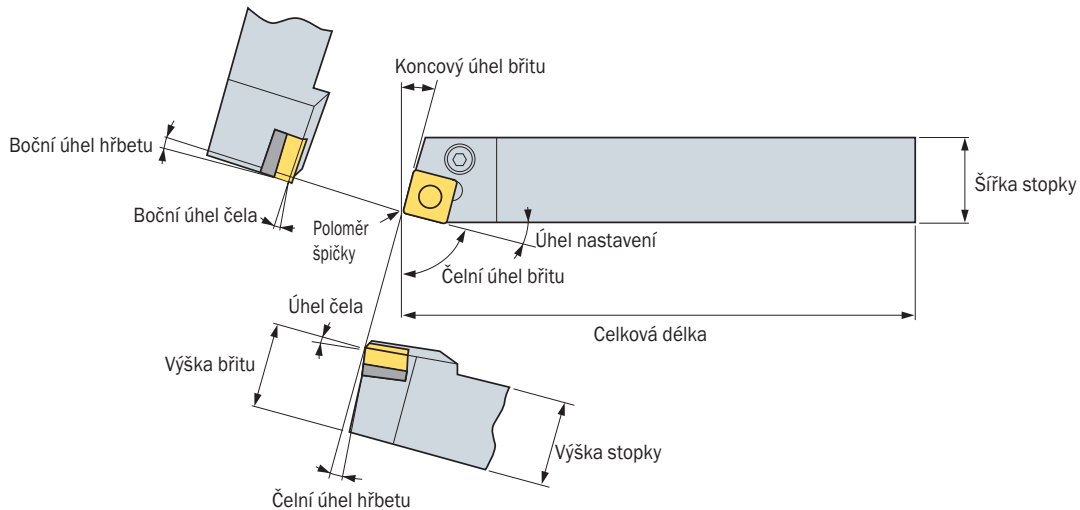


● Tvar a terminologie VBD

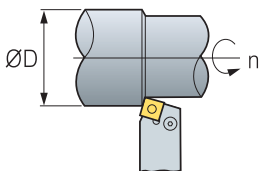


• Vztažné úhly mezi nástrojem a obrobkem

Sklon bříty	Terminologie	Funkce	Efekt
Úhel čela	Boční úhel čela	• Řezná síla, řezné teplo, účinky kontroly třísek na životnost nástroje	<ul style="list-style-type: none"> • (+): Vynikající obrábělnost (snížení řezné síly, zeslabení pevnosti bříty) • (+): Při obrábění obrobků s vynikající obrábělností nebo tenkých obrobků • (-): Pokud je potřeba silný břit za podmínek přerušovaného obrábění nebo pro okuje
	Úhel čela		
Čelní úhel hřbetu	Čelní úhel hřbetu Boční úhel hřbetu	• Pouze břit je v kontaktu s řeznou plochou	• (-): Břit je pevný, ale má krátkou životnost se špatným vlivem na opotřebení hřbetu
Čelní úhel bříty	Čelní úhel bříty	• Ovlivňuje kontrolu třísek a směr řezné síly	• (+): Zlepšená kontrola třísek díky velké tloušťce třísek
	Boční úhel bříty	• Ovlivňuje kontrolu třísek a směr řezné síly	<ul style="list-style-type: none"> • (+): Pevný břit díky rozložené řezné síle, ale kontrola třísek je kvůli tenké tloušťce třísek špatná • (-): Lepší tvorba třísek
	Koncový úhel bříty	• Zabraňuje tření mezi břitem a řeznou plochou	• (-): Břit je pevný, ale má krátkou životnost se špatným vlivem na opotřebení hřbetu

● Výpočetní vzorce pro obrábění

• Řezná rychlost



$$v_c = \frac{\pi \times D \times n}{1000} \text{ (m/min)}$$

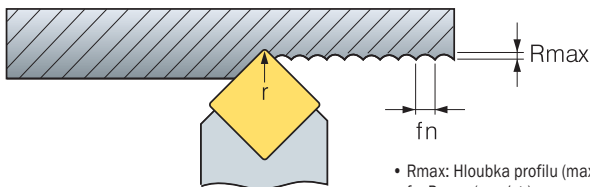
- v_c : Řezná rychlost (m/min)
- n : Otáčky za minutu (min^{-1})
- D : Průměr (mm)
- π : Ludolfovo číslo (3,14)

• Posuv

$$f_n = \frac{v_f}{n} \text{ (mm/ot.)}$$

- f_n : Posuv na otáčku (mm/ot.)
- n : Otáčky za minutu (min^{-1})
- v_f : Posuv stolu (mm/min)

• Kvalita povrchu



- R_{max} : Hloubka profilu (maximální výšková drsnost) (μ)
- f_n : Posuv (mm/ot.)
- r : Poloměr špičky

- Teoretická drsnost povrchu

$$R_{max} = \frac{f_n^2}{8r} \cdot 1000 \text{ (}\mu\text{m)}$$

- Praktická drsnost povrchu

$$\text{Ocel: } R_{max} \times (1,5-3) \quad \text{Litina: } R_{max} \times (3-5)$$

• Požadovaný výkon

$$P_{kw} = \frac{Q \times k_c}{60 \times 102 \times \eta} \quad P_{hp} = \frac{P_{kw}}{0,75} \quad Q = \frac{v_c \times f_n \times a_p}{1000}$$

- P_{kw} : Požadovaný výkon [kW]
- P_{hp} : Požadovaný výkon (koňské síly) [HP]
- v_c : Řezná rychlost [m/min]
- a_p : Řezná hloubka [mm]
- f_n : Posuv na otáčku [mm/ot.]
- k_c : Měrný řezný odpor [kg/mm^2]
- η : Účinnost stroje (0,7-0,8)

Orientační hodnoty k_c

Měkké oceli	190
Středněuhlíkové oceli	210
Vysokouhlíkové oceli	240
Nízkolegované oceli	190
Vysoce legované oceli	245
Litina	93
Kujná litina	120
Bronz, mosaz	70

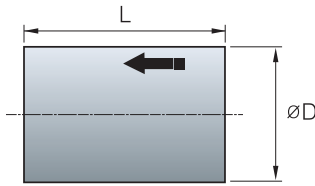
• Rychlost odběru materiálu

$$Q = \frac{v_c \times f_n \times a_p}{1000}$$

- Q : Rychlost odběru materiálu [cm^2/min]
- v_c : Řezná rychlost [m/min]
- a_p : Řezná hloubka [mm]
- f_n : Posuv na otáčku [mm/ot.]

•Strojní čas

Obrábění vnější plochy 1



- Konstantní otáčky za minutu

$$T = \frac{60 \times L}{f_n \times n}$$

- Konstantní řezná rychlost

$$T = \frac{60 \times \pi \times L \times D}{1000 \times f_n \times v_c}$$

T: Strojní čas [s]

L: Řezná délka [mm]

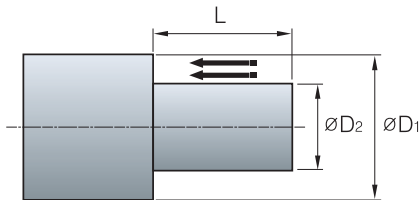
f_n : Posuv na otáčku [mm/ot.]

n: Otáčky za minutu [min⁻¹]

D: Průměr obrobku [mm]

v_c : Řezná rychlost [m/min]

Obrábění vnější plochy 2



- Konstantní otáčky za minutu

$$T = \frac{60 \times L}{f_n \times n} \times N$$

- Konstantní řezná rychlost

$$T = \frac{60 \times \pi \times L \times (D_1 + D_2)}{2 \times 1000 \times f_n \times v_c} \times N$$

T: Strojní čas [s]

L: Řezná délka [mm]

f_n : Posuv na otáčku [mm/ot.]

n: Otáčky za minutu [min⁻¹]

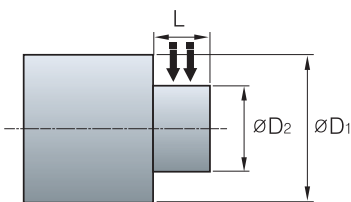
D1: Maximální průměr obrobku [mm]

D2: Minimální průměr obrobku [mm]

v_c : Řezná rychlost [m/min]

N: Počet průchodů = $(D_1 - D_2)/d/2$

Čelní frézování



- Konstantní otáčky za minutu

$$T = \frac{60 \times (D_1 - D_2)}{2 \times f_n \times n} \times N$$

- Konstantní řezná rychlost

$$T_1 = \frac{60 \times \pi \times (D_1 + D_2) \times (D_1 - D_2)}{4000 \times f_n \times v_c} \times N$$

T: Strojní čas [s]

T_1 : Strojní čas do dosažení max. otáček [s]

L: Šířka obrábění [mm]

f_n : Posuv na otáčku [mm/ot.]

n: Otáčky za minutu [min⁻¹]

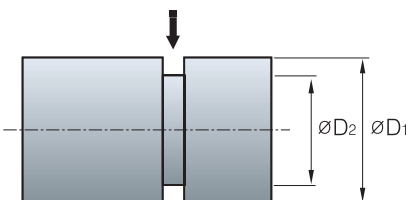
D1: Maximální průměr obrobku [mm]

D2: Minimální průměr obrobku [mm]

v_c : Řezná rychlost [m/min]

N: Počet průchodů = $(D_1 - D_2)/d/2$

Zapichování



- Konstantní otáčky za minutu

$$T = \frac{60 \times (D_1 - D_2)}{2 \times f_n \times n}$$

- Konstantní řezná rychlost

$$T_1 = \frac{60 \times \pi \times (D_1 + D_2) \times (D_1 - D_2)}{4000 \times f_n \times v_c}$$

T: Strojní čas [s]

T_1 : Strojní čas do dosažení max. otáček [s]

L: Šířka obrábění [mm]

f_n : Posuv na otáčku [mm/ot.]

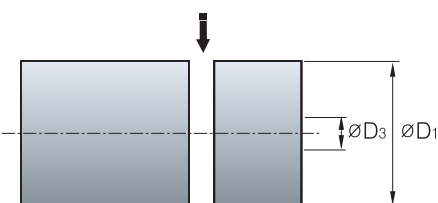
n: Otáčky za minutu [min⁻¹]

D1: Maximální průměr obrobku [mm]

D2: Minimální průměr obrobku [mm]

v_c : Řezná rychlost [m/min]

Upichování



- Konstantní otáčky za minutu

$$T = \frac{60 \times D_3}{2 \times f_n \times n}$$

- Konstantní řezná rychlost

$$T_1 = \frac{60 \times \pi \times (D_1 + D_3) \times (D_1 - D_3)}{4000 \times f_n \times v_c}$$

$$T_3 = T_1 + \frac{60 \times D_3}{2 \times f_n \times n_{max}}$$

T: Strojní čas [s]

T_1 : Strojní čas do dosažení max. otáček [s]

T_3 : Strojní čas do dosažení max. otáček [s]

f_n : Posuv na otáčku [mm/ot.]

n: Otáčky za minutu [min⁻¹]

n_{max} : Maximální otáčky za minutu [min⁻¹]

D1: Maximální průměr obrobku [mm]

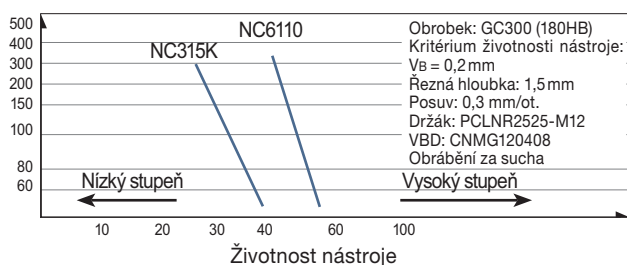
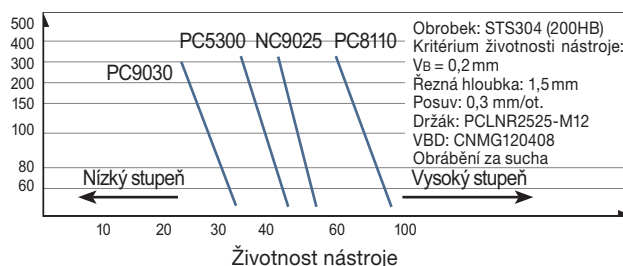
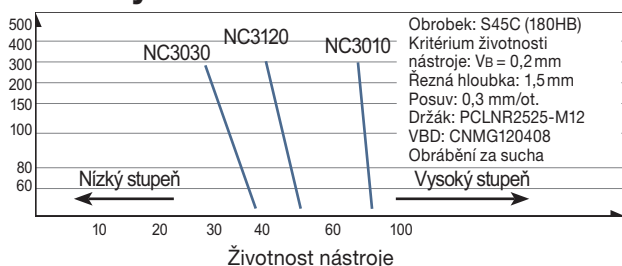
D3: Maximální průměr při maximálních otáčkách [mm]

v_c : Řezná rychlost [m/min]

● Vlivy řezných podmínek

- ▶ Nejvhodnější obrábění znamená krátký strojní čas, dlouhou životnost nástroje a dobrou přesnost. Proto by měly být pro každý nástroj zvoleny správné řezné podmínky podle vlastností, tvrdosti a tvarů materiálu a výkonnosti stroje

● Řezná rychlost



● Účinky řezné rychlosti

- ▶ Když se řezná rychlost při aplikaci zvýší o 20 %, životnost nástroje se zkracuje o 50 %. A naopak, když se řezná rychlost zvýší o 50 %, životnost nástroje se zkracuje na 20 %. Na druhou stranu, pokud je řezná rychlost příliš nízká (20–40 m/min), životnost nástroje se zkracuje kvůli vibracím

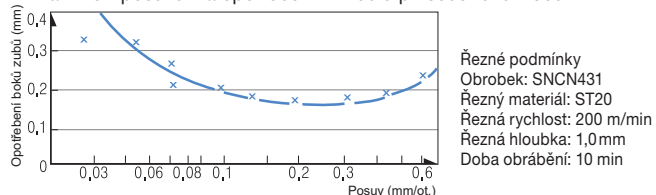
● Posuv

- ▶ Rychlost posuvu při soustružení vyjadřuje vzdálenost, která se urazí na obrobku za 1 otáčku. Rychlost posuvu při frézování znamená posuv stolu dělený počtem zubů frézy (rychlost posuvu na jeden zub)

● Účinky posuvu

- ▶ Když se rychlost posuvu sníží, zvýší se opotřebení hřbetu. Pokud je rychlost posuvu příliš malá, radikálně se zkracuje životnost nástroje
- ▶ Když se rychlost posuvu zvýší, opotřebení hřbetu se zvětšuje kvůli vysokým teplotám, avšak rychlosti posuvu ovlivňují životnost nástroje méně než řezná rychlost. A vyšší rychlosti posuvu zlepšují efektivitu obrábění

- Vztah mezi posuvem a opotřebením hřbetu při soustružení oceli



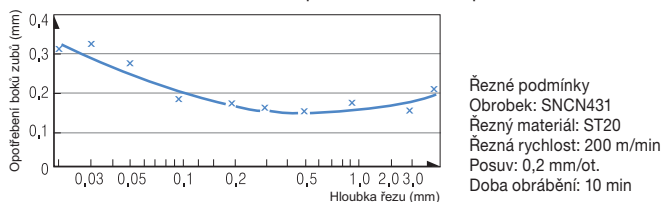
● Hloubka třísky

- ▶ Určuje se podle požadovaných rozměrů při obrábění, podle materiálu obrobku a výkonu stroje. Existují limity obrábění podle různých tvarů a velikostí VBD

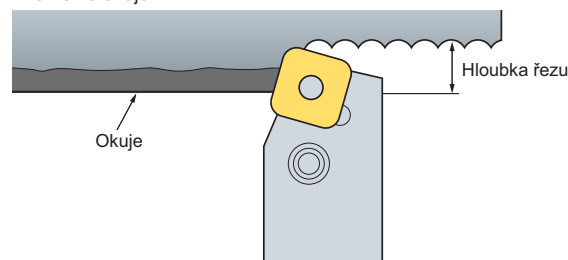
● Účinek řezné hloubky

- ▶ Řezná hloubka nemá velký vliv na životnost nástroje
- ▶ Pokud je řezná hloubka malá, není tříska řezána, ale spíše broušená. V těchto případech vzniká deformační zpevnění, které zkracuje životnost nástroje
- ▶ Při obrábění kůry na odlitku nebo okují je způsobováno vylamování a nadměrné opotřebení kvůli tvrdým vměškám v povrchu obrobku

- Vztah mezi řeznou hloubkou a opotřebením hřbetu při soustružení oceli



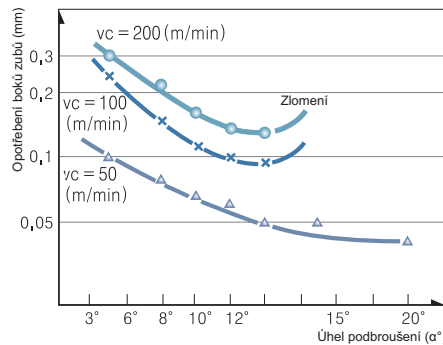
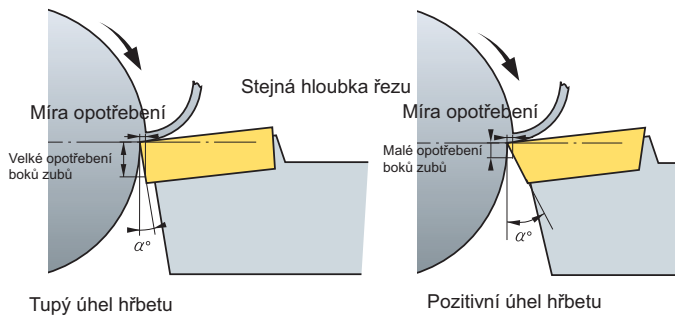
- Povrch s okujemi



● Čelní úhel hřbetu

Úhel hřbetu zabraňuje tření mezi obrobkem a plochou hřbetu a usnadňuje pohyb bříty po obrobku

• Vztah mezi různými úhly hřbetu a opotřebením hřbetu



- Obrobek: SNCM431(HB200)
- Řezný materiál: P20
- ap: 1 mm
- fn: 0,32 mm/ot.
- T: 20 min

Účinky

1. Pokud je úhel hřbetu pozitivní, snižuje se opotřebení hřbetu
2. Pokud je úhel hřbetu pozitivní, oslabuje se pevnost bříty
3. Pokud je úhel hřbetu tupý, dochází k vibracím

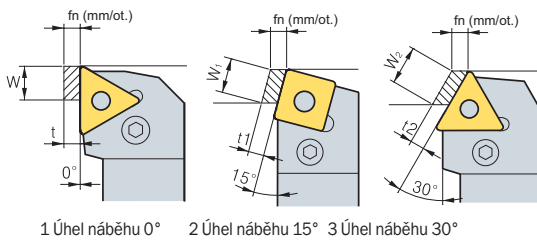
Systém volby

1. Tvrdý obrobek / když je potřeba pevný břit – tupý úhel hřbetu
2. Měkký obrobek / soustružením obrobku snadno vzniká deformační zpevnění – ostrý úhel hřbetu

● Úhel nastavení

Úhel nastavení má velký vliv na odvod třísek a řeznou sílu, proto je správný boční úhel bříty velmi důležitý

• Boční úhel bříty a tloušťka třísek

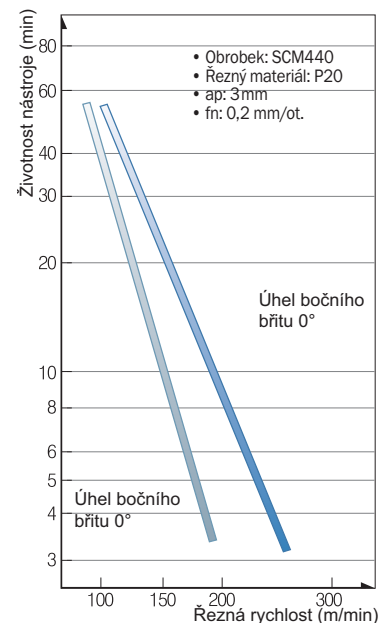


Když se boční úhel bříty zvětšuje, třísky se stávají tenčí a širší (viz obrázky vlevo). Při stejném posuvu a řezné hloubce s úhlem náběhu 0°. Tloušťka třísek je stejná jako posuv ($t = fn$) a šířka třísek se rovná řezné hloubce ($W = ap$)

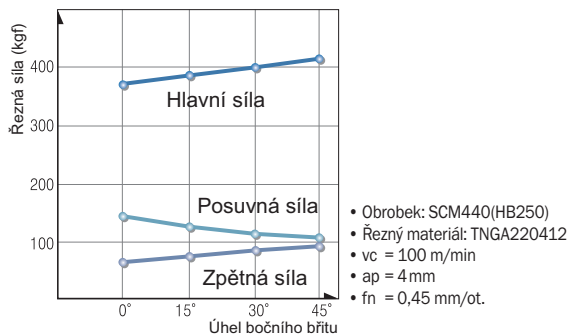
$$t_1 = 0,97t, W_1 = 1,04W$$

$$t_2 = 0,87t, W_2 = 1,15W$$

• Boční úhel bříty a životnost nástroje



• Boční úhel bříty a 3 řezné síly



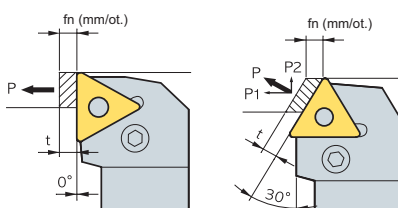
Účinky

1. Ostrý boční úhel bříty při stejném posuvu prodlužuje kontaktní délku třísek a zmenšuje tloušťku třísek. Řezné síly se tak rozkládají na delší řeznou hranu, a proto se prodlužuje životnost nástroje.
2. Ostrý boční úhel bříty může při obrábění dlouhých tyčí způsobit ohýbání

Výběrový systém

1. Velká řezná hloubka dokončování / dlouhý tenký obrobek / malá houževnatost stroje – boční úhel bříty
2. Tvrdý a velmi teplotovný obrobek / hrubování velkého obrobku / velká houževnatost stroje – boční úhel bříty

• Boční úhel bříty a řezné zatížení



1. „Síla P je plná.“
2. „Síla P se rozkládá na P1, P2.“

Když se úhel náběhu zvětšuje, zvětšuje se zpětná síla a zmenšuje se síla posuvu

• Boční úhel bříty a řezný výkon

Specifikace	Nízká	Úhel náběhu	Vysoká
Rychlost opotřebení	Vysoká	←-----→	Nízká
Obrobek	Snadno obrobitelný materiál	←-----→	Těžko obrobitelný materiál
Obráběcí výkon	Malý	←-----→	Velký
Vibrace	Objevují se zřídka	←-----→	Objevují se snadno
Způsob obrábění	Dokončování	←-----→	Hrubování
Houževnatost obrobku	Dlouhý tenký obrobek	←-----→	Silný obrobek
Houževnatost stroje	V případě nízké houževnatosti	←-----→	V případě vysoké houževnatosti

● Koncový úhel bříty

Ovlivňuje obráběný povrch při zabraňování interferenci mezi povrchem obrobku a VBD

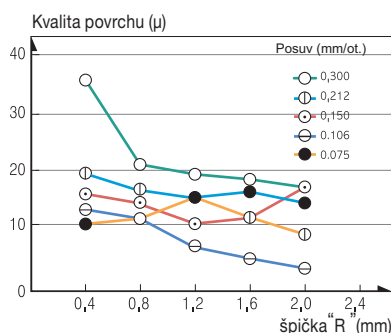
Účinky

1. Pokud se koncový úhel bříty zmenší, zpevní se řezná hrana, ale zvyšuje se řezné teplo vznikající obráběním
2. Tupý koncový úhel bříty může způsobovat vibrace kvůli zvýšení řezné síly

● Poloměr špičky

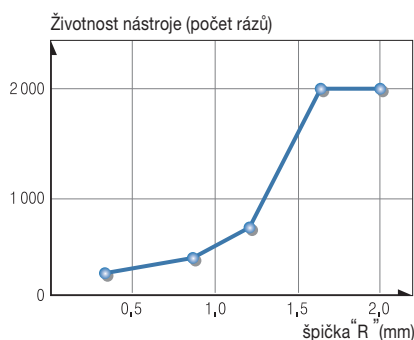
1. Poloměr špičky ovlivňuje nejen drsnost povrchu, ale i pevnost řezné hrany
2. Obecně je žádoucí, aby byl poloměr špičky 2–3krát větší než posuv

• Poloměr špičky a kvalita povrchu



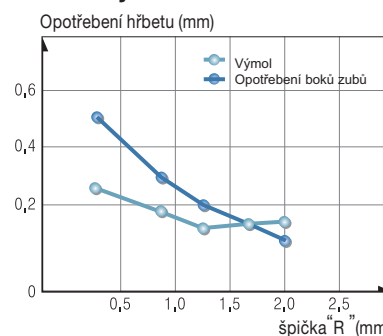
- Obrobek: SNCM439, HB200
- Řezný materiál: P20
- $vc = 120$ m/min, $ap = 0,5$ mm

• Poloměr špičky a životnost nástroje



- Obrobek: SCM440, HB280
- Řezný materiál: P10
- $vc = 100$ m/min, $ap = 0,5$ mm
- $fn = 0,3$ mm/ot.

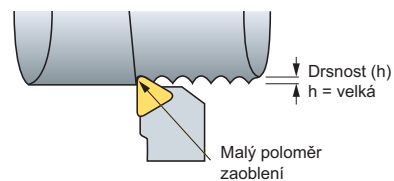
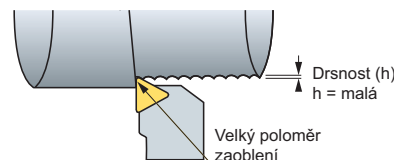
• Poloměr špičky a opotřebení nástroje



- Obrobek: SNCM439, HB200
- Řezný materiál: P10
- $vc = 140$ m/min, $ap = 2$ mm
- $fn = 0,2$ mm/ot., $T = 10$ min

Účinky poloměru špičky

1. Velký poloměr špičky zlepšuje kvalitu povrchu
2. Velký poloměr špičky zlepšuje pevnost řezné hrany
3. Velký poloměr špičky omezuje opotřebení hřbetu a výmoly
4. Příliš velký poloměr špičky způsobuje vibrace kvůli zvýšené řezné síle



Výběrový systém

1. Pro dokončování s malou řeznou hloubkou / dlouhý a tenký obrobek / při malém výkonu stroje – malý poloměr špičky
2. Pro aplikace, které vyžadují pevnou řeznou hranu, jako je přerušované obrábění a obrábění okují / pro hrubování velkého obrobku / při dostatečném výkonu stroje – velký poloměr špičky

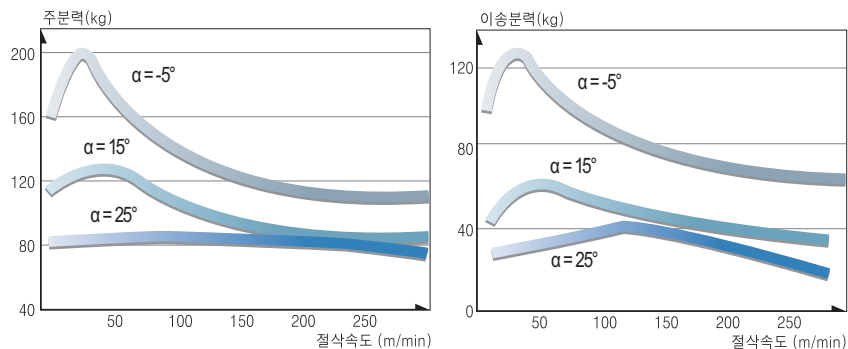
• Vztah mezi poloměrem špičky, posuvem a různými drsnostmi povrchu

Poloměr špičky / Posuv (mm/ot.)	0,4	0,8	1,2
0,15			
0,26			
0,46			

● Tvar břitu a jeho účinky

● Úhel čela [α]

Úhel čela má velký vliv na řeznou sílu, odvod třísky a životnost nástroje



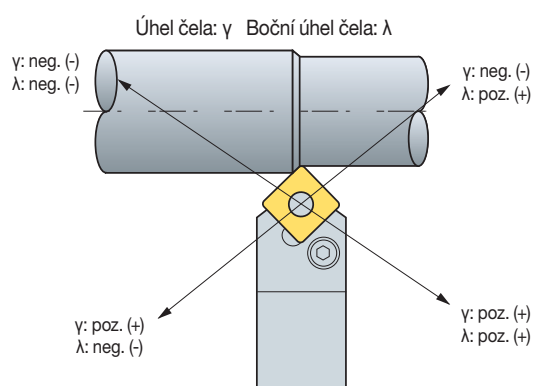
· Účinky

1. Ostrý úhel čela vede k dobré kvalitě povrchu
2. Když se úhel čela zvýší o 1°, obráběcí výkon se sníží o 1 %
3. Ostrý úhel čela oslabuje řeznou hranu

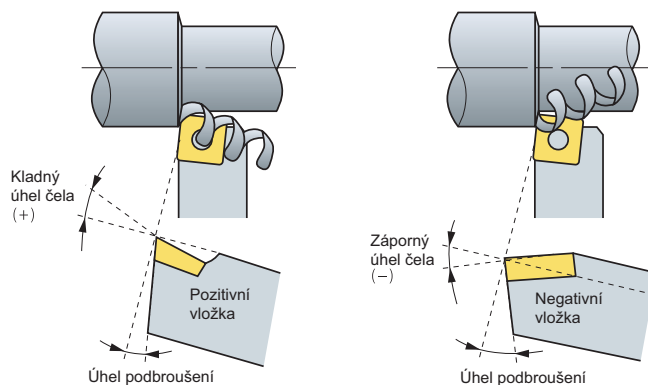
· Výběrový systém

1. Pro tvrdý obrobek / pro aplikace, které vyžadují pevnou řeznou hranu, jako je přerušované obrábění a obrábění okují – tupý úhel čela
2. Pro měkký obrobek / snadno obrobitelný materiál / když je houževnatost výkonu stroje a obrobku malá – ostrý úhel čela

● Úhel čela a směr odvodu třísek



Aby nedošlo k poškození obráběného povrchu, vyhýbejte se kombinaci neg. a poz. γ : neg. (-) λ : poz. (+)



● Volba správných nástrojů

Volba nejlepších nástrojů u různých nástrojových systémů a za různých řezných podmínek je dnes velmi složitá. Je však možné ji usnadnit pomocí níže uvedené klasifikace základních faktorů

● Volba VBD a držáku nástroje

Níže jsou uvedeny základní faktory a volby B v závislosti na A

A : Základní faktory

- Materiál obrobku
- Tvar obrobku
- Velikost obrobku
- Tvrdost obrobku
- Drsnost povrchu obrobku (před obrobením)
- Požadovaná kvalita povrchu
- Typ soustruhu
- Stav soustruhu (houževnatost, výkon apod.)
- Výkon stroje
- Způsob upnutí obrobku

B: Výběrový systém

- ① Zvolte co nejostřejší úhel náběhu.
- ② Zvolte co největší stopku.
- ③ Zvolte co nejpevnější řeznou hranu VBD
- ④ Zvolte co největší poloměr špičky
- ⑤ Při dokončování zvolte VBD využívající mnoho hran
- ⑥ Zvolte co nejmenší VBD
- ⑦ Řeznou rychlost je třeba pečlivě stanovit podle řezných podmínek
- ⑧ Zvolte co největší řeznou hloubku
- ⑨ Zvolte co nejrychlejší posuv
- ⑩ Řezné podmínky je třeba stanovit v rámci rozsahu použití utvařeče třísek

● Odstraňování závad

Poškození nástroje	Příčina	Řešení
<p>Výmoly na čele</p>	<ul style="list-style-type: none"> Nesprávný řezný materiál Příliš náročné řezné podmínky 	<ul style="list-style-type: none"> Zvolte tvrdší materiál Omezte řezné podmínky
<p>Lámání</p>	<ul style="list-style-type: none"> Nesprávný řezný materiál Nadměrný posuv Zkrácení pevnosti řezné hrany Nedostatečná houževnatost držáku 	<ul style="list-style-type: none"> Zvolte houževnatější materiál Snižte posuv Platí pro velké honované nebo zkosené hrany Zvolte větší velikost držáku
<p>Plastická deformace</p>	<ul style="list-style-type: none"> Nesprávný řezný materiál Příliš náročné řezné podmínky Vysoká řezná teplota 	<ul style="list-style-type: none"> Zvolte tvrdší materiál Omezte řezné podmínky Zvolte materiál s velkou tepelnou vodivostí
<p>Opotřebení na rádiu špičky</p> <p>Opotřebení hřbetu VBD</p>	<ul style="list-style-type: none"> Tvrdost obrobku je v porovnání s nástrojem příliš vysoká Obrábění povrchově kaleného obrobku Nesprávný řezný materiál Nadměrná řezná rychlost Příliš tupý úhel hřbetu Příliš malý posuv 	<ul style="list-style-type: none"> Zvolte tvrdší materiál Snižte řeznou rychlost Zvolte ostřejší úhel hřbetu Zvyšte posuv
<p>Trhliny z tepelného pnutí</p>	<ul style="list-style-type: none"> Roztahování a smršťování účinkem řezné teploty Nesprávný řezný materiál (*Především frézování) 	<ul style="list-style-type: none"> Platí pro suché obrábění (v případě mokrého obrábění použijte dostatečné množství chladicího média) Zvolte houževnatější materiál
<p>Vylamování</p>	<ul style="list-style-type: none"> Nesprávný řezný materiál Nadměrný posuv Zkrácení pevnosti řezné hrany Nedostatečná houževnatost držáku 	<ul style="list-style-type: none"> Zvolte houževnatější materiál Snižte posuv Platí pro velké honované nebo zkosené hrany Zvolte větší velikost držáku
<p>Vrubové opotřebení</p>	<ul style="list-style-type: none"> Povrchově kalený obrobek Tření způsobené špatnou geometrií třísek (Vznikají vibrace) 	<ul style="list-style-type: none"> Zvolte tvrdší materiál Zlepšete kontrolu třísek ostřejším úhlem čela
<p>Odlupování</p>	<ul style="list-style-type: none"> Usazování na břitu Špatná kontrola třísek 	<ul style="list-style-type: none"> Zlepšete řezný výkon ostřejším úhlem čela Platí pro velké kapsy na třísky
<p>Úplné odlomení</p>	<ul style="list-style-type: none"> Nepoužitelnost kvůli postupnému opotřebení většiny částí břitu 	
<p>Tvorba nárustků</p>		

● Druhy poškození nástroje a odstraňování problémů

Potíže	Příčiny	Řešení																	
		Řezné podmínky				Volba materiálu VBD				Tvar nástroje				Upnutí ve stroji					
		Řezná rychlost	Posuv	Řezná hloubka	Chladicí médium	Zvolte tvrdší materiál	Zvolte houževnatější materiál	Zvolte materiál s lepší odolností proti tepelným rázům	Zvolte materiál s lepší odolností proti adhezi	Vyhodnocení utvářeče třísek	Úhel čela	Poloměr špičky	Boční úhel bříty	Pevnost rezné hrany Honování	Zlepšení přesnosti VBD Třída M → třída G	Zlepšení houževnatosti držáku	Upnutí obrobku	Přesah držáku	Vibrace stroje
Špatná přesnost Nestabilní velikost obrábění	Přesnost VBD je proměnná												●						
	Obrobek, oddělení nástroje								●	↑	↓				●	●	●	●	
Velký zpětný tlak na břit Je nutné upravit, protože přesnost obrábění se během operace mění	Zvýšení opotřebení hřbetu					●					↑								
	Nevhodné řezné podmínky	↓	↑																
Špatná kvalita povrchu při dokončování Kritérium životnosti nástroje	Oslabená řezná síla zvyšující se opotřebením nástroje	↓			Mokrě obrábění	●		●	●	↑	↑		↓	●					
	Vylamování bříty		↓	↓			●		●		↑		↑		●	●	●		
	Adheze, tvorba nárustků	↑	↑		Mokrě obrábění			●	●	↑			↓	●					
	Nevhodné řezné podmínky	↑	↓	↓	Mokrě obrábění														
									●		↑			↓	●				
	Vibrace, klepání	↓	↓	↓	Mokrě obrábění		●		●	↑	↓		↓		●	●	●	●	
Vznik rezného tepla Špatná přesnost obrábění a krátká životnost nástroje kvůli reznému teple	Nevhodné řezné podmínky	↓	↓	↓			●		●	↑			↓						
Otřepy, vylamování, zdrsnění povrchu Oceli, hliník (otřepy)	Nevhodné řezné podmínky	↓	↑		Mokrě obrábění														
						●		●	↑	↓		↓							
Litina (slabé vylamování)	Nevhodné řezné podmínky		↓	↓															
						●		●	↑	↑		↓		●	●	●	●		
Měkké oceli (zdrsnění povrchu)	Nevhodné řezné podmínky	↑	↑		Mokrě obrábění														
						●		●	↑			↓							

↑: Zvýšit ↓: Snížit ○: Použít ●: Správně použít

● Kritérium životnosti nástroje

• KS B0813

Šířka opotřebení hřbetu	0,2mm	Přesné lehké obrábění, dokončování u neželezných slitin
	0,4mm	Obrábění speciálních ocelí
	0,7mm	Běžné obrábění u litiny, ocelí apod.
	1–1,25mm	Běžné obrábění u litiny, ocelí apod.
Hloubka výmolu	Obecně 0,05–0,1 mm	

• ISO B8688

Kritérium životnosti nástroje	Použití
Úplné odlomení	Obrábění speciálních ocelí
Šířka opotřebení hřbetu $V_B = 0,3\text{mm}$	Rovnoměrné opotřebení hřbetu u slitiných karbidů, keramických nástrojů
$V_{Bmax} = 0,5\text{mm}$	Nerovnoměrné opotřebení hřbetu
Šířka výmolu $KT = 0,06 \pm 0,3 \text{ fmm (f: mm/ot.)}$	Nástroj ze slitutého karbidu
Kritérium podle drsnosti povrchu 1, 1,6, 2,5, 4, 6,3, 10 $\mu\text{m Ra}$	Když je důležitá drsnost povrchu