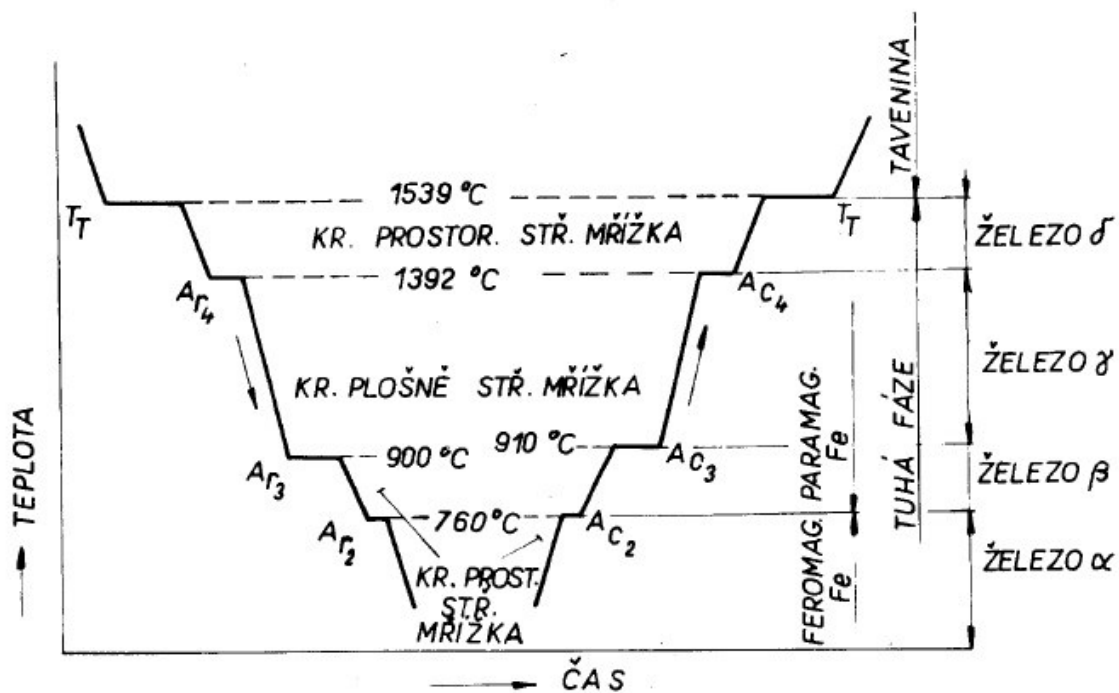


KŘIVKA CHLADNUTÍ A OHŘEVU ČISTÉHO TĚLESA

Křivka chladnutí a ohřevu čistého železa¹⁰.

A ... odvozeno od francouzského slova arrêt=zastavení⁶³

r ... odvozeno od francouzského slova refroidissement = ochladnutí, zchladnutí⁶³

c ... odvozeno od francouzského slova chauffage = ohřívání⁶³

SLOVNÍK POJMŮ

Anizotermická reakce – ARA diagramy popisují rozpad austenitu za anizotermických podmínek při různých rychlostech plynulého ochlazování¹⁰.

Austenit – intersticiální tuhý roztok uhlíku v železe γ ¹⁰.

Bainit – nerovnovážná směs deskovitých krystalů přesyceného tuhého roztoku α a drobných částic karbidů¹⁰.

Bainitická přeměna – probíhá za teplot kdy je možná jen difuze intersticiální. Podle teploty přeměny vzniká buď horní bainit nebo dolní bainit. Produktem této přeměny je bainit¹⁰.

Horní bainit – vzniká izotermickým rozpadem austenitu za vyšších teplot (350 °C až 550 °C). Má nižší tvrdost než spodní bainit. Je tvořen deskami bainitického feritu a hrubšími částicemi cementitu¹⁰.

Izotermická reakce – IRA diagramy popisují transformaci austenitu na bainit za izotermických podmínek při různých rychlostech ochlazování¹⁰.

Martenzit – nerovnovážný přesycený tuhý roztok uhlíku v železe α ¹⁰.

Martenzitická přeměna - bezdifuzní přeměna austenitu na martenzit probíhající za nízkých teplot, která spočívá v potlačení změny rozpustnosti uhlíku při vysoké rychlosti ochlazování. Produktem martenzitické přeměny je martenzit¹⁰.

M_f – martenzit finish – konec martenzitické přeměny¹⁰.

M_s – martenzit start – začátek martenzitické přeměny¹⁰.

Sorbit - pevná a houževnatá feriticko-cementitická struktura¹¹.

Spodní bainit – vzniká izotermickým rozpadem austenitu za nižších teplot (350 °C až M_s) a jeho tvrdost je vyšší. Je tvořen svazky tenkých desek bainitického feritu, ve kterých je vyloučeno velké množství jemných karbidů¹⁰.

Troostit – struktura oceli, která vzniká při (nedokonalém) rozpadu austenitu na perlit při izotermických pochodech tepelného zpracování¹¹.

VÝPOČET INDEXU OBROBITELNOSTI

$$K_v = \frac{v_{T/BZM}}{v_{T/BEM}} \quad (1.1)$$

K_v ... index obrobiteľnosti⁵¹

$v_{T/BZM}$... řezná rychlost zkoušeného materiálu odpovídá v_{15zk} ($m \cdot min^{-1}$), tj. řezná rychlost v_c při trvanlivosti $T_n = 15$ minut pro zkoušený materiál⁸⁵

$v_{T/BEM}$... řezná rychlost etalonového materiálu odpovídá v_{15et} ($m \cdot min^{-1}$), tj. řezná rychlost v_c při trvanlivosti $T_n = 15$ minut pro referenční materiál⁸⁵

Tabulka 3 Součinitelé obrobiteľnosti a třídy obrobiteľnosti⁵¹.

Součinitel obrobiteľnosti K_v		Třída obrobiteľnosti pro skupinu materiálu			
Od - do	Střední hodnota	a	b	c	d
0,045 – 0,054	0,050		1 b		
0,055 – 0,069	0,065		2 b		
0,07 – 0,089	0,08		3 b		
0,09 – 0,11	0,10		4 b		
0,12 – 0,14	0,13		5 b		
0,15 – 0,17	0,16		6 b		
0,18 – 0,221	0,20		7 b		
0,23 – 0,28	0,25		8 b		
0,29 – 0,35	0,32		9 b		
0,36 – 0,44	0,40	6 a	10 b	7 c	6 d
0,45 – 0,56	0,50	7 a	11 b	8 c	7 d
0,57 – 0,71	0,63	8 a	12 b	9 c	8 d
0,72 – 0,89	0,80	9 a	13 b	10 c	9 d
0,90 – 1,12	1,0	10 a	14 b	11 c	10 d
1,31 – 1,41	1,26	11 a	15 b	12 c	11 d
1,42 – 1,78	1,59	12 a	16 b	13 c	12 d
1,79 – 2,24	2,0	13 a	17 b	14 c	13 d
2,25 – 2,82	2,5		18 b		
2,83 – 3,55	3,15		19 b		
3,56 – 4,47	4,0		20 b		

DIAGRAM STABILITY

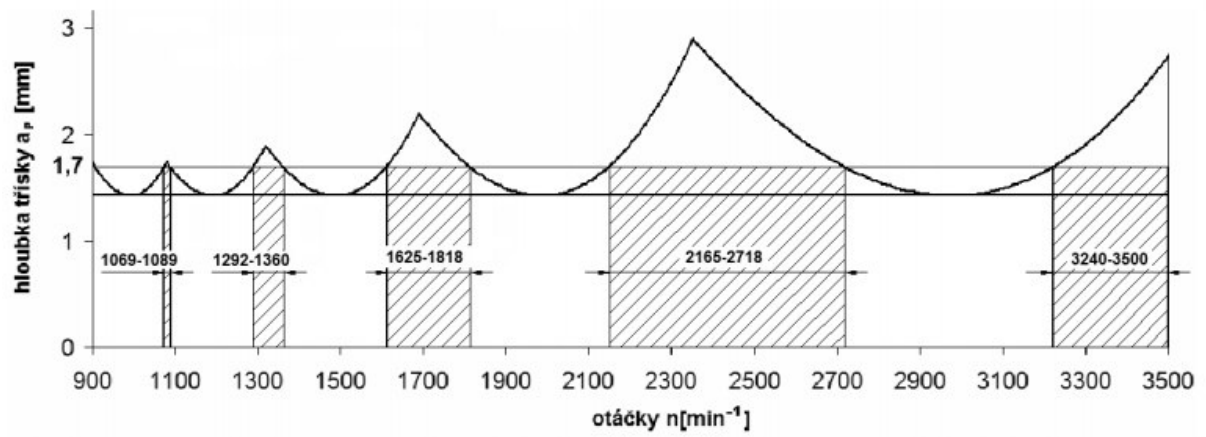


Diagram stability s vyznačenými intervaly stabilního obrábění při šířce záběru ostří $a_p = 1,7$ mm a $k_c = 2545$ MPa⁵².

SOUSTRUŽENÍ

Volba řezných podmínek je závislá na vstupních parametrech (materiál obráběného dílce, materiál břitu řezného nástroje,...) a na požadovaných vlastnostech obrobku (jakost obrobeného povrchu, přesnost rozměrů a tvaru,...)⁴¹.

Řezná (obvodová) rychlost (v_c) rychlost bodu na obvodu obrobku ve směru proti břitu. Řezná rychlost se plynule mění u čelního soustružení, kdy se nástroj posouvá do středu. Při stálých otáčkách se řezná rychlost snižuje. Pokud se otáčky vřetena ani průměr součásti nemění, je řezná rychlost konstantní. Moderní CNC soustruhy jsou schopny při pohybu nástroje k ose obrobku otáčky zvyšovat a vyrovnat tím vliv zmenšujícího se průměru. Toto vyrovnání nelze provést u velmi malých průměrů, protože rozsah otáček stroje je omezen^{40,41,42,45}.

Výsledný řezný pohyb (v_e) má u podélného soustružení tvar šroubovice a u čelního soustružení tvar Archimedovy spirály⁴⁵.

Posuv (f) je dráha, kterou urazí špička nástroje za jednu otáčku obrobku. Jedná se o rozhodující faktor, který určuje kvalitu povrchu obrobené plochy a rozhoduje o utváření třísky vůči geometrii VBD. Při hrubování je hodnota posuvu přibližně 0,4 až 3,5 mm, při obrábění na čisto 0,06 až 0,3 mm a při jemném soustružení 0,03 až 0,05^{40,41,42}.

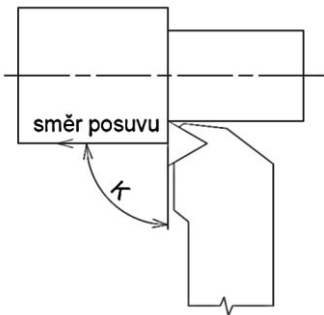
Šířka záběru ostří (a_p) je rozdíl mezi původním průměrem obráběné plochy a průměrem obrobené plochy. Šířka záběru ostří při hrubování bývá obvykle 3 až 30 mm, při obrábění na čisto 0,5 až 2 mm a při jemném soustružení 0,03 až 0,3 mm^{40,41,42}.

Nastavení břitu vůči obrobku vyjadřuje **úhel nastavení hlavního ostří** (κ). Je to úhel mezi hlavním ostřím břitové destičky a směrem posuvu. Ovlivňuje utváření třísky, rozhoduje o směru řezných sil, délce břitu v záběru^{40,42}.

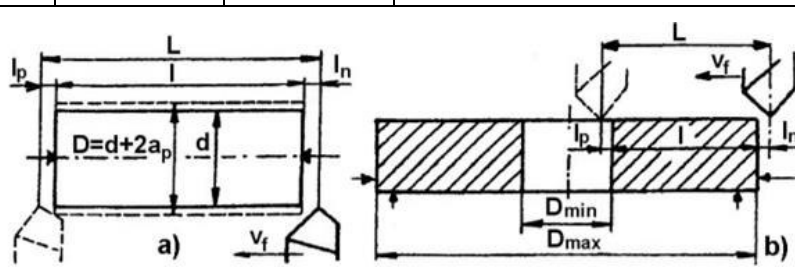
Velikost **řezné síly** je jeden z faktorů ovlivňujících obrobiteľnost. Řezné síly ovlivňují spotřebu energie během procesu, velikost výkonu i velikost opotřebení nástrojů a tím jejich i trvanlivost. V technologii obrábění kovů je cílem nalézt rovnováhu mezi nízkými řeznými silami a hospodárností výroby (maximální výkon při minimálních nákladech). Celková řezná síla má 3 základní složky (obr. 3.3) – řezná síla F_c , posuvová síla F_f a pasivní síla F_p ^{41,44,45}.

ŘEZNÉ PODMÍNKY PRO SOUSTRUŽENÍ

Tab. 6 Řezné podmínky pro soustružení^{41,45}.

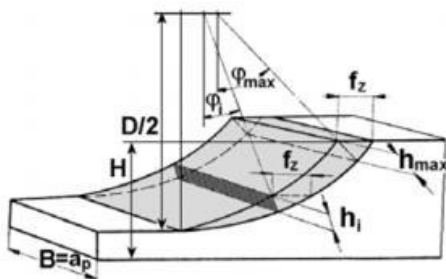
Název	Označení	Jednotky	Vzorec	
Řezná rychlost	v_c	$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$	$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{100}$	(1.2)
Posuvová rychlost	v_f	$\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$	$v_f = f \cdot n$	(1.3)
Výsledný řezný pohyb	v_f	$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$	$v_e = \sqrt{v_c^2 \cdot v_f^2}$	(1.4)
Posuv na otáčku obrobku	f	mm		
Šířka záběru ostří	a_p	mm	$a_p = 0,5 \cdot (D - d)$	(1.5)
			$a_p = L - l$	(1.6)
Úhel nastavení hlavního ostří (obr. 3.1)	κ	°		
 <p>Úhel nastavení hlavního ostří⁴².</p>				
Celkové náklady na obrábění	N_c	Kč	$N_c = N_n + N_s + N_v$	(1.7)
Optimální trvanlivost břítu - při minimálních nákladech (obr. 3.2)	T_{opt}	min	$T_{opt} = (m - 1) \frac{60 \cdot B}{E} \cdot \lambda$	(1.8)
Optimální trvanlivost břítu - při maximální výrobě	T_{opt}	min	$T_{opt} = (m - 1) t_{AX} \cdot \lambda$	(1.9)
Řezná síla (obr. 3.3)	F_c	N	$F_c = C_{Fc} \cdot a_p^{x_{Fc}} \cdot f^{y_{Fc}}$	(1.10)

ŘEZNÉ PODMÍNKY PRO SOUSTRUŽENÍ

Posuvová síla	F_f	N	$F_f = C_{Ff} \cdot a_p^{x_{Ff}} \cdot f^{y_{Ff}}$	(1.11)
Pasivní síla	F_p	N	$F_p = C_{Fp} \cdot a_p^{x_{Fp}} \cdot f^{y_{Fp}}$	(1.12)
Jednotkový strojní čas - podélné soustružení (obr. 3.4 a)	t_{AS}	min	$t_{AS} = \frac{L}{n \cdot f} = \frac{l_n + l + l_p}{n \cdot f}$	(1.13)
Jednotkový strojní čas – čelní soustružení (obr. 3.4 b)	t_{AS}	min	při konstantních otáčkách obrobku $t_{ASn} = \frac{[(D_{max} + 2l_n) - (D_{min} - 2l_p)]}{2} \cdot \frac{1}{n \cdot f}$	(1.14)
			při konstantní řezné rychlosti $t_{ASv} = \frac{\pi \cdot [(D_{max} + 2l_n)^2 - (D_{min} - 2l_p)^2]}{4 \cdot 10^3 \cdot v_c \cdot f}$	(1.15)
 <p>Jednotkový strojní čas t_{AS}^{45} a) podélné soustružení, b) čelní soustružení.</p>				

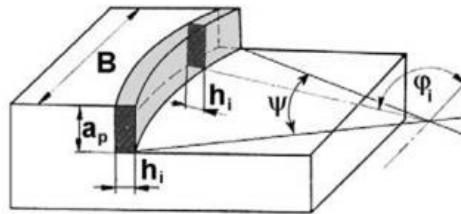
ŘEZNÉ PODMÍNKY PRO FRÉZOVÁNÍ

Tab. 7 Řezné podmínky pro frézování^{41,45}.

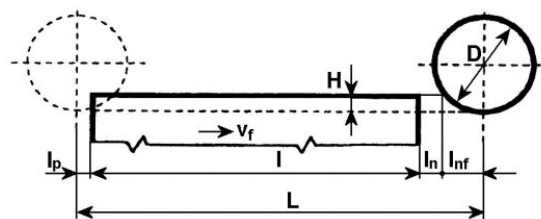
Název	Označení	Jednotky	Vzorec	
Řezná rychlost	v_c	$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$	$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000}$	(2.1)
Posuvová rychlost	v_f	$\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$	$v_f = z \cdot n \cdot f_z$	(2.2)
Posuv na otáčku	f_n	mm	$f_n = f_z \cdot z$	(2.2)
Válcové frézování:				
				
Průřez třísky při válcovém frézování ⁴⁵ .				
Průřez třísky odebírané jedním zubem frézy	A_{Di}	mm^2	$A_{Di} = a_p \cdot h_i = a_p \cdot f_z \cdot \sin \varphi_i$	(2.3)
Tloušťka třísky v libovolném φ	h_i	mm	$h_i = f(\varphi_i) = f_z \cdot \sin \varphi_i$	(2.4)
Maximální velikost průřezu třísky	A_{Dmax}	mm^2	$A_{Dmax} = a_p \cdot h_{max} = a_p \cdot f_z \cdot \sin \varphi_{max}$	(2.5)
			$\sin \varphi_{max} = \frac{2}{D} \sqrt{D \cdot H - H^2}$	(2.6)
Řezná síla	F_{ci}	N	$F_{ci} = C_{Fc} \cdot a_p \cdot f_z^x \cdot \sin^x \varphi_i$	(2.7)
Celková řezná síla	F_c	N	$F_c = \sum_{i=1}^{n_z} F_{ci} =$	(2.8)
			$= C_{Fc} \cdot a_p \cdot f_z^x \cdot \sum_{i=1}^{n_z} \sin^x \varphi_i \quad [N]$	(2.9)
			$n_z = \frac{\varphi_{max}}{360} \cdot z \quad [-]$	

ŘEZNÉ PODMÍNKY PRO FRÉZOVÁNÍ

Čelní frézování:

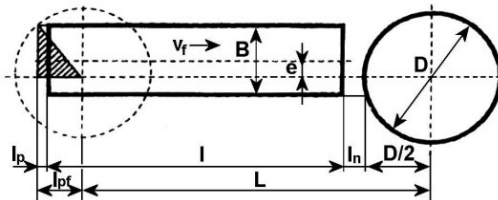
Průřez třísky při čelním frézování⁴⁵.

Tloušťka třísky	h_i	mm	$h_i = f_z \cdot \sin \varphi_i \cdot \sin \kappa$	(2.10)
Šířka třísky	b	mm	$b = \frac{a_p}{\sin \kappa}$	(2.11)
Průřez třísky pro $\kappa=90^\circ$	A_{Di}	mm ²	$A_{Di} = b \cdot h_i = a_p \cdot f_z \cdot \sin \varphi_i$	(2.12)
Řezná síla	F_{ci}	N	$F_{ci} = C_{Fc} \cdot a_p \cdot f_z^x \cdot \sin^x \varphi_i \cdot \sin^{(x-1)\kappa}$	(2.13)
Celková řezná síla	F_c	N	$F_c = \sum_{i=1}^{n_z} F_{ci}$	(2.14)
			$= C_{Fc} \cdot a_p \cdot f^x \cdot \sin^{(x-1)\kappa} \cdot \sum_{i=1}^{n_z} \sin^x \varphi_i$	(2.15)
	$n_z = \frac{\psi}{360} \cdot z [-]$			
Jednotkový strojní čas	t_{AS}	min	$t_{AS} = \frac{L}{v_f}$	(2.16)
Dráha nástroje – válcová fréza	L	mm	$L = l + l_n + l_p + l_{nf}$	(2.17)
			$l_{nf} = \sqrt{H \cdot (D - H)}$	(2.18)

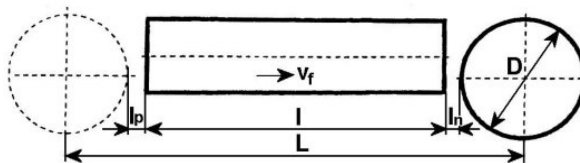
Dráha frézy pro válcové frézování⁴⁵.

ŘEZNÉ PODMÍNKY PRO FRÉZOVÁNÍ

Dráha nástroje - čelní fréza – hrubé asymetrické fr.	L	mm	$L = l + l_n + l_p + \frac{D}{2} - l_{nf}$ $l_{nf} = \sqrt{\left(\frac{D}{2}\right)^2 - \left(\frac{B}{2} + e\right)^2}$	(2.19) (2.20)
--	---	----	--	------------------

Dráha frézy pro hrubé čelní asymetrické frézování⁴⁵.

Dráha nástroje – čelní fréza – symetrické fr. načisto	L	mm	$L = l + l_n + l_p + D$	(2.21)
---	---	----	-------------------------	--------

Dráha frézy pro čelní asymetrické frézování načisto⁴⁵.

ŘEZNÉ PODMÍNKY PRO VRTÁNÍ

Tab. 8 Řezné podmínky pro vrtání^{41,45}.

Název	Označení	Jednotky	Vzorec	
Řezná rychlost	v_c	$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$	$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000}$	(3.1)
Posuvová rychlost	v_f	$\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$	$v_f = f \cdot n$	(3.2)
Rychlost řezného pohybu	v_e	$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$	$v_e = \sqrt{v_c^2 + v_f^2}$	(3.3)
Posuv na zub	f_z	mm	$f_z = \frac{f}{z}$	(3.4)
Plocha průřezu třísky při vrtání do plného materiálu, odebíraná jedním břitem nástroje	S	mm^2	$S = a_p \cdot \frac{f}{2} = \frac{D}{2} \cdot \frac{f}{2} = \frac{D \cdot f}{4} = b_D \cdot h_D$	(3.5)
Plocha průřezu třísky při zvětšování předvrtané díry, odebíraná jedním břitem nástroje	S	mm^2	$S = a_p \cdot \frac{f}{2} = \frac{D-d}{2} \cdot \frac{f}{2} = \frac{(D-d) \cdot f}{4} = b_D \cdot h_D$	(3.6)
Posuvová síla	F_f	N	$F_f = C_{F_f} \cdot D^{x_{F_f}} \cdot f^{y_{F_f}}$	(3.7)
Řezná síla	F_c	N	$F_c = C_{F_c} \cdot D^{x_{F_c}} \cdot f^{y_{F_c}}$	(3.8)
Strojní čas	t_{AS}	min	$t_{AS} = \frac{l_{th} + l_n + l_p}{n \cdot f}$	(3.9)
Teoretická délka vrtání	l_{th}	mm	$l_{th} = l + \frac{D}{2} \cot g \kappa_r$	(3.10)

ŘEZNÉ PODMÍNKY PRO BROUŠENÍ

Tab. 9 Řezné podmínky pro broušení^{41,50}.

Název	Označení	Jednotky	Vzorec	
Řezná rychlost	v_c	$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$	$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000}$	(4.1)
Podélný posuv brousícího kotouče	f_k	mm		
Radiální přísuv brousícího kotouče do řezu	f_r	mm		


PŘÍKLADY VOLBY MATERIÁLŮ PRO ŘEZNÉ NÁSTROJE Z KATALOGŮ SOUSTRUŽENÍ

	ISO	ANSI		
H Tvrdé materiály	01	C4		CC 6050
	10	C3	CB 7015 CB 7025	CC 670
	20	C2		CB 7525
	30	C1		

Sandvik Coromant - karbidové třídy pro všeobecné soustružení⁶⁰.

T8315

	10	20	30	40	P	M	K	N	S	H
	05	15	25	35	45					



- vysoce otěruvzdorný člen řady T8300 se zaručenou houževnatostí
- submikronový substrát s relativně nízkým obsahem kobaltu
- nano-vrstevnatý PVD povlak s gradientními přechody
- snížené vnitřní prnutí v povlaku při zvýšení tvrdosti
- zmenšení vrubového opotřebení na hlavním břitě
- vyšší řezné rychlosti
- střední průřezy třísek
- vhodný pro obrábění materiálů skupiny M, K, N, H, podmíněně P a S
- stabilní záběrové podmínky

- vysoko otěruvzdorný člen rady T8300 so zaručenou houževnatostí
- submikronový substrát s relativně nízkým obsahem kobaltu
- nano-vrstevnatý PVD povlak s gradientními přechody
- snížené vnitřní prnutí v povlaku při zvýšení tvrdosti
- zmenšení vrubového opotřebenia na hlavnom brite
- vyššie rezné rýchlosti
- stredné prierezy triesok
- vhodný pre obrábanie materiálov skupiny M, K, N, H, podmienčne P a S
- stabilné záberové podmienky

PRAMET ■ Hlavní oblast použití / Hlavná oblasť použitia ■ Další použití / Další použítie □ Podmíněné použití

Dormer Pramet - povlakované materiály pro soustružení⁶⁴.

● MATERIÁLY SOUSTRUŽNICKÝCH VYMĚNITELNÝCH BŘITOVÝCH DESTIČEK

ISO	Povlakované sliuté karbidy		Cer-mety	Povlakované cer-mety	Sliuté karbidy	Povlakova-ný KNB	PKNB
	CVD	PVD					
H Kalené oceli	H01					BC8020 MBC010	MB810
	H10					BC8020 MBC020	MB825
	H20					MB8025	MB825
	H30						MB835

Mitsubishi – materiály soustružnických VBD⁷⁸.

PŘÍKLADY VOLBY MATERIÁLŮ PRO ŘEZNÉ NÁSTROJE Z KATALOGŮ SOUSTRUŽENÍ

WCGW

F	M	R
---	---	---

ISO	r mm	Hrana	PG	Y0	Obj. č.	Kč
020102	0,2	A	3 068	200	71 154 ...	200
		E			3 068	
020104	0,4	A	3 068	402 ¹⁾	71 154 ...	402 ¹⁾
		E			3 068	

Ocelová litina	○
Siluté oceli	●
Žáruvzdorné slitiny	●
kalené 46 - 55 HRc	●
kalené 56 - 60 HRc	●
kalené 61 - 65 HRc	●

WNT – příklad z katalogu⁶⁶.

NC PROGRAM

```
%  
O01406 ( S-13455 KLOUB )  
( CAS CYKLU: .498 )  
  
( T1 FREZA 20-R390-3BR. SANDVIK+R0.8)  
( T2 WOHLHAUPTER 10H7 +0.015)  
  
T1 M06 (FREZA 20-R390-3BR. SANDVIK+R0.8)  
G55  
  
G00 G90 X-20. Y0.005 S1900 M03  
H01 D01  
G43 Z150. M08  
Z4.  
  
G17 G01 Z0 F2000.  
X40. F480.  
G00 Z3.  
Z150.  
  
T2 M06 (WOHLHAUPTER 10H7 +0.015)  
G55  
G00 G90 X0 Y0 S3800 M03  
H02 D02  
G43 Z150. M08  
Z3.  
  
G76 G99 X0 Y0 R3. Z-12.1 F380. Q0.2  
X20. Y0  
G80  
Z150.  
  
T2 M06 (WOHLHAUPTER 10H7 +0.015)  
G55  
G00 G90 X0 Y0 S3800 M03  
H02 D02  
G43 Z150. M08  
Z3.  
  
G76 G99 X0 Y0 R3. Z-12.1 F380. Q0.2  
X20. Y0  
G80  
Z150.  
Y150.  
T1  
M30  
%
```

FOTOGRAFIE Z VÝROBY

