovine kolmej na hlavný pohyb. Pre nástroje s priamou reznou hranou a bez polomeru hrotu platí:

$$b = \frac{a_p}{\sin \chi_r} \quad \text{mm} \quad (4)$$

3.9 Vznik triesky

Trieska je deformovaná, z obrobku odrezaná časť materiálu. Obrábaný materiál pri vnikaní rezného klina sa pružne a plasticky deformuje, kladie odpor proti vnikaniu rezného klina. Deformačná práca pri rezaní sa mení na teplo, ktoré ohrieva obrábaný materiál a rezný klin. Zvýšenie teploty pôsobí na fyzikálne a mechanické vlastnosti materiálov a ovplyvňuje ich vzájomné spolupôsobenie, ktorého výsledkom je nárastok a opotrebenie rezného klina. Proces tvorby nárastku a opotrebenia menia skutočný tvar rezného klina čo spätne pôsobí na deformačnú prácu.

- **uhol textúry** Φ_2 – je uhol medzi smerom rezného pohybu a smerom hraníc deformovaných zŕn v trieske,
- **hrúbka odrezávanej vrstvy** – je vzdialenosť obrábanej a rezne plochy
- **hrúbka (deformovanej) triesky** – je vzdialenosť horného a dolného povrchu triesky (Békes 1981).

3.10 Druhy triesok

V závislosti na priebehu rezného procesu majú triesky rôzny tvar.

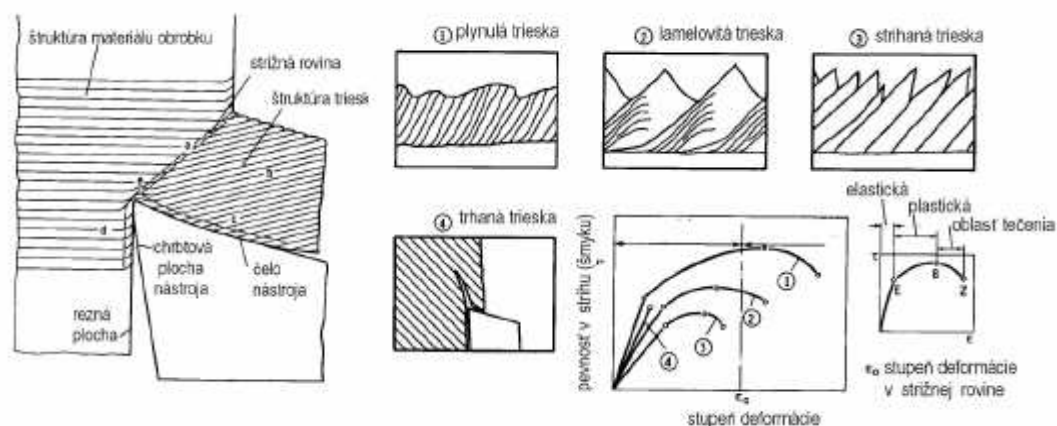
TVARY TRIESOK PODĽA EN ISO 36 85							
1. Stuhovité	2. Vinuté	3. Špirálové	4. Kužeľovité - skrutkovité	5. Ploché - skrutkovité	6. Oblúkovité	7. Elementárne	8. Ihlové
1.1. Dlhé	2.1. Dlhé	3.1. Ploché	4.1. Dlhé	5.1. Dlhé	6.1. Spojené		
1.2. Krátke	2.2. Krátke	3.2. Kužeľové	4.2. Krátke	5.2. Krátke	6.2. Delené		
1.3. Zvinuté	2.3. Zvinuté		4.3. Zvinuté	5.3. Zvinuté			

Obr. 10

Trhané triesky vznikajú pri obrábaní materiálov, ktoré sú v oblasti rezanie krehké. Majú tvar samostatne sa vytvárajúcich elementov materiálu, ktoré sú tlakom nástroja vytrhávané z obrábaného materiálu a majú podľa podmienok rôznu veľkosť. Trieska má nerovný tvar na strane obrátenej k nožu a na opačnej je hladká. Najčastejšie sa vyskytuje pri obrábaní sivej liatiny a bronzu. Strihané triesky vznikajú pri obrábaní materiálov, ktoré sú v oblasti rezania plastické. Podľa stupňa plasticity má strihané trieska rôzne tvary a to:

- *elementárna trieska* – pozostávajúca z postupne odstrihnutých elementov častíc,
- *stupňovitá trieska* – pozostávajúca z jednotlivých spolu spojených elementov, ktoré sa však štruktúrne jasne od seba odlišujú,
- *plynulá trieska* – je najobvyklejším druhom strihanej triesky. Vytvára sa zvyčajne vo forme dlhej skrútenej struny.

Strihané triesky sú zo strany noža hladké a z opačnej strany zdrsnené (Buda, 1988).



Obr. 11

3.11 Teplota rezania

Rozloženie teploty v oblasti zóny rezania závisí na množstve vyvinutého tepla a rýchlosti jeho dovedenia do obročky, triesky, nástroja a prostredia. Z hľadiska intenzity opotrebovania nástroja je najvýznamnejšia teplota na stykových miestach čela s trieskou a na chrbte s obrokom. Určenie tepelného poľa na čele a chrbte nástroja je dosť zložité. Teplota, ktorá sa nazýva teplotou rezania je nižšia ako maximálna teplota v stykových miestach. Teplota stykových miest na čele býva o 50 – 100 % vyššia ako na chrbte. Výška teploty rezania závisí na rezných podmienkach, geometrii rezného klina, fyzikálnych vlastnostiach materiálu obročky, tepelných vlastnostiach materiálu nástroja a reznom prostredí.

Vplyv rezných podmienok je možno súhrnne vyjadriť vzťahom

$$Q = C \cdot v^z \cdot s^x \cdot t^y \quad (15)$$

kde:

C – konštanta závislá na fyzikálno-mechanických vlastnostiach obrábaného materiálu

v – rezná rýchlosť

s – posuv

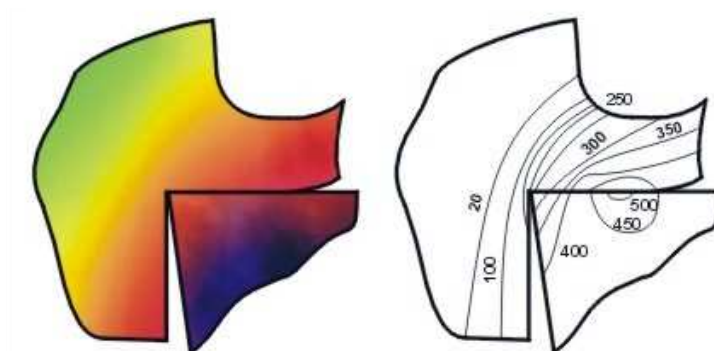
t – hĺbka rezu

z – 0,26 až 0,72

x – 0,13 až 0,45

y – 0,1

Najväčší vplyv tu má rezná rýchlosť, menší hrúbka triesky a ešte menší šírka triesky (Bátora, 1995).



Obr. 12

Teplotné pole rezného klina pri obrábaní húževnatých materiálov

Pri obrábaní nízkymi reznými rýchlosťami je maximálna teplota na špičke nástroja, pri obrábaní väčšími rýchlosťami sa maximálna teplota posúva ďalej od ostria nástroja. Presná identifikácia teplotného poľa predstavuje zložitý metrologický problém a vyžaduje zložité meracie systémy (Kocman, 2005).

3.12 Vplyv rezného prostredia na obrábanie

Proces rezania sa koncentruje do oblasti kontaktu reznej hrany nástroja s obrábaným materiálom tvorí zónu rezania, ktorá je obklopená prostredím, obvyčajne okolitým vzduchom. Často do tejto oblasti privádzame rôzne kvapaliny, plyny alebo nasýtené pary. Hlavná požiadavka je účinný odvod tepla, ktorú spĺňajú pri obrábaní kovov kvapaliny. Plynné prostriedky zatiaľ neprenikli do praxe pre ich obtiažne použitie. V poslednej dobe sa zavádza chladenie vzduchom, v ktorom je rozptýlená rezná kvapalina pre dosiahnutie väčšej účinnosti. Kvapaliny musia vyhovovať podmienkam príslušnej technológie, materiálu danej operácie, prevádzkovým podmienkam (url. 1)

Z technologického a prevádzkového hľadiska sa na rezné prostredie kladú určité požiadavky:

- chladiaci účinok,
- mazací účinok,

-
- čistiaci účinok,
 - prevádzková stálosť,
 - ochranný účinok,
 - zdravotná nezávadnosť.

Chladiaci účinok je schopnosť rezného prostredia odvádzať teplo z miesta rezu. Túto schopnosť má každé prostredie, ktoré zmáča povrch kovov a pokiaľ existuje tepelný spád medzi povrchom obrobku a prostredím.

Mazací účinok vyjadruje schopnosť prostredia vytvoriť na povrchu obrobku a nástroja vrstvu, ktorá báni priamemu styku kovových povrchov a znižuje trenie, ku ktorému dochádza medzi nástrojom a obrobkom. Mazací účinok znamená zmenšenie rezných síl, spotreby energie, zlepšenie akosti obrobeneho povrchu. Mazací účinok sa využíva pri dokončovacích spôsoboch obrábania a náročných operáciách, preťahovanie, výroba závitov.

Čistiaci účinok rezného prostredia znamená, že jeho prívod odstraňuje triesky miesta rezania, najmä pri rezaní závitov a vŕtaní hlbokých dier.

Prevádzková stálosť je doba výmeny rezného prostredia, je podmienená zárukou, že jeho vlastnosti sa nebudú po túto dobu meniť.

Ochranný účinok sa prejavuje tým, že nenapadá kovy a nespôsobuje koróziu. Odpadá nutnosť konzervácie výrobkov medzi operáciami.

Zdravotná nezávadnosť vychádza z toho, že pri práci pracovníci prídu do styku s reznou kvapalinou, preto rezné prostredie nesmie byť zdraviu škodlivé, nesmie obsahovať látky dráždiace sliznicu a pokožku a nesmú byť jedovaté (Kocman, 2005).

4 OPOTREBENIE REZNÝCH MATERIÁLOV

Opotrebenie rezného nástroja je produktom kombinácie faktorov, ktoré pôsobia na rezný klin. Trvanlivosť rezného klina ovplyvňuje rad faktorov, ktoré majú snahu zmeniť geometriu rezného klina. Opotrebenie je interakcia medzi rezným nástrojom, materiálom obrodku, reznými podmienkami (Pažitný, 2006).

Mechanizmus opotrebenia

Na základe analýzy zaťažujúcich faktorov ostré nástroje je možné identifikovať mechanizmy opotrebenia.

Abrázívne opotrebenie vzniká hlavne pôsobením tvrdých častíc v materiáli obroku. Podobne ako pri brúsení sa tvrdé časti dostávajú medzi povrch obroku a nástroja. Schopnosť ostria odolávať abrazívnemu opotrebeniu je závislá na jeho tvrdosti. Prejavuje sa predovšetkým pri nízkych rezných rýchlostiach, kedy sa materiály dotýkajú vrcholami mikronerovností. Je významný pri obrábaní nástrojmi z nástrojových a rýchlorezných ocelí.

Difúzne opotrebenie vzniká pôsobením chemických vplyvov pri obrábaní. Tvrdosť materiálu má relatívne malý podiel. O podiele difúzneho opotrebenia na celkovom opotrebení rozhoduje chemické zloženie rezného materiálu a materiálu obroku.

Oxidačné opotrebenie súvisí s vysokými teplotami rezného procesu, ktorú spolu s okolitým vzduchom majú za následok oxidáciu nástrojového materiálu. Vzniknuté oxidy pôsobia rôzne. Wolfram a kobalt sú ľahko odnášané trieskou a oxid hlinitý je oproti nim podstatne pevnejší a tvrdší.

Adhézne opotrebenie hlavne pri nízkych teplotách obrábania je spôsobený vytrhávaním častíc reznej hrany v dôsledku adhézných spojov medzi nástrojom a obrobkom. Je významný pri nižších rezných rýchlostiach, kedy vzniká bodový styk medzi trieskou a nástrojom, čo umožňuje adhézne spojenie oboch materiálov. Najmä pri obrábaní nástrojmi z nástrojových rýchlorezných ocelí. Často sa prejavuje vytvorením nárastku medzi trieskou a reznou hranou.

Formy opotrebenia

V závislosti na technologických podmienkach rezného procesu dosahuje opotrebenie reznej hrany rôzne formy.

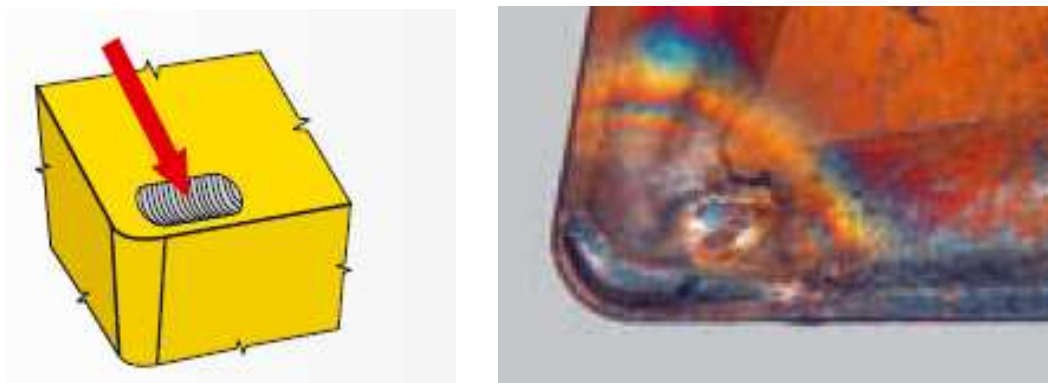
Opotrebenie chrbta patrí medzi abrazívne formy. Plocha chrbta hlavného a vedľajšieho ostria a polomer špičky sú pred tvarovaním a po tvarovaní triesky zvlášť vystavené pôsobeniu materiálu obrobku. Opotrebenie chrbta je obvyklý typ opotrebenia. Príliš veľké opotrebenie spôsobuje zlú akosť povrchu a nepresnosť rozmerov.



Obr. 13

Opotrebenie chrbta

Opotrebenie čela v tvare žliabku je dôsledkom pôsobenia mechanizmu difúzneho opotrebenia a abrazie. Žliabok vzniká čiastočne úberom materiálu nástroja vyvolaným brúsnym účinkom tvrdých častíc obsiahnutých v materiáli obrobku, ale hlavne difúziou v mieste rezu z najvyššou teplotou. Tvrdosť za tepla a malá afinita medzi materiálmi obrobku a nástroja znižujú tendenciu vzniku tohto typu opotrebenia.



Obr. 14

Opotrebenie čela v tvare žliabku

Plastická deformácia špičky vzniká pôsobením v kombinácii vysokých teplôt a rezných tlakov na špičke. Vysoké rezné rýchlosti a posuvy, ako i tvrdé materiály obrobku vyvolávajú vznik vysokých teplôt a tlakov. Plastická deformácia sa vyskytuje pri obrábaní všetkými nástrojovými materiálmi po dosiahnutí určitej teploty medzi nástrojom a obrobkom. Pri dosiahnutí tejto teploty dochádza k prudkému poklesu tvrdosti rezného materiálu v dôsledku štruktúrnych zmien. Plastickú deformáciu možno zmenšiť použitím správneho zaoblenia ostria a vhodnou geometriou.



Obr. 15

Plastická deformácia špičky

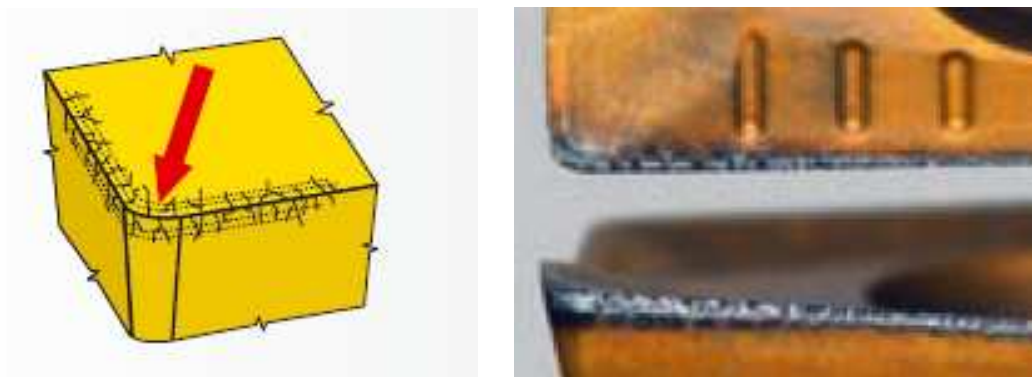
Opotrebenie chrbta v tvare vrubu patrí k adhézny opotrebeniam, môže však dobre súvisieť aj s javom oxidačného opotrebenia. Vruby vznikajú v mieste kontaktu ostria s bokom triesky. Toto opotrebenie je obmedzené presne na miesto kde vniká vzduch od oblasti obrábania. Veľké opotrebenie v tvare vrubu ovplyvňuje tvarovanie triesky a môže viesť k lomu doštičky.



Obr. 16

Opotrebenie chrbta v tvare vrubu

Hrebeňové trhliny na ostrí je to forma únavového opotrebenia. Vzniká tepelnými šokmi v dôsledku dynamického a tepelného zaťaženia pri prerušovanom reze. Trhliny sa tvoria kolmo na ostrie, pričom sa môžu častice rezného materiálu vylamovať a tak vyvolať náhly lom ostria.



Obr. 17

Hrebeňové trhliny na ostrí

Únavový lom je typickým následkom veľkých zmien veľkosti rezných síl. Vzniká vplyvom súčtu neustále sa meniacich rôznych zaťažení, ktoré samé o sebe nie sú dostatočne veľké aby vyvolali krehký lom.



Obr. 18

Únavový lom

Vylamovanie ostria je forma opotrebenia, pri ktorej sa ostrie vylamuje. Opotrebenie je spôsobené špičkami zaťaženia a vedie k tomu, že drobné častice rezného materiálu sa začnú oddeľovať z povrchu ostria. Najčastejšou príčinou je prerušovaný rez.



Obr. 19

Vylamovanie ostria

Lom reznej hrany predstavuje náhlu poruchu a okamžitý koniec technického života. Totálny lom je často veľmi nebezpečný a malo by sa mu zabrániť za každých okolností. Lom reznej hrany, v každom prípade považujeme za ukončenie trvanlivosti (Kocman, 2005).



Obr. 20

Lom reznej hrany

4.1 Kvantifikácia opotrebenia

Opotrebenie rezného ostria, ako významný parameter rezného procesu sa kvantifikuje charakteristikami vzťahujúcimi sa k postupnému opotrebeniu rezného ostria nástroja. Označenie veličín opotrebenia:

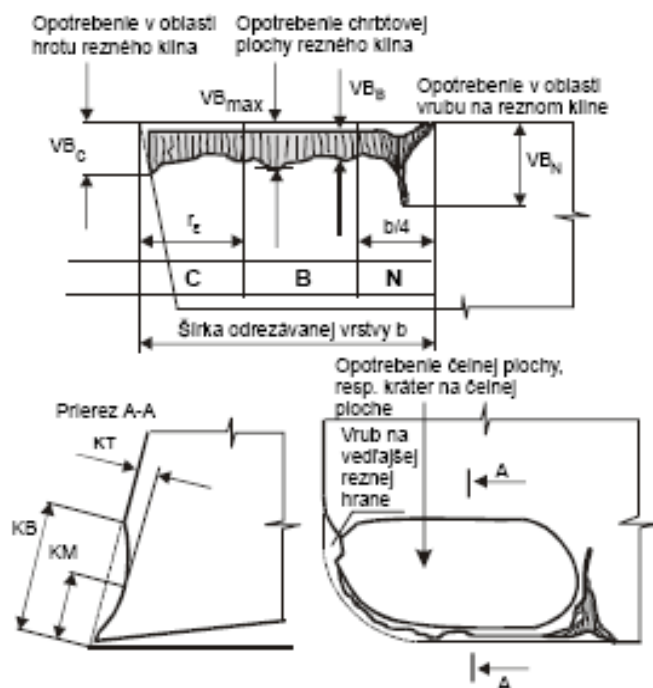
1. VB pre opotrebenie na chrbtovej ploche rezného klina v oblasti:
 - polomeru hrotu r ako VB_C (tzv. C – zóna opotrebenie, kde index označuje hrot rezného klina)
 - hlavnej reznej hrany VB_B (tzv. B – zóna opotrebenia)
 - vytvorenie reznej plochy VB_N (tzv. vrubové opotrebenie reznej hrany vznikajúce v dôsledku záberu reznej hrany po obrobenej ploche spevnenej hrotom rezného klina pri predchádzajúcej otáčke obrobku, index N označuje vrub)
2. KT pre opotrebenie dané hĺbkou žliabku, resp. výmoľa (krátera) na čelnej ploche rezného klina
3. KB pre šírku žliabku opotrebenia voči priesečníku plochy A a roviny P_s
4. KM pre polohu stredu žliabku opotrebenia voči priesečníku plochy A a roviny P_s . (Beňo, 1999)

VB – z nemeckého slova Verschleissmarkenbreite

KT – z nemeckého slove Kolktiefe

KB – z nemeckého slova Kolkbreite

KM – z nemeckého Kolkmitteabstand



Obr. 21

Znázornenie vonkajších prejavov opotrebenia rezného klína podľa ISO normy

4.2 Metódy zisťovania veľkosti opotrebenia

Nepriame metódy opierajú sa o niektoré znaky, ktoré sprevádzajú opotrebenie nástroja:

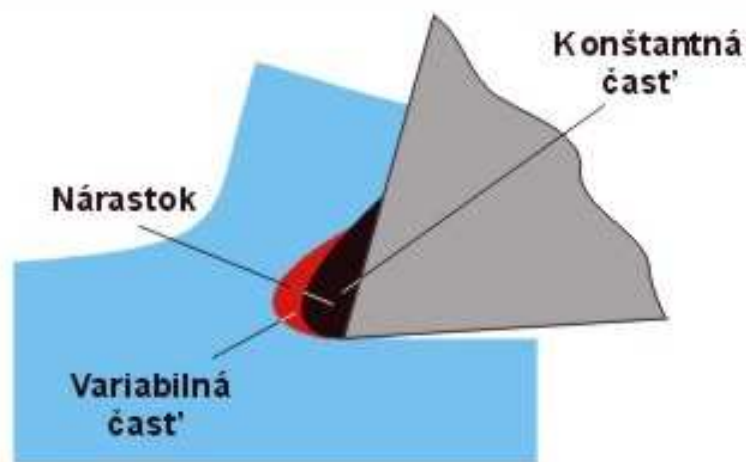
- objavenie lesklého pásika na obrobku (lesklé brzdenie),
- zväčšenie zložiek rezných síl,
- zvýšenie výkonu rezania,
- zvýšenie teploty rezania (nadmerné iskrenie),
- vznik chvenia alebo určitého zvuku (napr. pri brúsení),
- zmena farby a tvaru triesky (nezapríčinené vyštrbením alebo nadmerným opotrebením reznej hrany),
- zmena rozmerov obrobku,
- zväčšenie drsnosti povrchu.

Priame metódy

- váhová,
- mikrometrická,
- optická,
- rádioaktívnych izotópov (Buda, 1988).

4.3 Tvorba nárastku

Pri obrábání, trení a tlakom obrábaného materiálu sa rozruší povrchová absorbčná vrstva plynov a pár ako aj oxidový film na čele nástroja. V mieste tohto rozrušenia dochádza k čistému kovovému dotyku obrábaného a rezného materiálu, vzniká tzv. **súchyt**, ktorého vplyvom sa na čele v blízkosti reznej hrany zadržiavajú častice obrábaného materiálu vo forme **ná r a s t k u**. Deformácia materiálu nárastku spôsobuje jeho veľkú tvrdosť, prevyšuje dva až trikrát mikrotvrdosť obrábaného materiálu, čím nárostok môže plniť funkciu rezného klina, teda môže rezať.



Obr. 22

Schéma nárastku

Nárostok je nestabilný, počas rezania mení svoj tvar a rozmery. Nestabilnosť nárastku má na proces obrábania nestabilný vplyv v tom :

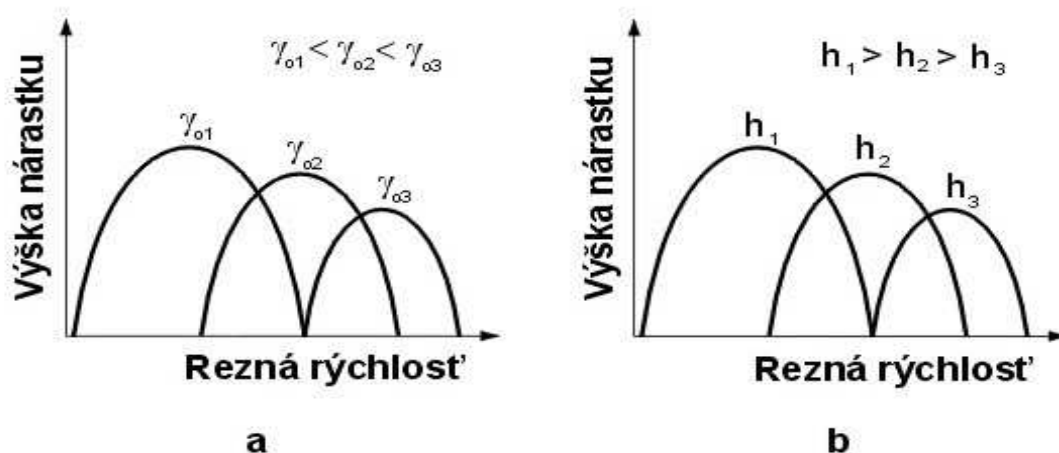
- trhanie nárastku spôsobuje mechanické rázy, čím sa urýchljuje opotrebenie rezného klina,
- nepravidelná rezná hrana zanecháva stopy na obrobenom povrchu, zhoršuje drsnosť,
- tvrdé častice roztrhnutého nárastku unášané trieskou spôsobujú abraziu na reznom kline.

Vznik nárastku je viazaný na určité podmienky, rozhodujúci vplyv je teplota pri obrábání ocelí 300° C.

Obmedzenie nárastku je možné znížením reznej rýchlosti pod dolnú hranicu alebo zvýšením nad hornú hranicu tvorby, ďalej len zmenou posuvu a uhlu čela a použitím

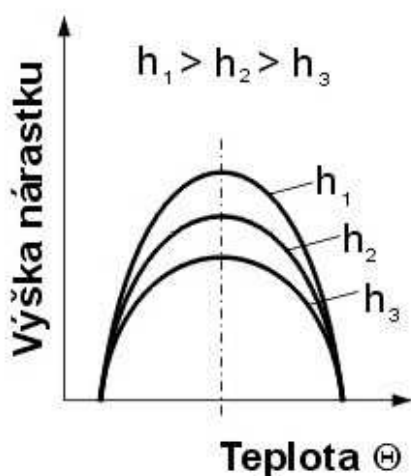
rezných kvapalín. Predstavy o tvorbe nárastku, snaha o jeho stabilizáciu na reznom kline regulovanej veľkosti s možnosťou preberá a plní funkciu reznej hrany a tým predlžuje jej trvanlivosť (Bátora, 1995).

Závislosti výšky nárastku od reznej rýchlosti pre rôzne uhly čela zobrazuje (obr. 23). Ak sú splnené základné podmienky vzniku nárastku existuje určitá oblasť rezných rýchlostí, v ktorých nárostok vzniká. Mimo tejto oblasti nemožno pozorovať vznik nárastku (Békes, 1981).



Obr. 23

Pre rôzne uhly čela, alebo hrúbky orezávanej vrstvy teplota rezania závisí od reznej rýchlosti. Rozhodujúci vplyv teploty rezania na oblasť tvorenia nárastku ukazuje diagram na (obr. 24). Pre rôzne hrúbky orezávanej vrstvy nárostok vzniká v určitom intervale teploty rezania.



Obr. 24

5 TRVANLIVOSŤ NÁSTROJOV

Každý nástroj, keď je dlhšie v činnosti, stráca postupne svoju ostrosť, až sa otupí. Okamih otupenia nástroja charakterizujú určité vonkajšie príznaky, ktoré sú spojené s procesom opotrebenia rezného klina. Príznaky otupenia nemožno brať vždy za kritérium otupenia, najmä nie pre nástroje zo spekaných karbidov a keramických materiálov, ktoré sa často pre svoju krehkosť otupia vylomením alebo vyštrbením. Preto tieto nástroje treba preto stanoviť vhodné kritérium otupenia.

Čas, za ktorý nástroj pracuje až do svojho otupenia, sa zvyčajne nazýva trvanlivosťou nástroja. Mierou trvanlivosti nástroja však nie je vždy len čas, za ktorý nástroj pracuje do svojho otupenia, ale aj iné veličiny. Otupený nástroj treba preostriť. Súčet trvanlivosti ostria nástroja až do jeho úplného vyradenie z práce sa nazýva životnosťou nástroja.

Hodnotou opotrebenia, pri ktorej možno považovať nástroj za otupený, nazývame kritériom otupenia. Keď sa nástroj opotrebí na hodnotu charakteristickú pre kritérium otupenia, nemožno s ním ďalej pracovať, bolo by to neúčelné.

Dôležitá a hlavne výhodná je snaha dodržiavať hodnotu optimálneho alebo hospodárneho opotrebenia ako kritéria otupenia. Stáva sa, že prístupné otupenie skôr ako dosiahne hodnotu optimálneho alebo hospodárneho opotrebenia sa limituje vyžadovanou presnosťou alebo drsnosťou obrobeného povrchu. V takomto prípade treba vychádzať z technologických požiadaviek. Kritérium otupenia sa v tomto prípade nazýva technologickým kritériom. Absolútna veľkosť opotrebenia zodpovedajúca technologickému kritériu je tým menšia, čím vyššie sú požiadavky na presnosť a drsnosť obrobeného povrchu. Samotná hodnota optimálneho opotrebenia závisí od priebehu charakteristickej krivky opotrebenia, t. j. od podmienok obrábania, najmä od druhu rezného materiálu a od reznej rýchlosti. Grafické závislosti opotrebenia od času svedčia o tom, že so zväčšením reznej rýchlosti sa znižuje opotrebenie, po ktorom vzniká pásma zrýchleného opotrebenia. Preto ak sa použijú malé rezné rýchlosti (pri hrubovaní) je optimálne opotrebenie väčšie než pri použití veľkých rezných rýchlostí (pri obrábaní na čisto). Optimálne opotrebenie závisí aj od druhu obrábaného materiálu, pri obrábaní ocelí je menšie než napr. pri obrábaní liatin. Dá sa to vysvetliť tým, že pri obrábaní liatin je teplota rezania nižšia. Vplyv teploty na zmenu vlastností rezného materiálu sa preto prejaví iba po dlhšom čase, to znamená po väčšom opotrebení.

Teplota pri obrábaní liatin sa začína výraznejšie zvyšovať iba pri väčšej dotykovej ploche nástroja a obrobku teda len pri väčšom opotrebení. Menšie hodnoty optimálneho otupenia nástroja nevyplývajú iba z väčšej reznej rýchlosti, ale i z väčšej krehkosti spekaných karbidov vzhľadom na rýchlorezné ocele. Väčšia krehkosť so zvýšením opotrebenia vplýva na rast pravdepodobnosti vyštrbenia alebo vylomenia reznej hrany. Čím je krehkosť rezného materiálu väčšia, tým menšie je optimálne otupenie pri danej reznej rýchlosti. Optimálne otupenie keramického rezného materiálu ako uvádzajú Buda a Békés v Teoretických základoch obrábania kovov je napr. 0,3 až 0,6 mm. V praxi však nemožno pre všetky podmienky stanovovať optimálne opotrebenie, a preto sa ako kritérium opotrebenia berie určitá konštantná hodnota pre všetky podmienky so zreteľom len na druh obrábaného a rezného materiálu (Buda, 1967).

5.1 Miera trvanlivosti rezného nástroja

Ako miera trvanlivosti nástroja sa už dávnejšie používa **strojový čas** práce nástroja až do jeho opotrebenia na kritérium otupenia. Trvanlivosť nástroja daná strojovým časom vyjadruje **výkon stroja** (počet kusov obrobených na jedno ostrie) len vtedy, ak sa porovnávajú nástroje s rôznou geometriou a z rôzneho rezného materiálu pri konštantných rezných pomeroch. Ak nastane zmena rezných pomerov môžeme sa dôjsť k záveru, že pri znížení trvanlivosti (vyjadrenej strojovým časom) v mnohých prípadoch výrobnosť nástroja stúpa, čo značí, že počet obrobených kusov na jedno ostrenie sa zväčší. Preto by sa strojový čas nemal voliť ako miera, ktorá určuje trvanlivosť nástroja na voľbu rezných pomerov.

Trvanlivosť nástroja sa v poslednom období žiada merať v jednotkách priamo úmerných **výrobnosti nástroja**. Výrobnosť strojov a trvanlivosť podľa výrobnosti nástroja by sa mali merať a vyjadrovať v tých istých jednotkách.

Jednotkou trvanlivosti môžu byť parametre:

- nástrojom prejdená dráha,
- obrobená plocha,
- objem odobratého kovu,
- počet obrobených rovnakých súčiastok.

Voľba niektorej z uvedených jednotiek za mieru trvanlivosti bude závisieť od operácie.

Z uvedeného vyplýva, že pri hľadení a polohrubovaní sa ako jednotka trvanlivosti podľa výrobnosti môže brať **obrobená plocha**. Pri hrubovaní, hlavne obrobkov s nerovnomerným prídavkom je účelné merať trvanlivosť **objemom** alebo **hmotou odobratých triesok**. Pri vŕtaní a pret'ahovaní možno trvanlivosť podľa výrobnosti udávať **dĺžkou** vyvŕtaných prípadne pretiahnutých **otvorov** alebo **počtom obrobených súčiastok**. Trvanlivosť podľa výrobnosti je možné brať za kritérium pre porovnávanie efektívnosti rôznych metód obrábania, lebo odráža skutočnú **reznú prácu** (Buda, 1967).

5.2 Vplyv vybraných parametrov na trvanlivosť reznej hrany

Intenzita opotrebovania rezného klina pri obrábaní daného materiálu závisí od nasledujúcich faktorov: mechanické namáhanie, únavové, difúzne, adhézne procesy atď. Prvoradý má vplyv **teplota** rezania, nakoľko trvanlivosť je nepriamo úmerná intenzite opotrebovania, závislosť trvanlivosti od teploty rezania má opačný charakter ako závislosť intenzity opotrebovania.

Vplyv reznej rýchlosti – pri určitej teplote rezania a jej zodpovedajúcej reznej rýchlosti intenzita opotrebovania je najmenšia. Takejto reznej rýchlosti zodpovedá maximum závislosti $T - v$.

Vplyv posuvu – celková tendencia závislosti je podobná ako pri vplyve reznej rýchlosti. Pri malých aj veľkých posuvoch trvanlivosť môže byť znížená vznikom chvenia. Pokles trvanlivosti s rastom posuvu je menší ako s rastom reznej rýchlosti, nakoľko posuv ovplyvňuje teplotu rezania menej ako rezná rýchlosť.

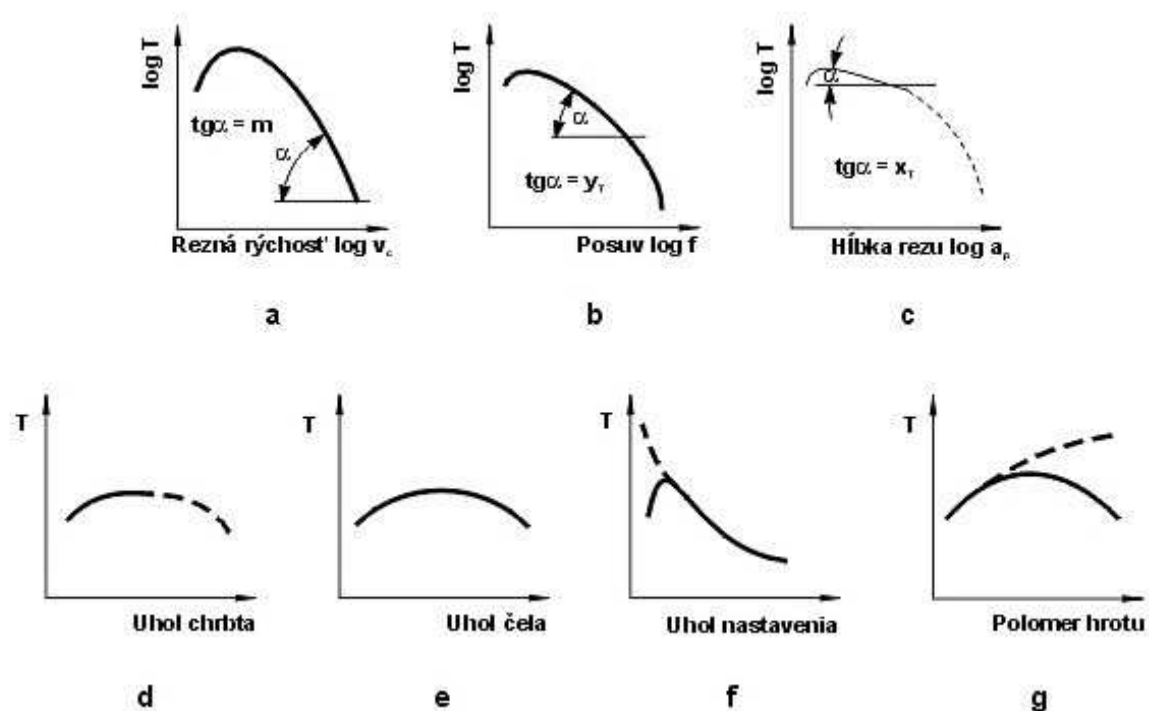
Vplyv hĺbky rezu – závislosť je opäť extrémom – maximum. Pri malých i veľkých hĺbkach rezu sa opäť môže prejavovať nepriaznivý vplyv chvenia na trvanlivosť. Pokles trvanlivosti s rastom hĺbky rezu je malý. Zodpovedá to malému vplyvu hĺbky rezu na teplotu rezania.

Vplyv uhla chrbta – rastom uhla chrbta sa zväčšuje objem opotrebovaného materiálu pre zvolenú mieru otupenia. Adekvátne s tým rastie aj trvanlivosť. Rastom uhla chrbta sa zhoršujú podmienky odvádzania tepla a znižuje sa mechanická pevnosť rezného klina. Rastie pravdepodobnosť vyštrbenia rezného klina. Preto ak sa prekročí určitá hodnota uhla chrbta trvanlivosť klesá.

Vplyv uhla čela – na závislosti trvanlivosti od uhla čela sa výrazne prejavuje vplyv uhla čela na teplotu rezania. Pri malých uhloch čela sa môže vyskytnúť i chvenie. Maximálna trvanlivosť zodpovedá minimu závislosti teploty rezania od uhla čela.

Vplyv uhla nastavenia – s rastom uhla nastavenia rastie hrúbka odrezávanej vrstvy aj teplota rezania a trvanlivosť zákonite klesá. Pri malých uhloch nastavenia, pokiaľ vzniká chvenie, trvanlivosť je menšia ako pri väčších uhloch.

Vplyv polomeru hrotu – s nárastom polomeru hrotu klesá hrúbka odrezávanej vrstvy. Klesá tiež teplota rezania. Trvanlivosť reznej hrany preto s rastom polomeru hrotu rastie. Pri príliš veľkých polomeroch, ak vzniká chvenie, trvanlivosť klesá (Békés, 1981).

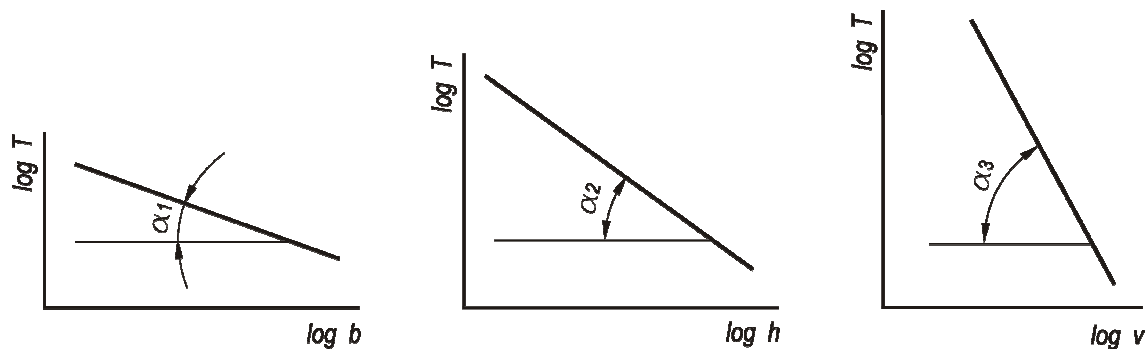


Obr. 25

Závislosti trvanlivosti

5.3 Vplyv rezných pomerov na trvanlivosť ostria

Závislosť trvanlivosti ostria nástroja pri optimálnej geometrii rezného nástroja pre daný rezný materiál (pre ináč konštantných podmienkach práce) vychádza z troch fyzikálnych parametrov: reznej rýchlosti v , hrúbky triesky h a šírky triesky b . V zónach rezných rýchlostí možno závislosť trvanlivosti ostria od jednotlivých fyzikálnych parametrov znázorniť v logaritmickej sústave podľa (obr. 26). Význam rezných rýchlostí je praktický.



Obr. 26

Schéma závislosti trvanlivosti ostria od parametrov rezania.

Matematickú závislosť trvanlivosti od **fyzikálnych parametrov** sa dá vyjadriť empirickým vzorcom

$$T = \frac{C_r'}{v^m b^{x_T} h^{y_T}} \quad (5)$$

kde C_r' je konštanta,

x_T, y_T, m – sú exponenty, ktoré treba vhodným spôsobom určiť podľa (obr.4)

$$x_T = \operatorname{tg} \alpha_1; \quad y_T = \operatorname{tg} \alpha_2; \quad m = \operatorname{tg} \alpha_3 \quad (6)$$

Posuv s a hĺbka rezu t vplývajú na trvanlivosť len v takej miere, ako ovplyvňujú hrúbku a šírku triesky. Ak sa do rovnice (5) dosadia známe výrazy pre závislosti šírky a hrúbky rezu a posuvu, dostaneme:

$$T = \frac{C_r'}{v^m \left(\frac{1}{\sin \chi} \right)^{x_T} s^{y_T} \sin^{y_T} \chi} \quad (7)$$

Keď sa označí:

$$\frac{C_r' \sin^{y_T} \chi}{\sin^{y_T} \chi} = C_r \quad (8)$$

$$T = \frac{C_r}{v^m t^{x_T} s^{y_T}} \quad (9)$$

Z analýzy vplyvu šírky a triesky (hlúbky rezu), hrúbky triesky (posuvu) na trvanlivosť T vyplýva, že so zväčšovaním týchto parametrov trvanlivosť klesá. Pokles trvanlivosti je pri zväčšovaní šírky triesky (hlúbky rezu) relatívne menší ako pri zväčšovaní hrúbky triesky (posuvu) a pokles trvanlivosti je relatívne menší pri zväčšovaní hrúbky triesky ako pri zväčšovaní reznej rýchlosti ($tg \alpha_1 < tg \alpha_2 < tg \alpha_3$).

Uvedenú zákonitosť nazývame **základným zákonom rezania alebo zákonom konštantnej trvanlivosti**, nakoľko má všeobecnú platnosť pre všetky spôsoby obrábania.

Na základe experimentu sa zistilo, že exponenty x_T , y_T a m majú tieto približné hodnoty:

$$x_T \approx 0,3; y_T \approx 0,9; m = 2,5 + 12$$

Ako vyplýva zo zákona konštantnej trvanlivosti najväčší vplyv na trvanlivosť má **rezná rýchlosť**. Preto skúmanie tohto vplyvu má mimoriadny význam. Závislosť trvanlivosti, ktorá sa meria strojovým časom od reznej rýchlosti sa vyjadruje empirickým vzorcom.

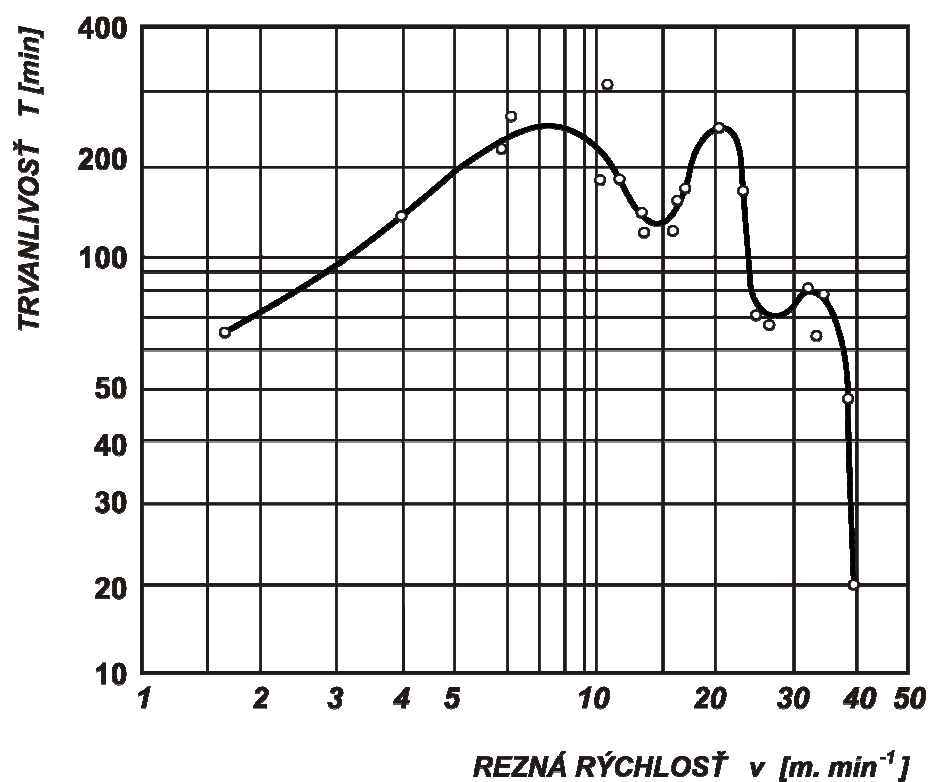
$$T = \frac{C_{Tv}}{v^m} \quad (10)$$

Vplyv reznej rýchlosti sa vyjadruje hodnotou exponentu m . Čím väčšia je hodnota exponentu m , tým rýchlejšie klesá trvanlivosť so zväčšením reznej rýchlosti. Chápané matematicky, exponent m je vlastne záporná hodnota smernice dotyčnice funkcie $\log T = f(\log v)$.

Exponent m závisí od fyzikálno – mechanických vlastností obrábaného a rezného materiálu. Hodnoty exponentu m sa znižujú so zlepšením kvality rezného materiálu a so znížením mechanických vlastností obrábaného materiálu. Exponent m teda závisí aj od druhu rezného nástroja.

Exponent m aj pri obrábaní konkrétneho materiálu určitým druhom rezného materiálu závisí od rezných pomerov, geometrie nástroja, chladenia, od hodnoty kritéria otupenia a pod. Exponent m najväčšmi ovplyvňuje absolútna hodnota reznej rýchlosti. Podstata problému spočíva v tom, že závislosť $\log T = f(\log v)$ má podobu priamky len v určitom úzkom intervale v . Pokiaľ sa skúma závislosť $T = f(v)$ v širokom

rozsahu rezných rýchlostí, zistí sa, že táto závislosť sa nemôže zobrazit' priamkou, ale vo všeobecnosti je to nemonotónna krivka.



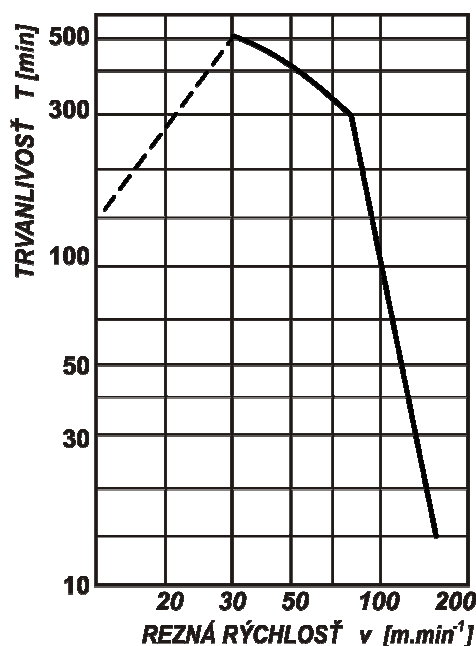
Obr. 27

Závislosť trvanlivosti ostria od reznej rýchlosti pri obrábaní uhlíkovej ocele rýchloreznou oceľou

Napríklad na (obr. 27) je znázornená závislosť $T - v$ získaná pri obrábaní uhlíkovej ocele rýchloreznou oceľou. Z obrázku je vidieť, že závislosť $T - v$ sa v rozsahu skúmanej oblasti reznej rýchlosti v rozmanite mení.

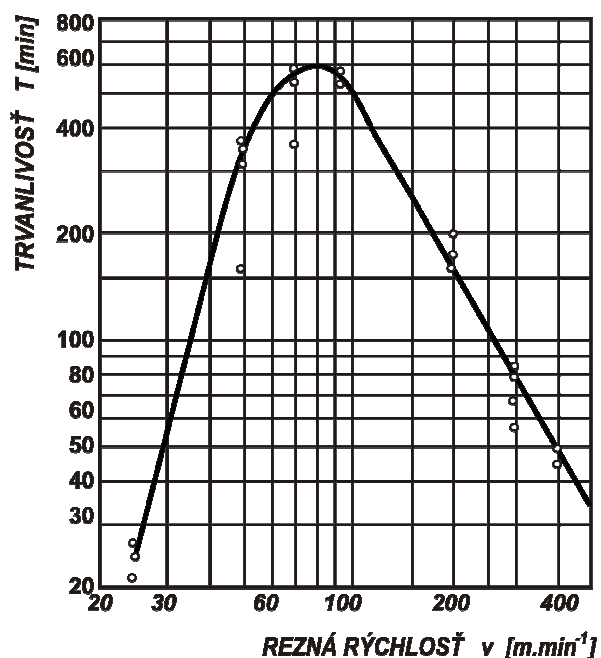
Najprv trvanlivosť so zväčšovaním reznej rýchlosti rastie následne klesá, znova rastie, klesá, rastie a opäť klesá. Je zreteľné, že v celom rozsahu uvedených rezných rýchlostí sa exponent m viackrát mení a že pri tom nadobúda aj záporné hodnoty.

Bodmi vynesnými na (obr. 27) je možné preložit' aj krivku iného priebehu, vyjadrujúcu priebeh závislosti $T - v$. Možné je, že aj pre obrábanie rýchloreznou oceľou bude priebeh závislosti $T - v$ mať podobný charakter ako pri obrábaní nástrojom zo spekaného karbidu.



Obr. 28

Závislosť trvanlivosti pri obrábaní
nožom zo spekaného karbidu



Obr. 29

Závislosť trvanlivosti pri obrábaní
nožom z keramického rezného materiálu

So zápornými hodnotami exponentu m sa môžeme stretnúť aj v závislosti $T-v$ pre spekané karbidy a keramiku. Závislosť $T-v$ pre nástroje z karbidových rezných materiálov je na (obr. 28) a pre keramické rezné materiály na (obr. 29). Vidieť, že tu existuje určitá kritická rýchlosť, ktorá je označená v_k . So zväčšovaním reznej rýchlosti až po hodnotu v_k trvanlivosť stúpa a potom začne klesať. V oblasti rezných rýchlostí, ktoré sú menšie, ako je rýchlosť v_k , nie je účelné pracovať. Je to preto, lebo tu zmenšovaním reznej rýchlosti klesá trvanlivosť a predlžuje sa aj strojový čas. Oblasť používaných rezných rýchlostí v_k , a preto aj závislosť $T-v$ sa v tejto oblasti skúma podrobnejšie.

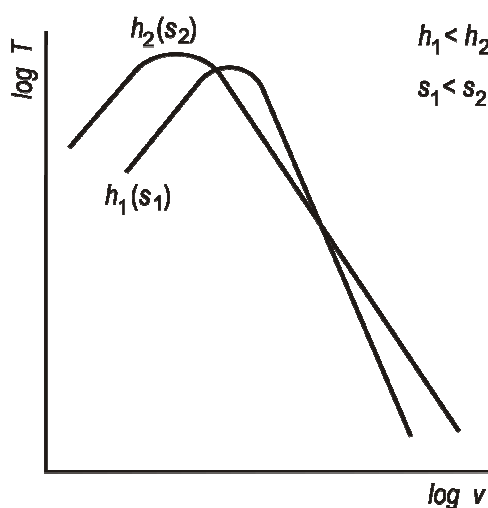
Spomínanú zmenu trvanlivosti v závislosti od reznej rýchlosti a jej rozmanitý charakter v rôznych oblastiach rezných rýchlostí je možné objasniť zmenou charakteru opotrebenia.

Pri **malých rezných rýchlostiach** prebieha opotrebenie pri nízkych teplotách dotyku a rezný materiál sa opotrebovávajú pomaly. Zväčšením reznej rýchlosti sa teplota dotykových plôšok zvyšuje a trieska sa zliepa s čelom nástroja (oblasť tvorenia nárstku). Zliepanie je také silné, že trieska pri klzaní po čele odtrháva z nástroja pomerne veľké čiastočky rezného materiálu a odnáša ich so sebou. Niekedy sa preto

stáva, že sa rezná hrana vyštíepi, najmä na nástrojoch z krehkých rezných materiálov. Pri **Vysokých rezných rýchlostiach** teplota dotkových plôšok veľmi vzrastie. Zliepanie triesky s čelom pri nepretržitom pohybe postupne prestáva a objavuje sa čoraz redšie. Medzi základnou hmotou triesky a čelom nástroja sa vytvorí tenká, mäkká vrstva. Trvanlivosť sa začína znižovať v dôsledku zmenšenia tvrdosti a pevnosti rezného materiálu. Fyzikálno – mechanické javy procesu rezania ovplyvňujú stav trúcih sa párov, čo potom ovplyvňuje trvanlivosť nástroja.

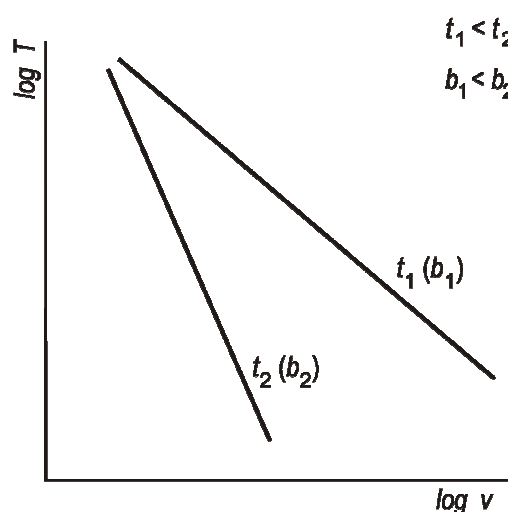
Aby sa mohla podstatu trvanlivosti krivky $T-v$ v širšom rozsahu reznej rýchlosti celkom objasniť, je potrebné ju ešte podrobnejšie preštudovať.

Vplyv **hlúbky rezu a posuvu** na trvanlivosť je potrebné vidieť hlavne v tom, že v závislosti $T-v$ ovplyvňuje veľkosť konštanty C_{Tv} ako aj hodnoty exponentu m a tým celkový priebeh závislosti $T-v$.



Obr. 30

Charakter zmeny závislosti $T-v$
rôzne hrúbky rezu (posuvy)



Obr. 31

Charakter zmeny závislosti $T-v$
rôzne šírky triesky (hlúbky rezu)

Nemonotónny periodický charakter uvedenej závislosti $T-v$ je tým výraznejší, čím menší je prierez triesky, hlavne hrúbka triesky. Pri zväčšení hrúbky triesky celá krivka závislosti $T=f(v)$ sa posúva doľava (obr. 30). Jej ľavé časti postupne miznú, až pri dodatočne veľkej hrúbke triesky ľavá časť celkom mizne a výrazne sa uplatňuje len pravá časť krivky, kde pozorovať sa dá systematické znižovanie trvanlivosti nástroja. Zmena závislosti $T-v$ pri rôznych šírkach triesky je ilustrovaná na (obr.31).

Ako je vidieť z grafov, so zväčšovaním **hrúbky triesky** (posuvu) a so zväčšovaním šírky triesky (hlúbky rezu) sa exponent m znižuje. V tab. 1 sa uvádzajú hodnoty exponentu m zodpovedajúce príslušným posuvom a hĺbkam rezu podľa výskumných výsledkov AVAKOVA a SADYCHOVA (pri obrábaní ocele rýchloreznou oceľou).

Posuv s (mm)	Exponent m pri $T = 4,5$ mm	Hĺbka rezu t (mm)	Exponent m pri $S = 1,2$ mm
0,150	20,0	1	12,6
0,048	16,4	2	11,4
0,230	14,3	3	9,9
0,620	11,1	4	9,4
1,530	8,0	5	8,7

Tab. 1

Hodnoty exponentu m pre rôzne posuvy a hĺbky rezu

Z fyzikálneho hľadiska možno uvedené ovplyvnenie závislosti $T - v$ vysvetliť takto:

So zväčšovaním šírky a hrúbky triesky rastú sily rezania pri ináč konštantných podmienkach. Zväčší sa teda aj rezná práca a množstvo vyvinutého tepla.

So zväčšovaním **šírky triesky** rastie dĺžka dotyku čela dotyku čela nástroja so súčiastkou, čím sa zlepšujú podmienky odvodu tepla. Avšak tento odvod je menej intenzívny ako vznik tepla, lebo rozmery noža a obrobku ostávajú konštantné. V dôsledku toho sa zvyšuje teplota aktívnych častí nástroja, čo má za následok zväčšenie opotrebenia nástroja.

Pri zväčšení *posuvu* sa plocha dotyku triesky s nožom o niečo zväčší, čo tiež vyvolá lepší odvod tepla telesom nástroja. Intenzita odvodu je však menšia ako intenzita vzniku tepla. Dochádza potom analogicky ako pri zväčšovaní šírky triesky k ohrievaniu noža a k zvýšenému opotrebeniu.

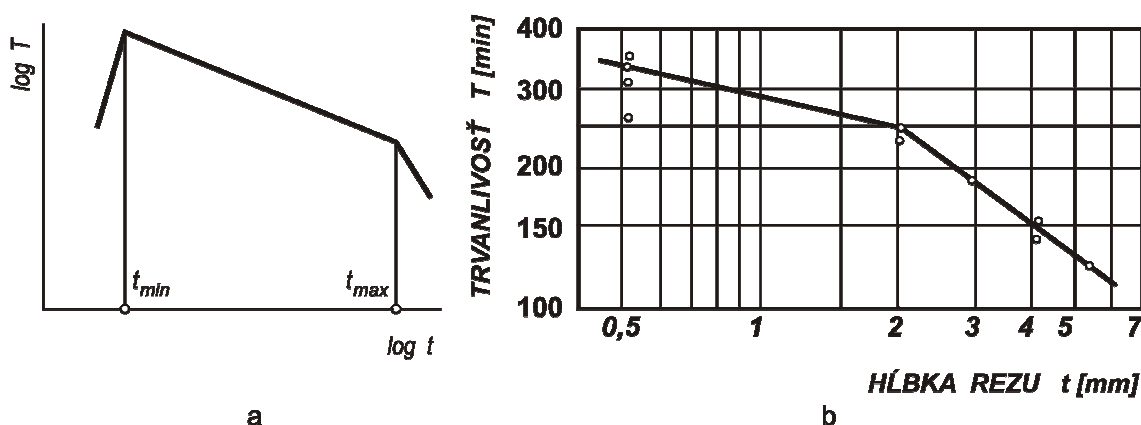
Pri určitom opotrebení (napríklad pri kritériu otupenia) bude trvanlivosť so zväčšením šírky a hrúbky triesky menšia. Ak sa má doceliť určitá konštantná trvanlivosť pri zväčšených parametroch triesky, musí sa nevyhnutne znížiť rýchlosť.

Pri analýze konkrétnych exponentov x_T a y_T sa pozoruje, že

$$x_T < y_T < 1$$

Toto platí len pre tzv. **priame triesky**, kde $s < t$; pri **obrátených trieskach**, kde $s > t$, môže byť stupeň vplyvu hĺbky rezu a posuvu na trvanlivosť a reznú rýchlosť pri konštantnej trvanlivosti odlišný. So zmenšením pomeru hĺbky rezu k posuvu sa stupeň vplyvu posuvu rezu na trvanlivosť zväčšuje a stupeň vplyvu posuvu sa zmenšuje. Pri obrátených trieskach si tieto exponenty môžu vymeniť miesto.

V súvislosti s vplyvom hĺbky rezu (šírky triesky) a posuvu (hrúbky triesky) na trvanlivosť treba ešte poukázať na jeden moment, ktorý sa uplatňuje v závislostiach $T - t$ a $T - s$.

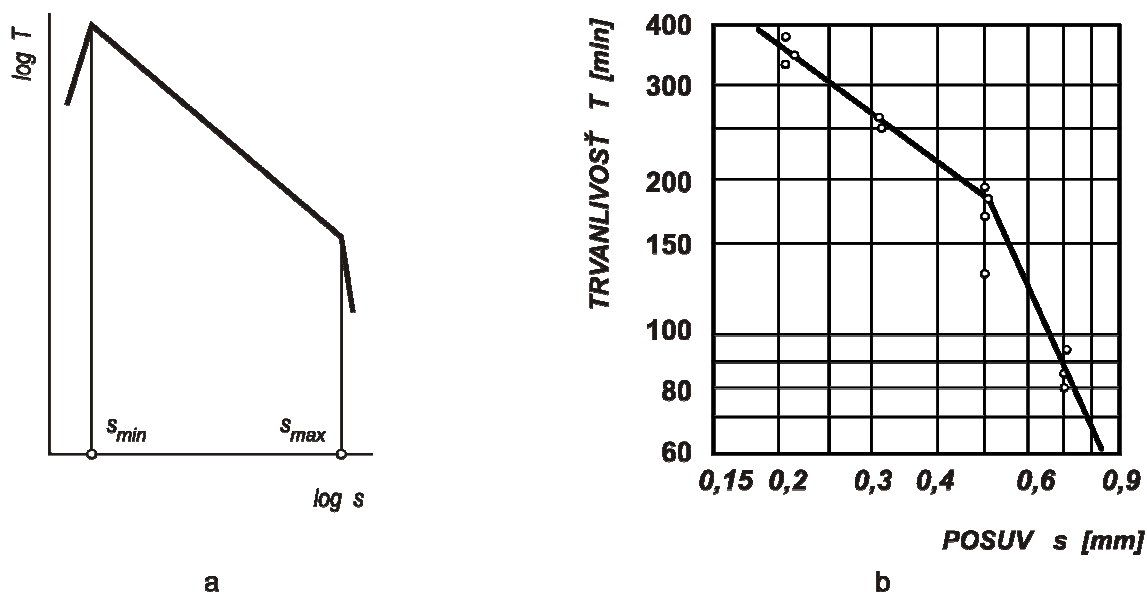


Obr. 32

Závislosť trvanlivosti ostria od hĺbky rezu a – schéma, b - príklad obrábania

Z diagramov na (obr. 32) je vidieť, že existuje určitá hodnota minimálnych t_{min} a s_{min} a hodnota maximálnych t_{max} a s_{max} ; práca s nimi začína byť už nevýhodná, nakoľko trvanlivosť pri týchto hodnotách sa stáva nestabilnou a po prekročení týchto hodnôt (pri minimálnych smerom nadol, pri maximálnych smerom nahor) sa zaznamená prudké zníženie trvanlivosti.

Dolné medze posuvu a hĺbky sú viazané na tzv. **zákon minimálnej hrúbky triesky**. Keď je hrúbka odrezanej vrstvy menšia ako polomer zaoblenia reznej hrany, začína sa rezať veľkými zápornými uhlami. V dôsledku toho badať intenzívne opotrebenie ostria a jeho zvýšené namáhanie, ktoré môže prerásť pevnosť rezného klina a prejaviť sa vyštrbením. Tento jav je aktuálny najmä pri jemnom obrábaní (jemné vyvrtávanie, vystruhovanie, rezanie závitov a podobne).



Obr. 33

Závislosť trvanlivosti ostria od posuvu a – schéma, b - príklad obrábania

Hodnota **minimálnych hĺbok rezu** a **posuvov** závisí od tých istých faktorov ako polomer zaoblenia reznej hrany, t. j. od:

- uhla rezného klina,
- drsnosti rezných plôch nástroja. Tu pri nástrojoch pre jemné obrábanie vystupuje do popredia požiadavka lapovania,
- druhu rezného materiálu. Pre jemné obrábanie je napr. výhodné používať nástroje z rýchloreznej ocele alebo spekaných karbidov .

Medze **prípustných posuvov** s_{max} a hĺbok rezu t_{max} závisia od zaťaženia rezného nástroja. So zväčšovaním hĺbok rezu a posuvov zaťaženia rastie (rezné sily sa zväčšujú, až napokon presiahne dovolené namáhanie, ktoré sa prejaví vyštrbovaním a vylamovaním rezných nástrojov. Tento jav je mimoriadne výrazný pri krehkých rezných materiáloch. Maximálne prípustné posuvy a hĺbky rezu závisia najmä od:

- uhla rezného klina,
- druhu rezného materiálu (od jeho pevnostných vlastností),
- od veľkosti opotrebenia.

6 ZÁVER

Cieľom bakalárskej práce bolo popísať, ako ovplyvňujú jednotlivé parametre pri sústružení trvanlivosť nástroja.

Mohla by byť prínosom pre pracovníkov technologických oddelení a prípravy výroby, ako pomôcka pre optimalizáciu obrábania a efektívne využitie možnosti stroja pri maximálnych rezných rýchlostiach s dôrazom na trvanlivosť a životnosť nástroja.

Z analýzy vplyvu šírky triesky (hlĺbky rezu), hrúbky triesky (posuvu) vyplýva, že zväčšovaním týchto parametrov trvanlivosť klesá. Pokles trvanlivosti je pri zvyšovaní hlĺbky rezu menší ako pri zvyšovaní posuvu. Najväčší vplyv na trvanlivosť má rezná rýchlosť. Pri malých rezných rýchlostiach prebieha opotrebenie pri nízkych teplotách a rezný materiál sa opotrebovávajú pomaly. Zväčšením reznej rýchlosti sa zvyšuje teplota, trieska sa zliepa s nástrojom, odtrháva z neho pomerne veľké čiastočky a odnáša ich so sebou. Stáva sa, že rezná hrana sa vyštíepi. Pri vysokých rezných rýchlostiach vzniká vyššia teplota, medzi trieskou a nástrojom sa vytvára tenká mäkká vrstva, vzniká opotrebenie v dôsledku zmenšenia tvrdosti a pevnosti reznej hrany. Pre nástroje z rôznych rezných materiálov existuje určitá kritická rýchlosť. Zvyšovaním reznej rýchlosti až po hodnotu kritickej reznej rýchlosti trvanlivosť stúpa a potom začne klesať. V oblasti rezných rýchlostí, ktoré sú menšie ako je kritická rýchlosť rezného materiálu nie je účelné pracovať. Je to preto, lebo zmenšovaním reznej rýchlosti klesá trvanlivosť a predlžuje sa aj strojový čas, čo výrazne ovplyvní hospodárnosť a efektivitu obrábania.

7 ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY

AB Sandvik Coromant. 1997. *Příručka obrábění*. 1. vyd. Praha: Sandvik CZ, s. r. o. a Scienta, s. r. o., 1997. ISBN 91-97 22 99-4-6.

BALLA, J. 1989. *Tribológia a tribotechnika*. Nitra: VŠP, 1989. 129 s. ISBN 85-708-85.

BALCOVÁ, T.; GREŇA, Š. 2004. *Česko-slovenský a slovensko-český slovník*. 1. vyd. Bratislava: Kniha-spoločník, 2004. 1031 s. ISBN 80-88814-38-3.

BÁTORA, B. 1995. *Strojárska technológia II. časť*. 2. vyd. Nitra: Vysoká škola poľnohospodárska v Nitre, 1995. 230 s. ISBN 80-7137-196-3.

BÉKÉS, J. 1981. *Inžinierska technológia obrábania kovov*. 1. vyd. Bratislava: Alfa, 1981. 400 s.

BUDA, J.; BÉKÉS, J. 1967. *Teoretické základy obrábania kovov*. Bratislava: Slovenské vydavateľstvo technickej literatúry, 1967, 700 s.

BUDA, J.; SOUČEK, J.; VASILKO, K. 1988. *Teória obrábania*. 2. vyd. Bratislava: Alfa, 1988. 392 s.

KOCMAN, K.; PROKOP, J. 2005. *Technologie obrábění*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s. r. o., 2005. 270 s. ISBN 80-214-468-0.

MEŠKO, D.; KATUŠČÁK, D.; FINDRA, J. 2005. *Akademická príručka*. 2. vyd. Martin: Osveta, 2005. 496 s. ISBN 80-863-200-6.

PAŽITNÝ, M. 2006. *Vplyv rezného prostredia na opotrebenie rezných nástrojov*. Diplomová práca. SPU Nitra, 2005.

PRAMET Šumperk 2009: Sústruženie. Katalóg Pramet tools 2009. 324 s.

TUHÝ, P. 2005. *Porovnanie opotrebenie nástrojov pri sústružení s použitím a bez použitia reznej kvapaliny*. Diplomová práca. SPU Nitra, 2005.

Internetové zdroje:

<http://www.strojárstvo.sk>

<http://www.strojarstvo.sk/inc/casopis/012006/26-27.pdf>