

J. Koloc, K. Pechatý, Z. Turek

Obrábění karbidovými nástroji

I. díl

Pracovní podmínky
karbidových nástrojů

Druhé vydání

SNTL

5597
KNIŽNICE STROJÍRENSKÉ VÝROBY

Přestože máme velmi rozsáhlou původní i přeloženou literaturu o obrábění, chybělo doposud dílo o nástrojích ze slitutých karbidů, které měly tak pronikavý vliv na produktivitu strojírenské výroby, na konstrukci obráběcích nástrojů i strojů a na technologii obrábění.

Tři pracovníci Výzkumného ústavu obráběcích strojů a obrábění v Praze, inž. Koloc, inž. Pechatý a inž. Turek, napsali knihu o karbidových nástrojích, vyčerpávající toto téma na poměrně malém počtu stránek do té míry, aby se čtenář z ní co nejlépe poučil o vlastnostech, konstrukci, správném používání a údržbě uvedených nástrojů. Autoři právem předpokládají, že čtenář ovládá aspoň základní vědomosti o geometrii bříty.

Vzhledem k rozsáhlému materiálu rozdělili autoři své dílo do dvou dílů, z nichž první pojednává v tomto svazku o pracovních podmínkách karbidových nástrojů a druhý o jejich konstrukci a údržbě.

Nesporný význam karbidových nástrojů pro zvyšování produktivity obrábění bude jistě přesvědčivým důvodem, aby si tuto knihu přečetl a prostudoval každý pracovník ve strojírenství, který se zabývá konstrukcí, výrobou nebo údržbou karbidových nástrojů a obráběním vůbec.

KNIŽNICE STROJÍRENSKÉ VÝROBY

SVAZEK 7

Koloc-Pechatý-Turek

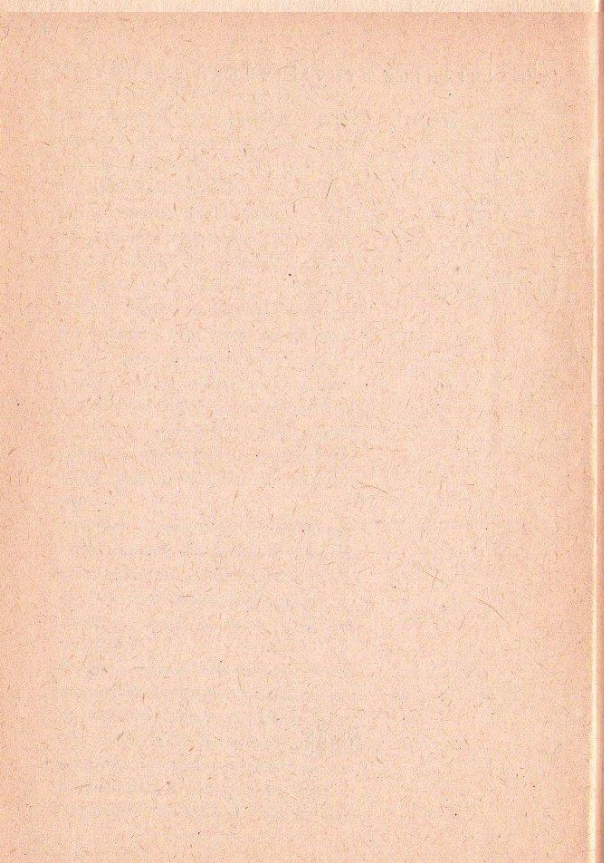
**Obrábění
karbidovými
nástroji**

1

559

7. svazek KNIŽNICE STROJÍRENSKÉ VÝROBY

SNTL



621.9.025.002.3 : 669.018.25

559

7. svazek KNIŽNICE STROJÍRENSKÉ VÝROBY

PŘESNÉ STROJÍRENSTVÍ

národní podnik

UHERSKÝ BROD

technická knihovna

Inž. Jaroslav KOLOC

Inž. Karel PECHATÝ

Inž. Zdeněk TUREK

Obrábění karbidovými nástroji

I. díl

Pracovní podmínky
karbidových nástrojů

KNIHOVNA ODBORNÉ LITERATURY
ZÁR. n. p. UH. BROD
Druhé vydání

ČÍSLO INVENT. 621.9 - 185

PRAHA 1961

KOPIE č. 3

SNTL

STÁTNÍ NAKLADATELSTVÍ
TECHNICKÉ LITERATURY

Tato práce podává přehled dosavadních vědomostí o karbidových nástrojích a o praktických zkušenostech s nimi. Pro rozsáhlost látky musela být rozdělena do dvou dílů.

První díl, obsažený v tomto svazku, popisuje vlastnosti slinutých karbidů a podrobně probírá volbu pracovních podmínek pro karbidové nástroje s přihlédnutím k trvanlivosti ostří, vlastnostem obráběného materiálu a způsobům obrábění.

V druhém díle se probírá konstrukce a údržba karbidových nástrojů.

Kniha je určena především konstruktérům náradí a přípravků, technologům, kvalifikovaným obráběčům a brusičům nástrojů a posluchačům technických škol strojírenských všech stupňů. Bude též vhodnou účelnou pomůckou pro učitele v závodních školách práce.

Lektoroval Vlastimil Fín, AZKG, Praha

Redakce strojírenské literatury — hlavní redaktor Ota Kraus

© Inž. Jaroslav Koloc, inž. Karel Pechatý, inž. Zdeněk Turek · 1961

OBSAH

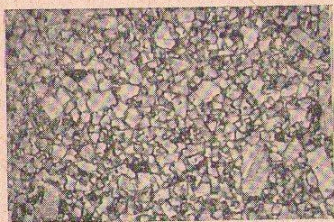
1. Vlastnosti slinutých karbidů	7
1.1. Podstata slinutých karbidů	7
1.2. Vliv pracovních podmínek na volbu druhu SK	8
1.3. Posuzování jakosti slinutých karbidů	18
1.31. Tvrdost	19
1.32. Pórovitost	20
1.33. Pevnost v ohybu	21
1.34. Zkouška obráběním. Řezivost	22
1.341. Materiál obrobku pro zkoušku řezivosti	22
1.342. Zkušební soustruh	23
1.343. Průběh zkoušky	25
1.344. Měření otupení	26
2. Volba pracovních podmínek	27
2.1. Trvanlivost ostří	27
2.11. Základní geometrie bříty	27
2.12. Jakost bříty a jeho otupení	34
2.13. Vlivy na trvanlivost ostří	46
2.14. Hospodárná trvanlivost ostří	48
2.2. Vliv obrobku na volbu pracovních podmínek	50
2.21. Obrábění ocelí	50
2.22. Utváření třísek	53
2.23. Obrábění litiny	58
2.24. Chlazení	61
2.25. Jakost povrchu	62
2.3. Vliv způsobu obrábění	68
2.31. Soustružení	68
2.32. Frézování	70
2.33. Vrtání	78

2.34. Vyvrtávání	81
2.341. Pracovní podmínky při vyvrtávání karbidovými noži	84
2.35. Vyhrubování	86
2.36. Vystružování	87
Literatura o slinutých karbidech a o nástrojích s SK . .	90

1. VLASTNOSTI SLINUTÝCH KARBIDŮ

1.1. Podstata slinutých karbidů

Slinuté karbidy na výrobu břitových destiček obráběcích řezných nástrojů se zásadně liší od všech druhů nástrojových ocelí. Nevyrábějí se totiž tavením, nýbrž slinováním, při čemž se nedosáhne teploty tání některých složek. Nejsou to tedy slitiny, nýbrž pevně spojená směs



Obr. 1. Mikrostruktura slinutého karbidu druh G1 (zvětšení 1700násobné)

prášků tvrdých materiálů a pojiva (obr. 1). Jedna z hlavních řezných vlastností těchto materiálů, tj. velká tvrdost, která jen pomalu klesá i za značně vysokých teplot, je již vlastností výchozích prášků. Poněvadž mechanické vlastnosti destiček, hlavně tvrdost a pevnost, jsou směrem k vyšším hodnotám omezeny vlastnostmi výchozích materiálů, budou tyto vlastnosti do značné míry určeny dokonalostí spojení vzniklého při slinování.

Na pevnost slinutých hmot působí při slinování zejména: mechanický tmelící účinek pojiva, vyplňování průlinek a klínění růstem krystalů, nebo reakce v tuhém stavu. Řízeného průběhu všech těchto dějů při slinování se dosahuje obtížně. Závisí proto vlastnosti slinutých materiálů nejen na výchozích materiálech, ale také značně na průběhu zpracování. Čím dokonalejší je výrobní postup, tím více se vlastnosti blíží výchozím materiálům, na nichž rovněž závisí jakost konečného výrobku.

Vlastnosti slinutých karbidů nelze tedy po jednom slinutí výrazně změnit dodatečným zpracováním. Ohřevy, a to zejména prudké a na vyšší teplotu, působí na slinuté karbidy nepříznivě.

Základními materiály slinutých karbidů na řezné nástroje jsou:

wolframkarbid	WC	} nositelé řezných vlastností
titankarbid	TiC	
tantalkarbid	TaC	
kobalt	Co	pojivo

Používá se i jiných látek, avšak uvedené materiály tvoří nejčastější suroviny pro výrobu slinutých karbidů. Poměrný obsah jednotlivých složek se mění podle požadovaných vlastností druhů určených k různým účelům použití.

1.2. Vliv pracovních podmínek na volbu druhu SK

Požadavky kladené na vlastnosti slinutých karbidů pro řezné nástroje se řídí namáháním, vznikajícím na břitu nástroje při ubírání třísky.

Toto namáhání je v podstatě trojího druhu:

- mechanické,
- abrazivní (otěrem),
- tepelné.

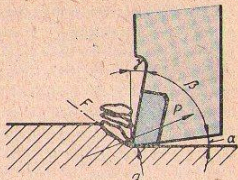
Rozbor tvoření třísky ukáže nejlépe povahu těchto namáhání. Tvoření třísky probíhá jinak při obrábění křehkých materiálů, např. šedé litiny, jinak při obrábění houževnatých materiálů, např. oceli.

Na obr. 2 je schéma jednoduchého záběru jednobřitového nástroje s litinovým obrobkem. Nástroj svým břitkem s úhlem břitu β vniká do obrobku a rozrušuje jej. Materiál obrobku se odděluje ve tvaru nesouvisících nebo jen málo souvisících částic třísky. Tříska, která se označuje jako drobná, tvoří se periodickým odlamováním v ploše F před čelem nástroje. Částice třísky kladou proti odlomení tzv. řezný odpor, jemuž musí nástroj vzdorovat svou pevností.

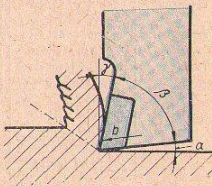
Hřbet nástroje se tře (v místě a) o dopružující obroběnou plochu obrobku, dále vlastní ostří se tře o materiál, odletující třísky se zase třou o čelo, avšak jen na ploše, která málo přesahuje průřez ubírané třísky. Aby břit nástroje neměnil svůj základní tvar, musí materiál nástroje mít velkou odolnost proti otěru (abrazivnímu účinku), tedy zejména velkou tvrdost.

Třením a částečně i deformací materiálu vzniká značné množství tepla. Toto teplo odchází z místa zdroje tepla, které je v okolí ostří, do míst s nižší teplotou. Je odváděno třískou, přechází do obrobku a dále též do nástroje, který se proto značně zahřívá. Další druh namáhání je tedy namáhání tepelné, při kterém nástroj musí zachovávat své vlastnosti (hlavně pevnost a tvrdost) i za vysokých teplot.

Protože výška dosažené teploty závisí také na intenzitě odvodu tepla, je z tohoto hlediska též důležitá tepelná vodivost nástrojového materiálu.



Obr. 2. Schéma záběru břitů s křehkým materiálem (litinou)



Obr. 3. Schéma záběru břitů s houževnatým materiálem

Na obr. 3 je schéma podobného případu jako na obr. 2, ale obrobek je zde ocelový. Tvoří se tříska, zejména při větší řezné rychlosti, z částic často velmi pevně spolu souvisících; tato tříska se nazývá plynulou. Namáhání nástroje je stejné jako v prvním případě, avšak s tím rozdílem, že se odcházející tříska stýká s čelem nástroje (v místě *b*) v mnohem větší ploše, než je průřez třísky. Zde vzniká intenzivní tření, a to za zvláštních podmínek: za vysokého tlaku (až i několik desítek tisíc atmosfér), vysoké teploty (> 600 i přes 1000°C) a mezi tělesy dokonale kovově čistými (tříska se právě oddělila od souvislého materiálu, který se ještě neokysličil). Vzniká zde nový druh namáhání vymíláním (erozí) čela nástroje, kterému nástroj nejlépe vzdoruje svou odolností proti chemickým reakcím s ocelí a jejími složkami. Na tab. I jsou přehledně znázorněny druhy namáhání a jsou tam uvedeny i dvě základní řady slinutých karbidů, odlišené podle druhů namáhání.

Druhy namáhání, požadované vlastnosti SK

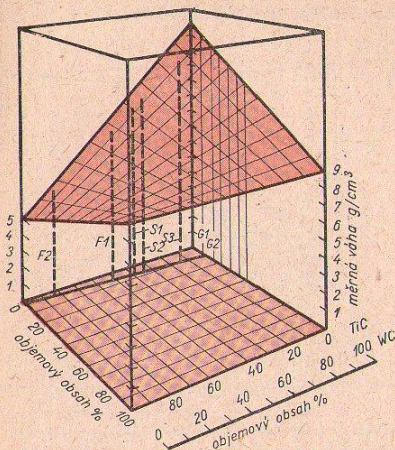
Tabulka I

Druh namáhání	Požadované vlastnosti nástroje	Vzniká na obrobku	Spĺňuje SK zákl. složení
Mechanické	pevnost, houževnatost	$\left. \begin{array}{c} \text{lít-} \\ \text{novém} \end{array} \right\} \text{ ocelo-} \\ \text{vém}$	$\left. \begin{array}{c} \text{řada G} \\ \text{WC} + \text{Co} \end{array} \right\} \text{ řada S} \\ \text{WC} + \\ + \text{Tic} \\ (\text{TaC}) + \\ + \text{Co}$
Abrazivní	odolnost vůči otěru, tvrdost		
Tepelné	stálost vlastností za vysokých teplot		
Chemické	odolnost vůči chem. reakcím s obrobkem; odolnost vůči vymílání	—	

Tabulka I ukazuje dvě základní řady druhů slinutého karbidu:

1. složení WC (wolframkarbid) + Co (kobalt), tzv. řada G, které se používá k obrábění materiálů s drobovou třískou (tedy křehkých), zejména litiny;

2. složení WC (wolframkarbid) + TiC (titankarbid) ev. TaC (tantalkarbid) + Co (kobalt), tzv. řada S, vhodná k obrábění materiálů s plynulou třískou (tedy houževnatých), zejména oceli.



Obr. 4. Fyzikálně mechanické vlastnosti SK

Základní požadované vlastnosti se mění podle různých podílů jednotlivých složek příslušného druhu SK.

Na obr. 4 jsou uvedeny závislosti některých vlastností slinutých karbidů WC + Co na obsahu pojiva Co (podle Kieffera). Se stoupajícím obsahem vzrůstá pevnost materiálu, avšak zároveň ubývá tvrdosti. Kombinace těchto dvou vlastností je pro řezné slinuté karbidy velmi

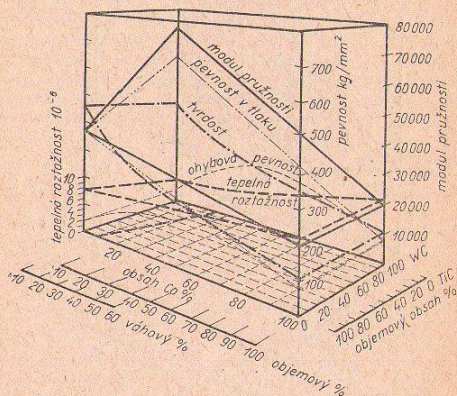
PŘESNÉ STROJÍRENSTVÍ

výrobní podnik

UNERSKÝ BROD

technická knihovna

důležitá. U složení WC + Co závisí značně na procentním podílu Co. Pod určité procento má SK sice velkou tvrdost, ale pevnost je nedosta-
tečná, při vzrůstajícím podílu Co pevnost zase vzrůstá, ale ubývá tvrdosti,
takže nad určitý obsah není již SK vhodný pro řezné nástroje. S ubývajícím
tvrdostí se zvětšuje též ořetnost.



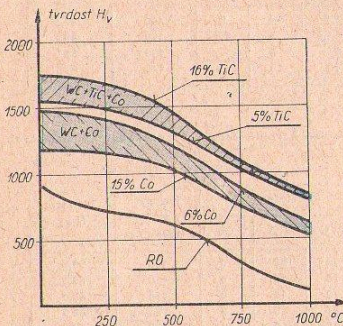
Obr. 5. Fyzikálně mechanické vlastnosti SK

Na řezné nástroje na křehké materiály se tedy používá SK s obsahem Co v určitém rozsahu (zhruba 3—10 %). V tomto rozmezí pak obsah Co stanoví různé druhy podle způsobu použití.

Na obr. 5 je schematicky vyznačena závislost některých vlastností SK řady WC + TiC + Co (podle C. Ballhausena). Významný je opět vliv složení, zejména na tvrdost a pevnost. K obrábění je nejvhodnější určitá

kombinace proměnných vlastností, čímž jsou dány meze složení řezných slinutých karbidů. Uvnitř použitelné oblasti se pak změnou složení dosahuje různých vlastností podle určení druhu.

Na obr. 6 (póde Ammanna a Hinnübera) je v diagramu vyznačena závislost tvrdosti SK na teplotě. Pro srovnání je vyznačen i průběh



Obr. 6. Závislost tvrdosti slinutých karbidů a rychlořezné oceli na teplotě

tvrdosti RO. Z diagramu je vidět, že odolnost proti vlivům teploty i stupeň výchozí tvrdosti vzrůstají s přísadou TiC a klesají s obsahem Co.

Dnešní stav výroby slinutých karbidů na řezné nástroje využívá možnosti odlišení vlastností volbou různého složení, a to v obou základních řadách.

V ČSSR se vyrábějí druhy slinutých karbidů podle tab. II a III. Uvažuje se o novém složení s přísadou TaC u některých dalších druhů.

Tedy složení SK, zejména obsah Co u řady G a obsah TiC a Co u řady S, významně působí na vlastnosti jednotlivých druhů, zejména však na pevnost a tvrdost.

Tabulka II

Složení slinutých karbidů řady G na obrábění křehkých materiálů (litiny)
Řada G (WC + Co)

Druh	Složení			Pevnost v ohybu [kg/mm ²]	Tvrdost H _{RA}	Měrná váha [g/cm ³]
	WC	Co	TaC			
H2	94	4	2	100	89,5	14,6
H1	94,5	5	0,5	110	89	14,5
G1	94	6	—	120	88	14,6
G2	90	10	—	140	87	14,3

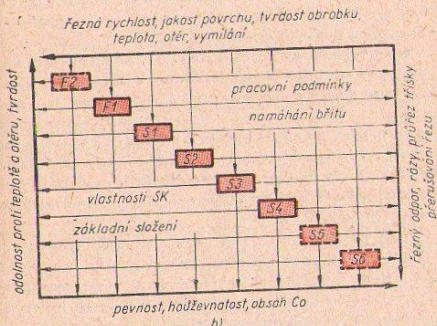
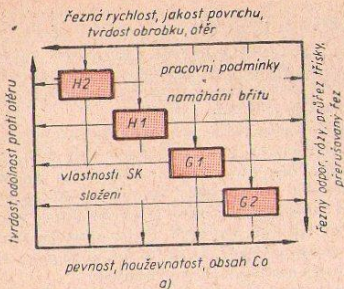
Tabulka III

Složení slinutých karbidů řady S na obrábění houževnatých materiálů (oceli)
Řada S (WC + TiC + Co)

Druh	Složení			Pevnost v ohybu [kg/mm ²]	Tvrdost H _{RA}	Měrná váha [g/cm ³]
	WC	TiC	Co			
F1	74	20	6	100	90,0	10,5
S1	78	16	6	110	89,5	10,8
S2	78	14	8	115	89,0	10,8
S3	84	8	8	120	88,5	12,5
S4	85	5	10	135	88,0	12,7

Podle velmi zjednodušeného rozboru dějů při tvoření třísky můžeme se pokusit o schéma namáhání bříty a zároveň požadavků na řezný slinutý karbid potřebných vlastností (obr. 7), tedy o základní směrnice volby druhu SK z technologického hlediska, pokud jde o jeho vlastnosti.

Diagram přehledně znázorňuje systém obou řad: tak druhy WC + Co (obr. 7a) jsou seřazeny na úhlopříčně odleva doprava a shora dolů v pořadí H2, H1, G1, G2, tj. s postupně menším obsahem WC (TaC) a větším obsahem Co. Značí to tedy, že v uvedeném pořadí u jednotlivých druhů klesá tvrdost a ořezovzdornost, ale vzrůstá pevnost a houževnatost. Levá dolní část diagramu tedy umožňuje názorný přehled o složení a vlastnostech SK řady G.



Obr. 7. Schéma namáhání břitu, vlastností SK a směrnice pro volbu druhu SK:

a — pro řadu G; b — pro řadu S

V témž pořadí SK se mění volba s ohledem na pracovní podmínky: od H2 směrem ke G2 se zmenšuje použitelná řezná rychlost, možná tvrdost obrobku a i otěrovzdržnost. Zároveň však vzrůstá přípustná velikost průřezu ubírané třísky a odolnost při přerušovaném řezu, a tím i rázech. Pravá horní část diagramu tedy podává přehled o vlivu pracovních podmínek na volbu druhu SK.

Sestavení diagramu druhů řady WC + TiC + Co (obr. 7b) je zcela obdobné: na úhlopříčně jsou seřazeny druhy v pořadí F2, F1, S1, S2, S3, S4, S5, S6. Druhy v čárkovaných rámečcích jsou vývojové a logicky doplňují dosavadní řadu. Levá dolní část podává přehled o složení a vlastnostech jednotlivých druhů a horní pravá část ukazuje vliv pracovních podmínek na volbu SK. Druhy F1, F2 lze považovat za dokončovací (na jemné třísky), druhy S3, S4, S5, S6 pak za houževnaté, pro velké průřezy třísek a nepříznivé pracovní podmínky.

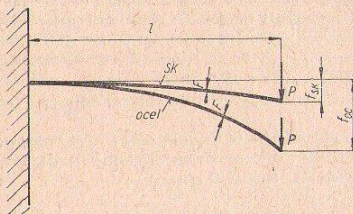
Vliv složení na vlastnosti SK i vliv pracovních podmínek na požadované vlastnosti je pronikavý a musíme je znát, abychom porozuměli systému vyráběných resp. vyvíjených druhů, což je podmínkou pro správnou volbu vhodných druhů.

V tomto přehledu bylo uvedeno celkem 12 druhů slinutých karbidů, určených k výrobě břitových destiček řezných nástrojů. Pro úplnost je třeba přehled doplnit o tzv. univerzální druhy SK, které se v zahraničí již dodávají a i v ČSSR jsou ve vývoji. Jsou to slinuté karbidy kompromisního složení, kterých lze použít na obrábění oceli i litiny, ovšem nepodávají takový výkon jako druhy speciální. Většinou se vyrábějí dva druhy: jeden tvrdší, druhý houževnatější. Houževnatější univerzální druhy se zejména doporučují k obrábění temperované litiny, tvárné litiny a těžko obrobitelných ocelí.

Přehled uvádí všechny u nás nebo v zahraničí vyráběné druhy v porovnatelných skupinách. Celkový počet druhů je nesporně příliš velký a je jisté, že u jednotlivých výrobců se postupně omezí na menší rozsah. Volba jednotlivých druhů mimoto závisí i na individuálních podmínkách, daných povahou práce i zařízením v závodech. Dobrá znalost celého systému druhů SK však napomáhá jejich správné volbě.

Všechny druhy slinutých karbidů mají jednu další společnou vlastnost, rozdílnou od obvyklých konstrukčních materiálů i od nástrojových,

resp. rychlořezných ocelí. Je to velký modul pružnosti, který se podle druhu pohybuje v rozmezí $E = 40\,000$ až $60\,000 \text{ kg/mm}^2$. To znamená, že slinutý karbid je v porovnání s železnými materiály velmi tuhý. Tato vlastnost je znázorněna na obr. 8, kde jsou dva vetknuté nosníky stejného



Obr. 8. Srovnání průhybu vetknutých nosníků z SK a z oceli

průřezu a stejné délky, zatížené na volném konci stejně velkou silou. Jejich průhyb však je rozdílný, a to: karbidový nosník se prohne podstatně méně, tj. v poměru

$$\frac{E_{OC}}{E_{SK}} = \frac{f_{SK}}{f_{OC}}.$$

Velký modul pružnosti se výrazně projevuje působením na rozložení napětí při zatížení nástrojů s břitovými destičkami na ocelovém držáku. Ocel je vlastně pružící podložkou velmi tuhého slinutého karbidu, takže při konstrukci nástroje se musí dbát o takový přenos sil na držák nástroje, aby nebyla ohrožena pevnost břitové destičky.

Z hlediska obrábění je ještě důležitá tepelná vodivost nástrojového materiálu. Obecně lze říci, že karbidy řady G mají lepší tepelnou vodivost než ocelové nástrojové materiály, karbidy řady S pak vodivost horší.

1.3. Posuzování jakosti slinutých karbidů

Neznáme zatím jednoznačného ukazatele jakosti slinutých karbidů, který by byl snadno měřitelný a jediným údajem by stanovil jakost zkoušeného výrobku.

Vzhledem k značným a složitým nárokům obrábění na vlastnosti nástrojového materiálu lze dokonce tvrdit, že konečným kritériem je jediné technologická zkouška obráběním; ta však vyžaduje mnoho času za velké spotřeby materiálu a je částečně zkouškou destruktivní, tj. znehodnotí částečně nebo i úplně zkoušený vzorek, a platnost výsledku není univerzální pro neobyčejnou rozmanitost použitelných řezných podmínek.

Přesto však jak břitové destičky, tak i hotové karbidové nástroje může spotřebitel posuzovat z různých hledisek, a tak nabýt znalost jakosti přejímaných destiček či nástrojů.

Vnější vzhled

Trhlinky se mohou již vyskytovat na dosud nepoužitých slinutých břitových destičkách, kde jsou způsobeny zejména nevhodným způsobem lisování. Nejčastěji však vznikají trhlinky ve slinutém karbidu při výrobě nástrojů, a to při pájení na ocelové držáky a při broušení nebo při pozdějším ostření nástrojů. Tyto trhlinky zmenšují odolnost břitu zejména tehdy, jsou-li v jeho blízkosti a používá-li se nástroje za těžších pracovních podmínek. Za všech okolností zhoršují jakost nástroje.

Na trhlinky se musí kontrolovat jak břitové destičky, tak zejména hotové nástroje po pájení a broušení, a to zrakem při vhodném zvětšení (20 až 30násobném). Za těchto okolností však spolehlivost rozpoznání trhlinek značně závisí na stavu povrchu a bezpečná kontrola je možná jen na jemně obroušeném nebo lapovaném povrchu. Mnohem objektivnější zkoušky na trhlinky a zejména nezávislosti na stavu povrchu se dosáhne pomocí indikační kapaliny,^{*)} po jejímž použití se trhlinky stanou jasně zřetelnými a pro dokumentaci je lze i fotografovat. Zkoušený povrch se

^{*)} Dodává Druchema, Václavské nám. č. 14, Praha 1.

očistí kartáčem od hrubých nečistot a odstraní se konzervační látky. Dokonalé odmaštění není nutné. Na zkoušený povrch se nanese štětečkem nebo namočením tekutina s organickým barvivem a nechá se působit 5—10 minut. Potom se nástroj otře hadrem, nebo omyje vodou a osuší. Po odstranění kapaliny s barvivem se povrch postříká rozprašovačem tenkou vrstvou suspenze uhlíčitanu vápenatého. Za 2 až 3 minuty zřetelně vystoupí na bílém povrchu barevné stopy trhlín.

Rozměry, tvar a rovinnost jsou předepsány v ČSN 22 0802, podle které se tolerance kontrolují.

1.31. Tvrdost

Protože velká tvrdost je jednou ze základních vlastností nástrojových materiálů, zejména slinutých karbidů, je její zjištění důležitou kontrolní metodou.

Tabulka IV

Převod tvrdosti H_{RA} na jiné stupně tvrdosti

H_{RA} 60 kg	H_{RC} 150 kg	H_V 50 kg
80	63	790
83	65	920
85	69	1040
87	74	1180
88	76	1260
89	78	1360
90	80	1480
91	—	1600
92	—	1720
93	—	1850

Vzhledem k velmi velké tvrdosti slinutých karbidů se pro nebezpečí poškození diamantového hrotu používá při zkouškách menšího zatížení 60 kg. Při měření Rockwellovy tvrdosti diamantovým hrotem s vrcholovým úhlem 120° se odčítá na stupnici C a tvrdost se označuje H_{RA} . Tento způsob je nejčastější.

Pro převod tvrdosti H_{RA} na jiné běžné stupně tvrdosti je možno použít tabulky podle Dawihla.

Při měření musí být spodní dosedací plocha destičky rovinná a rovnoběžná s měřenou plochou.

1.32. Pórovitost

U slinutých karbidů se rozlišuje mikropórovitost, u které průměr pórů nepřesahuje 0,01 mm, a hrubá pórovitost, kde jsou průměry pórů větší.

Nejčastěji se pórovitost posuzuje podle počtu hrubých pórů na 1 mm².

Póry se počítají na výbrusech destiček pod mikroskopem při 100násobném zvětšení.

Toto posuzování pórovitosti je však pracné a obtížné.

Proto je výhodné stanovit tzv. relativní hustotu ϑ zkoušených britových destiček. Je to poměr objemové váhy destiček k jejich teoretické měrné váze, vyjádřený v procentech:

$$\vartheta = \frac{\gamma_1}{\gamma_t} \cdot 100 [\%],$$

kde γ_1 je objemová váha zkoušené destičky,

γ_t — teoretická měrná váha příslušného druhu slinutého karbidu.

Objemová váha se zjišťuje nejsnáze dvojím vážením téže zkoušební destičky na vzduchu a v kapalině. Váží se na lékařenských vahách, upravených k upevnění vzorku tenkým měděným drátkem a na vsunutí nádoby s kapalinou.

Objemová váha se vypočte podle vzorce

$$\gamma_1 = \frac{G_1}{G_1 - G_2} \cdot \gamma_2 \text{ [g/cm}^3\text{]},$$

kde G_1 je váha destičky na vzduchu,

G_2 — váha destičky v kapalině,

γ_2 — hustota kapaliny; pro vodu $\gamma_2 = 1$

Teoretická měrná váha se zjistí ze vzorce

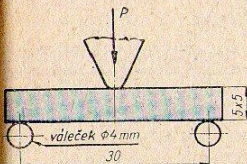
$$\gamma_i = \frac{100}{\frac{A}{\gamma_{WC}} + \frac{B}{\gamma_{TiC}} + \frac{C}{\gamma_{TaC}} + \frac{D}{\gamma_{Co}}} \quad [\text{g/cm}^3],$$

kde $A = \% \text{ WC}$; $\gamma_{WC} = 15,6 \text{ g/cm}^3$;
 $B = \% \text{ TiC}$; $\gamma_{TiC} = 4,92 \text{ g/cm}^3$;
 $C = \% \text{ TaC}$; $\gamma_{TaC} = 14,05 \text{ g/cm}^3$;
 $D = \% \text{ Co}$; $\gamma_{Co} = 8,8 \text{ g/cm}^3$.

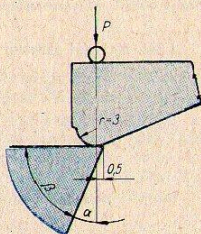
Objemová váha může rovněž sloužit k rozlišení jednotlivých druhů karbidů. Je-li třeba rozlišovat neoznačené břitové destičky řady S a řady G, stačí je jednoduše vložit do nádoby se rtuť. Destičky řady G ($\gamma > 13,6$) se ponoří, destičky řady S budou na rtuťi plovat ($\gamma < 13,6$).

1.33. Pevnost v ohybu

Tato hodnota, která je v jistém vztahu s odolností slinutých karbidů vůči rázovému namáhání, zjišťuje se u výrobce na zkušebních vzorcích rozměru $5 \times 5 \times 35 \text{ mm}$, opřených na dvou podpěrách (obr. 9). Tento způsob je pro spotřebitele nepoužitelný.



Obr. 9. Schéma zkoušky ohybové pevnosti materiálu



Obr. 10. Schéma zkoušky pevnosti bříty ze SK

Určitý názor na vzájemné porovnání hotových nástrojů lze získat stanovením pevnosti břitu. Při této zkoušce se zatěžuje břit s úhlem čela $\gamma = 0^\circ$ a úhlem břitu $\beta = 70^\circ$ válcovým lisovníkem ve vzdálenosti 0,5 mm od přímkového ostří (obr. 10). Protože při tomto zatěžování vzniká v břitu nejen napětí ohybové, ale složitější, nelze hodnotu zjištěnou při této zkoušce považovat za ohybovou pevnost, nýbrž pouze za hodnotu srovnávací.

1.34. Zkouška obráběním. Řezivost

Řezivost zkoušených slinutých karbidů lze posoudit zkouškou soustružením.

Od takové zkoušky řezivosti se požaduje zjištění řezného výkonu v nejkratším možném čase, s jednoduchým běžným zařízením a minimálními náklady.

Aby krátkodobé zkoušky řezivosti byly spolehlivé, je nutno stanovit a přesně udržovat veškeré vlivy, které působí na průběh otupení nástroje.

Při zkoušce se podélně soustruží válec ze zkušebního materiálu, který se upne mezi hroty nebo do univerzálního sklíčidla a hrotu soustruhu. Vzhledem ke zkušebnímu řezným rychlostem se musí použít pokud možno bohatě dimenzovaného otočného hrotu.

1.34.1. Materiál obrobku pro zkoušku řezivosti

a) Zkoušky obráběním oceli

Materiál zkušebního obrobku:

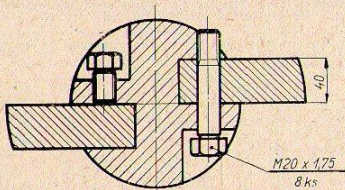
Ušlechtilá uhlíková konstrukční ocel podle ČSN 1512-1948, označená 12060.1 (v normalizačně žíhaném stavu). Mikrostruktura zkušebního kusu má být v průřezu rovnoměrná, a to ferit + perlit. Střední průměr feritového zrna kolem 12 μ . Vrubová houževnatost kolem 4 kgm/cm².

Rozměry zkušebního obrobku:

$$D = 100 \div 200 \text{ mm}$$

Poměr délky kusu L k jeho průměru D : $\frac{L}{D} \leq 8$.

Před zkouškou se zkušební obrobek zbaví kůry osoustružením do hloubky aspoň 5 mm (tj. 10 mm na průměru) posuvem $s \leq 0,5$ mm/ot. Tvrdost, která má být H_B 208, smí uvnitř jednoho kusu kolísat nejvýš o 10 stupňů Brinella.



Obr. 11. Přípravek pro zkoušky přerušovaného řezu

Ke zkouškám přerušovaného řezu se používá přípravku s vyměnitelnými obráběnými vložkami, širokými 40 mm, podle obr. 11. Doba zkoušky závisí na soustruženém průměru, tedy i na otáčkách, a volíme ji tak, aby se dosáhlo žádaného počtu rázů.

b) Zkoušky obráběním litiny

Materiál zkušebního obrobku:

Šedá litina, tvrdost $H_B = 180$.

Rozměry zkušebního kusu:

$$D \geq 100 \text{ mm}, \frac{L}{D} \leq 8.$$

Použitý materiál: rovnoměrný, bez tvrdých míst, dutin apod. Před zkouškou se zkušební kus zbaví kůry osoustružením do hloubky nejméně 5 mm.

1.342. Zkušební soustruh

Zkušební soustruh má mít oběžný průměr nad ložem nejméně 300 mm a příkon alespoň 17 kW. Mají-li být na soustruhu zkoušky řezivosti konány soustavně, musí mít plynulou regulaci počtu otáček vře-

tena, poněvadž jen tak lze dodržet řeznou rychlost s požadovanou přesností pro každý průměr obrobku a bez přepočtů.

Zkušební nástroj:

Zkoušená břitová destička se upevní na držák mechanicky nebo pájením.

Geometrie zkušebních nožů je uvedena na tab. V a řezné podmínky zkoušky na tab. VI.

Geometrie zkušebních nožů (viz obr. 14)

Tabulka V

Druh SK	Tvar destiček podle ČSN 220810 -14	Průřez držáků $a \times b$	Geometrie břitu								Drsnost čela a hřbetu max. R_a [μ]	Tvar nože
			α°	γ°	předčelí		α°	ε°	λ°	r [mm]		
					γ°	f mm						
S1	20	25 × 25	60	10	—	—	5	90	4	0,8	0,4	přímý uběrák
S2	25	32 × 32	60	10	-30	0,15	5	90	4	1,5	0,4	
S3	25	32 × 32	60	10	-30	0,25	5	90	4	2,0	0,4	
G1	20	25 × 25	60	2			5	90	4	1,0	0,4	
H1	20	25 × 25	60	2			5	90	4	1,0	0,4	

Řezné podmínky

Tabulka VI

Druh SK	Záběr	Hloubka řezu [mm]	Posuv [mm/ot]	Řezná rychlost [m/min]	Doba zkoušky [min]
S1	nepřerušovaný	3,0	0,3	160	10
S2	nepřerušovaný	3,0	0,6	105	10
	přerušovaný	4,0	0,6	100	600 rázů
S3	nepřerušovaný	3,0	1,2	60	10
	přerušovaný	4,0	1,2	90	1000 rázů
G1	nepřerušovaný	3,0	0,5	80	5
H1	nepřerušovaný	3,0	0,5	90	5

Liší-li se pevnost obráběného materiálu od etalonu (porovnávacího vzorku), která má být 70 kg/mm^2 ($H_B = 208$), je nutno pozměnit rychlost, a to podle tab. VII.

Tabulka VII

Oprava řezné rychlosti při obrábění oceli

Zkušební rychlost [m/min]	Pevnost obráběného materiálu 12 060 . 1 [kg/mm ²]						
	67	68	69	70	71	72	73
S1	170	167	163	160	157	153	150
S2	121	110	107	105	103	101	98
S3	64	62,5	61,5	60	58,5	57,5	56

U přerušovaného řezu se rychlost nemění.

Při obrábění litiny, kde základní tvrdost má být $H_B = 180$, mění se při odlišné tvrdosti zkoušeného materiálu rychlost podle tabulky VIII.

Tabulka VIII

Oprava řezné rychlosti při obrábění litiny

Zkušební rychlost [m/min]	Tvrdost šedé litiny H_B						
	165	170	175	180	185	190	195
G1	93	88	84	80	77	74	70
H1	105	100	95	90	87	83	79

1.343. Průběh zkoušky

Podmínky zkoušky se považují za splněné, dosáhne-li zkoušená břitová destička za stanovenou dobu průměrného otupení hřbetu v šíři

$$b_h \leq 0,3 \text{ mm.}$$

Leží-li toto průměrné otupení v rozmezí

$$0,45 > b_h > 0,3 \text{ mm,}$$

je třeba zkoušku opakovat. Při opakované zkoušce má být výsledek pro splnění podmínek takový, aby aritmetický průměr obou otupení (z první i opakované zkoušky) vyhověl podmínkám

$$b_n = \frac{b_{n1} + b_{n2}}{2} \leq 0,4 \text{ mm.}$$

Je-li průměr větší, destička nevyhověla.

Je-li otupení již při první zkoušce

$$b_n \geq 0,45 \text{ mm,}$$

destička nevyhovuje.

U přerušovaného záběru se posuzuje stav břitu podle výskytu a počtu jemných trhlinek na činné části čela, a to při pozorování ve 12násobném zvětšení.

Po 600 rázech smí destička S2 vykazovat max. dvě trhlinky, po 1000 rázech smí destička S3 vykazovat jednu trhlínu.

1.344. Měření otupení

Nůž nebo břitová destička se umístí pod objektiv dílenského mikroskopu tak, aby opotřebená část hlavního hřbetu byla kolmá k ose objektivu. Ostří se ustaví tak, aby jeho neporušená část (která neubírala třísku) splynula s vodorovnou ryskou nitkového kříže mikroskopu. Otupení se pak měří na hlavním ostří v odstupech 0,1 mm, a to počínaje od vnitřního okraje otupení, tj. místa, v němž začíná ploška otupení nejdále od špičky nástroje, až k počátku zaoblání špičky. Šířky plošky otupení se odčítají v setinách milimetru.

Otupení břitu se pak zjistí výpočtem aritmetického průměru všech jednotlivých šířek, naměřených na přímkové části břitu.

Podrobné údaje o posuzování slinutých karbidů z uvedených a dalších hledisek najde čtenář v knize M. Petrdlíka a kolektivu: Vlastnosti a zkoušení slinutých karbidů, SNTL, Praha 1959.

2. VOLBA PRACOVNÍCH PODMÍNEK

2.1. Trvanlivost ostří

2.1.1. Základní geometrie břitu

Tvar činné části nástroje — břitu — se volí tak, aby se dosáhlo jednak uspokojivého průběhu oddělování přídavku na obrábění ve formě třísek, jednak hospodárné trvanlivosti nástroje. Je tedy tvar břitu závislý na vlastnostech nástrojového materiálu, na obrobitelnosti obráběného materiálu, na řezných podmínkách, na požadované jakosti obrobené plochy, na vlastnostech obráběcího stroje atd.

Funkční plochy, tj. čelo, hřbet, resp. vedlejší hřbet, tvořící břit jsou u některých nástrojů rovinné, u některých zaoblené. Průsečnice čela a hřbetu je ostřím. Na obr. 12 jsou vyznačeny jednotlivé činné plochy a ostří na soustružnickém noži a na šroubovitém vrtáku. Geometricky je tvar břitu určen úhly, které svírají tyto plochy, resp. ostří se zvolenými pomocnými rovinami.

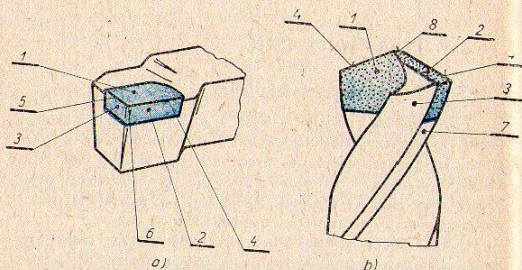
Při určování úhlů se rozlišují skutečné úhly na břitu, které je nutno znát při výrobě a ostření nástroje, a tzv. technologické úhly, které ještě závisí na poloze nástroje k obrobku. Tyto úhly jsou významné pro vlastní úběr třísky při obrábění.

Na nejjednodušším nástroji — na soustružnickém noži — se jeví nejlépe označení základních úhlů určujících geometrii břitu.

Pomocná rovina, kolmá na směr řezání (směr řezné rychlosti), která je u soustružnického nože obvykle rovnoběžná s ložnou plochou, je tzv. základní rovinou. Odklon roviny čela od této základní roviny je dán úhlem čela γ . Odklon hřbetu od obráběné plochy resp. od tečné roviny k obráběné ploše je úhlem hřbetu α . Čelo a hřbet, které tvoří břit, svírají úhel břitu β . Na obr. 13 je řez břitem, kolmý k základní

rovině a k průmětu ostří do základní roviny, v němž jsou znázorněny jednotlivé úhly, plochy břitu a pomocné roviny.

Při obrábění je úhel hřbetu α většinou v rozmezí 4 až 10°. Úhel čela γ , na jehož velikosti značně závisí příznivý průběh tvoření třísky,



Obr. 12. Označení činných ploch na soustružnickém noži
a na šroubovitém vrtáku

a — soustružnický nůž;

1 — čelo,

2 — hřbet,

3 — vedlejší hřbet,

4 — hlavní ostří,

5 — vedlejší ostří,

6 — špička nože

b — šroubovitý vrták;

1 — čelo,

2 — hřbet,

3 — vedlejší hřbet,

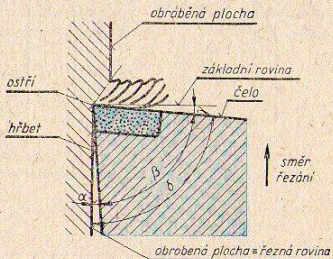
4 — hlavní ostří,

7 — válcová fasetka,

8 — špička s příčným břitem

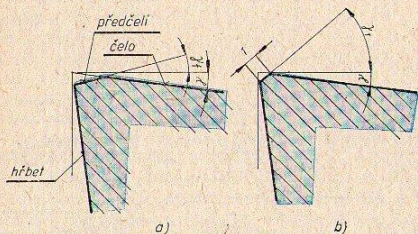
a tím i velikost řezných odporů a množství vyvinutého tepla na břitu volí se v rozsahu $\gamma = +35$ až -15° , většinou však $\gamma = +10$ až -6° . Pro snazší odchod třísky by bylo výhodné volit velké úhly čela. Avšak při větším kladném úhlu čela může se zmenšit pevnost břitu, tak, že by se břitová destička mohla zlomit. Záporným úhlem čela se břit zpevňuje. Úhel čela se volí tedy především podle obrábitelnosti obráběného

materiálu a podle obtížnosti řezných podmínek. Pro snadno obrobitelné materiály jsou vhodné velké kladné úhly čela, pro materiály velké pevnosti a pro obtížné řezné podmínky, např. přerušovaný řez, používá se záporného úhlu čela. V některých případech se používá lomeného čela s dvojím úhlem γ ; podél ostří se vybrušuje fasetka, tzv. předčelí se záporným úhlem (obr. 14a). Zvláště dobrých výsledků lze dosáhnout použitím velmi úzké fasetky s velkým záporným úhlem, kde

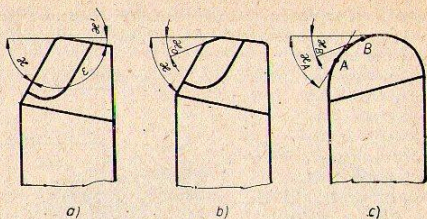


Obr. 13. Řez břitem

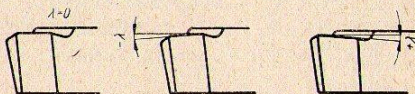
se výhodně zároveň využívá předností kladného i záporného úhlu čela, tj. tvoření třísky probíhá příznivě jako u kladného úhlu γ a břit je



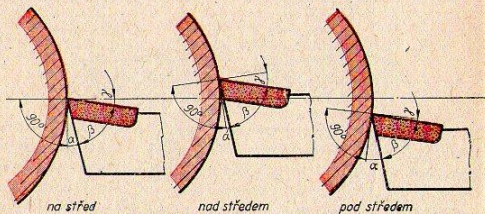
Obr. 14. Geometrie břitu s předčelím



Obr. 15. Úhly nastavení břitu



Obr. 16. Úhel sklonu ostří



Obr. 17. Technologické úhly břitu

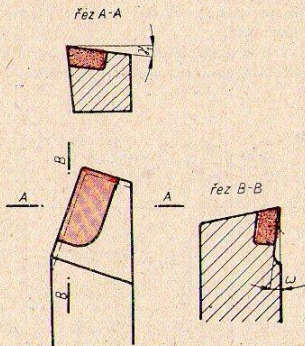
zpevněn fasetkou jako u záporných úhlů čela. Šířka fasetky musí být však rovna pouze třetině až čtvrtině tloušťky třísky a úhel $\gamma = -30$ až -45° (obr. 14b).

V průmětu nože do základní roviny se určuje úhel nastavení hlavního ostří κ , úhel nastavení vedlejšího ostří κ_1 , úhel špičky nože ε a zaoblení špičky nože s poloměrem r (obr. 15a). Přechodové ostří má úhel nastavení κ_0 (obr. 15b), na noži se zaobleným ostřím se úhel nastavení mění bod po bodu (obr. 15c). Velikost úhlu nastavení hlavního ostří je v mezích od nuly, např. u zapichovacího nože — až do 90° — stranový nůž.

Sklon ostří k základní rovině se označuje úhlem λ . Tento úhel λ se rovná nule, je-li ostří rovnoběžné se základní rovinou. Jestliže se ostří směrem ke špičce nože svažuje, čili špička nože je nejnižší, je úhel λ záporný. Je-li špička nože nejvyšší, je úhel sklonu kladný (obr. 16).

Nástroj s určitými úhly může být k obrobku nastaven různým způsobem. Úhly bříty, vztažené k obrobku, jsou úhly technologickými. Z obr. 17 je zřejmé, jak se při soustružení mění úhly hřbetu a čela s ustavením špičky nože pod střed obrobku, resp. nad jeho střed. Je-li špička nože pod středem, technologický úhel čela je menší a technologický úhel hřbetu větší.

Pro snadnější seřizování brusky při ostření nástrojů jsou někdy



Obr. 18. Úhly bříty v radiálním a axiálním řezu

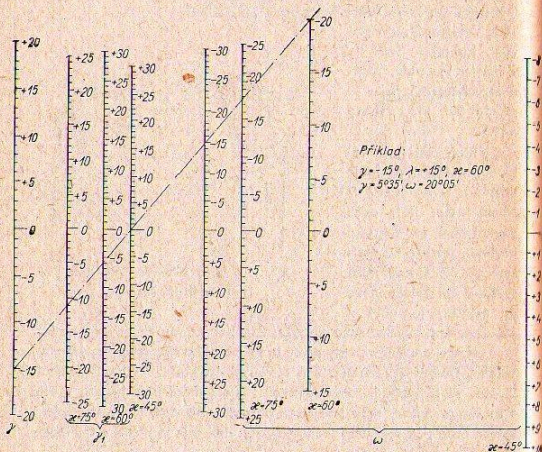
udávány ještě doplňující úhly γ_1 a ω v radiálním a axiálním řezu (obr. 18). Tyto úhly lze vypočítat ze vztahů:

$$\operatorname{tg} \gamma_1 = \operatorname{tg} \gamma \sin \kappa + \operatorname{tg} \lambda \cos \kappa,$$

$$\operatorname{tg} \omega = \operatorname{tg} \gamma \cos \kappa - \operatorname{tg} \lambda \sin \kappa.$$




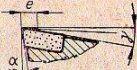

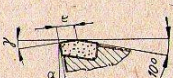



Na obr. 19 je spojnicový nomogram, na kterém můžeme odčítat doplňující úhly břitu. V tomto nomogramu spojením bodů odpovídajících daným úhlům odečteme na příslušných osách hledané hodnoty doplňujících úhlů.

Pro soustružnické nože se slinutými karbidy je na běžné případy obrábění normalizovaná geometrie břitu, uvedená v tab. IX. Jednotlivé



Obr. 19. Spojnicový nomogram pro přepočet úhlů na břitu

Druhy ostření nožů s břitovými destičkami ze slinutých karbidů a jejich označování na nožích

Označení druhu ostření na noži		Úhly		Druh ostření	Druh SK
písmenem	barvou	α	γ		
A		8°	10°		S1, S2 S3, S4, H1, G1, H2, F1
B		8°	2°		S1, S2, S3, S4, H1, G1, H2, F1
C		8°	-6°		S1, S2, S3, S4, G1, H1, H2
D		8°	25°		G1, H1, F1
		Vyznačí se na výkrese			S1, S2, S3, S4, G1, H1, H2, F1

druhy ostření, určené úhly čela hřbetu, jsou označovány na tělese nožů jednak velkými písmeny, jednak bílými pruhy na zadní stěně tělesa nože; tato stěna nože nese zároveň barevné označení podle druhu slinutého karbidu.

V normě nejsou dosud uvedeny houževnaté druhy slinutého karbidu S4 a S6. Pro ně je vhodná geometrie označená písmenem B.

Ostatní úhly na noži jsou obvykle dány volbou tvaru nože. Při obrábění je většinou úhel nastavení hlavního ostří $\alpha = 45, 60$ nebo 90° , úhel sklonu $\lambda = 0$ až -5° .

2.12. Jakost břitu a jeho otupení

Geometrií břitu se rozumí vlastní tvar břitu, který je určen úhly na nástroji a mikrogeometrií břitu neboli drsností funkčních ploch a drsností ostří. I při nejjemnějším ostření vznikají totiž mikronerovnosti broušených ploch; pronikem těchto ploch je ostří, které není ideálně přímkové, nýbrž tvoří jakousi zdeformovanou plochu s idealizovaným poloměrem zaoblení ρ . Tento tvar je dále komplikován tím, že při ostření brusná zrna vyštipují drobné částičky ostří. Drsnost vlastního ostří závisí především na těchto činitelích:

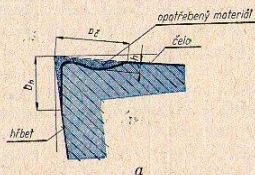
1. na drsnosti ploch, jejichž pronikem vzniká ostří;
2. na velikosti úhlu, který obě tyto plochy svírají, tj. na úhlu břitu β ;
3. na druhu a jakosti slinutého karbidu (na jeho chemickém složení, mikrostruktuře, pórovitosti atd.);
4. na způsobu ostření.

Při práci nástroje jsou funkční plochy břitu podrobovány účinkům obráběného materiálu a ubírané třísky. Tento účinek se projevuje v konečné formě otupením nástroje. Otupení nástroje má různou formu podle způsobu namáhání břitu. Základní formy otupení břitu jsou:

1. otěr hřbetu a čela nástroje třením o obrobený povrch a o třísku,
2. vylamování ostří následkem mechanického nebo rázového namáhání,
3. ztráta tvrdosti a porušení základní struktury nástrojového materiálu, způsobené vysokou teplotou.

V obrábění převládá nejčastěji otupení nástroje otěrem funkčních ploch. Projevuje se jednak vznikem úzké plošky na hřbetě podél ostří, jednak vznikem plošky nebo nejčastěji výmolu na čele nástroje. Na obr. 20b je snímek otupěného břitu s ploškou na hřbetě a výmolem na čele a schéma otupení na obou těchto plochách v řezu břitem, obr. 20a. Prů-

měrná šířka otupení na hřbetě, vypočtená jako aritmetický střed hodnot otupení v jednotlivých místech činné části břitu, označuje se b_h . Šířka otupení na čele se značí b_e a u výmolu je jeho maximální hloubka h .

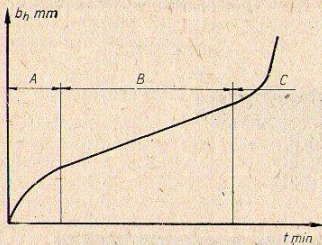


Obr. 20. Otupeň břitu

a — schéma otupení na čele a na hřbetě; b — snímek otupeného břitu

Závislost otupení hřbetu na čase (obr. 21) dává křivku, která má tři oblasti: oblast počátečního zrychleného opotřeбенí, normálního pracovního otupování a intenzivnějšího konečného otupení. Toto konečné otupení břitu vzniká již obvykle spolupůsobením výmolu na čele nástroje,

tedy pro zeslabení břitu se začne výmol provalovat a nástroj lavinovitě otupovat. V praxi je tato oblast otupení nástroje nežádoucí. První dvě



Obr. 21. Průběh otupení hřbetu
v závislosti na čase:

- A — oblast počátečního zrychleného otupování;
- B — oblast normálního pracovního otupování;
- C — oblast intenzivního konečného otupování

části křivky opotřebení hřbetu znázorňují normální průběh tření hřbetu a obrobek.

Na čele nástroje vzniká podle řezných podmínek různý způsob otupení. Při velmi malých řezných rychlostech se někdy tvoří tzv. nárůstek na břitu. Vznik nárůstku je podmíněn určitou teplotou v místě styku třísky s čelem nástroje. Kovově čisté povrchy se při této teplotě vzájemně spo-

jují a částčky obráběného materiálu se navažují k materiálu nástroje. Po dosažení určitého rozměru se nárůstek odtrhne a unáší s sebou i částčky ulpělého nástrojového materiálu. Zvětšením řezné rychlosti se zvýší teplota v místě styku a nárůstek se přestává tvořit. Na čele pak vzniká obvyklý způsob opotřebení — vymílání.

Poloha, šířka a hloubka výmolu na čele nástroje jsou určeny použitými řeznými podmínkami, především řeznou rychlostí, velikostí posuvu a hloubkou řezu, dále pak geometrií břitu, druhem obráběného materiálu a materiálem nástroje. Při řezání houževnatých materiálů, tvořících plynulou třísku za velkých řezných rychlostí nebo velkých posuvů, vyvíjí se velké množství tepla jednak plastickými deformacemi obráběného materiálu při tvoření třísky, jednak třením. Ve stykových plochách třísky s nástrojem je za těchto podmínek značně vysoká teplota, až kolem $1300\text{ }^{\circ}\text{C}$. Ohnisko nejvyšších teplot je přitom v určité vzdálenosti od ostří, kde je také vymílání nejintenzivnější.

Při zvláště obtížných řezných podmínkách může se lámat břit nebo i celá břitová destička, což znamená vždy ztrátu velkého množství nástrojového materiálu při přestřování nebo úplné znehodnocení nástroje.

Břit se láme tehdy, jsou-li řezné odpory při obrábění houževnatých nebo tvrdých materiálů, resp. rázy při přerušovaném řezu tak velké, že namáhání břitu překročí mez pevnosti. Někdy může být příčinou lomu břitu zeslabení nosného průřezu břitu hlubokým výmolem na čele nástroje.

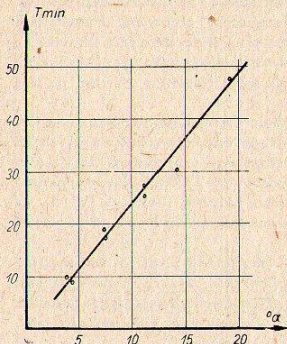
Opotřebení způsobené ztrátou tvrdosti nástrojového materiálu může nastat při obrábění zvláště velkými řeznými rychlostmi a při velkých posuvech. Vývinem velkého množství tepla při tvoření třísky v těchto případech a nedostatečným odvodem tepla z místa jeho vzniku nastane koncentrace tepla, hlavně na špičce nástroje. Toto teplo má vliv na strukturu slinutého karbidu, způsobuje ztrátu tvrdosti a rychlé utavení špičky nástroje.

Způsob otupení nástroje a jeho průběh závisí na řadě současně působících činitelů. Jsou to především: geometrie břitu, řezné podmínky, materiál obrobku, druh nástrojového materiálu, drsnost ostří a funkčních ploch břitu, tuhost obrobku, stroje a nástroje, vznik chvění a další. Všímněme si některých těchto vlivů podrobněji.

Geometrie břitu se volí tak, aby nástroj konal požadovanou práci s co nejmenším otupením při daných řezných podmínkách a aby se břit hrubě nepoškozoval. Pro příznivý průběh tvoření třísky by bylo výhodné volit co možno největší úhel čela, neboť tím by se zmenšila deformační práce při tvoření třísky, zmenšilo by se tření i množství vyvinutého tepla a celkové namáhání břitu by bylo příznivější. Avšak zvětšováním úhlu čela se zároveň zmenšuje úhel břitu β , a tím i nosný průřez břitu, takže namáhání nástrojového materiálu může dosáhnout meze pevnosti. Naopak menším nebo dokonce záporným úhlem čela γ se zpevňuje břit proti silovému a rázovému namáhání, avšak zároveň následkem vývinu většího množství tepla a větších řezných odporů je opotřebení funkčních ploch větší.

Úhel hřbetu α má vliv hlavně na velikost opotřebení hřbetu. Tato závislost vyplývá přímo z geometrických vztahů. Opotřebí-li se břit do jisté vzdálenosti od ostří, je velikost opotřebení na hřbetě nepřímo

úměrná tangente úhlu hřbetu. Ve skutečnosti nejsou poměry tak jednoduché, avšak výsledky zkoušek, uvedené na obr. 22, potvrzují původní předpoklad.



Obr. 22. Závislost trvanlivosti na velikosti úhlu hřbetu:

materiál obrobku	ocel 12 060.1
materiál nástroje	SK-SI
řezná rychlost	$v = 160 \text{ m/min}$
velikost posuvu	$s = 0,2 \text{ mm/ot}$
hloubka třísky	$t = 2 \text{ mm}$
kritérium otupení	$b_b = 0,3 \text{ mm}$

předpoklad. Trvanlivost břitů při konstantních podmínkách je přímo úměrná úhlu α . Úhel hřbetu nelze však zvyšovat neomezeně, opět z pevnostních důvodů.

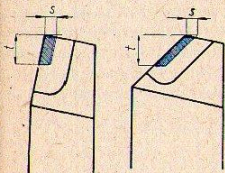
Úhel nastavení hlavního ostří má vliv především na tvar třísky, jak je zřejmé z obr. 23. Při určitém průřezu třísky, daném hloubkou řezu a velikostí posuvu, je štíhlost třísky závislá na úhlu κ . Čím menší je úhel nastavení, tím štíhlejší je tříska, a tím i menší specifické zatížení ostří. Při menším úhlu κ je obvykle i lepší jakost obrobeného povrchu, avšak zároveň je větší sklon ke vzniku samobuzeného chvění.

Na otupování břitů má ještě významný vliv úhel sklonu ostří λ . Při kladném úhlu sklonu ostří je břit při řezání více namáhán než při

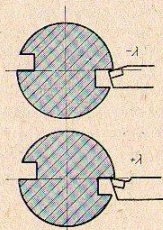
záporném úhlu λ . To se projeví zvláště při přerušovaném řezu (obr. 24), kdy místem prvního styku obrobku s nástrojem je špička, kdežto při záporném úhlu λ je tento bod prvního styku vzdálen od špičky, takže pevnostní namáhání je příznivější. Kromě místa prvního styku závisí na úhlu λ také doba vnikání břitů do materiálu obrobku. Čím více se ostří odklání od základní roviny, tím delší je tato doba vnikání a namáhání je opět příznivější — zmenšují se rázy na nástroj.

Je tedy nutno pro určité řezné podmínky volit takovou geometrii břitů, aby především bezpečně odolával svou pevností silovému a rázovému namáhání, nelámал se a zároveň měl malé opotřebení činných ploch otěrem.

Při sledování vlivu mikrogeometrie břitů, především mikrordsnosti ostří na průběh otupení a na trvanlivost břitů bylo experimentálně zjištěno, že drsnost má podstatný vliv při podélném soustružení s malými posuvy asi do $s = 0,1 \text{ mm/ot.}$



Obr. 23. Tvar třísky při různých úhlech nastavení



Obr. 24. Místo prvního styku při kladném a záporném úhlu sklonu

Pro posuvy větší než $0,2 \text{ mm/ot}$ je tento vliv na trvanlivost méně významný. Zřetelně se projeví až po překročení určité, dosti velké drsnosti ostří, kdy se tento její vliv začne uplatňovat ve stejné míře jako vliv ostatních činitelů na trvanlivost.

Podle zjištěného vlivu drsnosti břitů na jeho trvanlivost byly stanoveny pro ostření nástrojů se slinutými karbidy tyto drsnosti funkčních ploch a ostří (R_a je střední aritmetická drsnost):

$$R_a \text{ ploch} = 0,2 - 0,4 \mu,$$

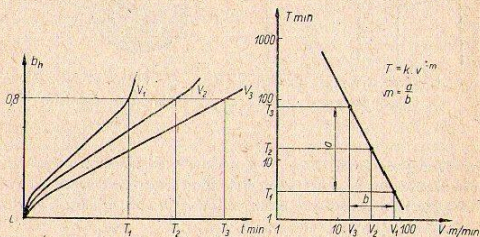
$$R_a \text{ ostří} = 1,0 - 4,0 \mu.$$

Tyto hodnoty platí pro nástroje určené k obrábění ocelí a litiny posuvem větším než $0,2 \text{ mm/ot.}$ Jemné dokončování břitů lapováním

nemá praktický význam pro malý vliv drsnosti ostří na jeho trvanlivost. V tabulce X jsou uvedeny maximální drsnosti jednotlivých ploch na soustružnickém noži.

Velikost a průběh otupení nástroje závisí bezprostředně na použitých řezných podmínkách, především na řezné rychlosti a velikosti posuvu. Volbou těchto dvou činitelů lze do značné míry ovládat intenzitu a způsob otupování břitu. Podáme zde stručný přehled průběhu otupování v závislosti na řezné rychlosti a posuvu.

Z časových průběhů otupení hřbetu pro jednotlivé řezné rychlosti vyplývají trvanlivosti příslušné určitému otupení hřbetu, např. $b_h = 0,8$ mm. Lze pak stanovit závislost trvanlivosti na řezné rychlosti, tzv. závislost $T - v$. Zvolené otupení hřbetu je v tomto případě kritériem otupení nástroje. Za předpokladu, že závislost $T - v$ je exponenciální, vyjádřená vztahem $T = k \cdot v^{-m}$, lze je graficky vyjádřit přímkou ve dvojité logaritmické síti. Na obr. 25 je schematicky naznačen způsob sestrojení

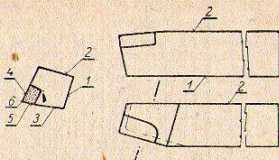


Obr. 25. Schéma sestrojení závislosti $T - v$

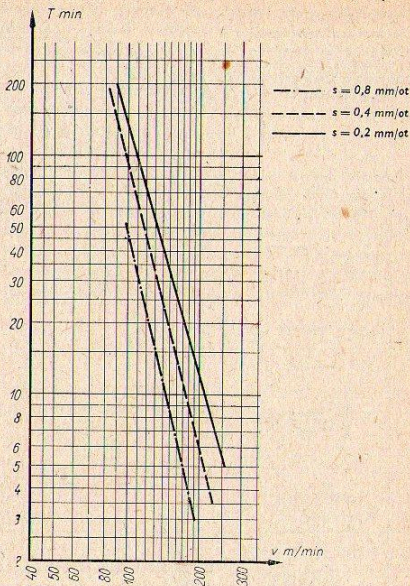
přímky, představující závislost $T - v$. Teoreticky by pro sestrojení přímky stačily dva body pro vzájemně si vyhovující trvanlivosti a řezné rychlosti. V praxi je třeba vzhledem k nutnému rozptylu při zkouškách určit pro závislost $T - v$ bodů více. Z polohy přímky lze určit pro vztah $T = k \cdot v^{-m}$ jako hodnotu konstanty k , tak exponentu m . Konstanta k je

Tabulka X

Drsnost ploch a ostří soustružnických nožů se slinutými karbidy na obrábění oceli a litiny s posuvy většími než 0,2 mm/ot



Číslo místa	Náčrtek	Místo	Drsnost R_a [μ]
1		Ložná plocha tělesa nože	0,4 0,8
2		Ostatní plochy tělesa nože	1,6
3		Hlavní hřbetní plocha tělesa nože	1,6
4		Čelní plocha břitové destičky	0,4
5		Hlavní hřbetní plocha břitové destičky	0,4
6		Ostří	3,2

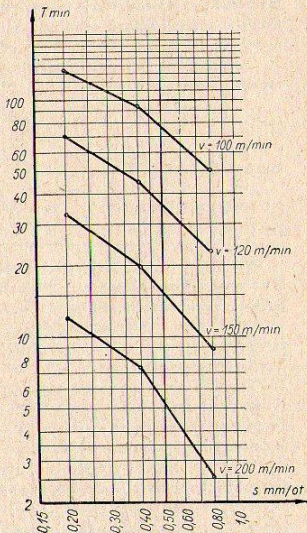


Obr. 26. Závislost trvanlivosti na řezné rychlosti:

obráběný materiál	ocel 12 060.1
slinutý karbid	S1
kritérium otupení nástroje	$b_h = 0,8 \text{ mm}$

dána průsečíkem přímky představující závislost $T - v$ s osou, na které je vynesena stupnice trvanlivosti, čili je to teoretická trvanlivost příslušná řezné rychlosti $v = 1 \text{ m/min}$. Exponent m je směrovkou této přímky (je dán poměrem $m = a : b$).

Na obr. 26 je diagram závislosti $T - v$ pro obrábění oceli 12060.1 slinutým karbidem S1. Hloubka třísky byla 2 mm, geometrie bříty daná ostřením s označením A. Závislosti $T - v$ jsou velmi strmé, což znamená, že i malou změnou řezné rychlosti se velmi změní trvanlivost. Zvětšením řezné rychlosti na dvojnásobek se zkrátí trvanlivost přibližně na jednu šestnáctinu. Dále je vidno, že pro jednotlivé posuvy mají přímky poněkud jiné sklony. To znamená, že exponent m není konstantní, nýbrž že je závislý na velikosti posuvu. Pro běžné výpočty je však možno pro obrábění oceli s koeficientem obrobitelnosti $= 1$ s posuvy v rozmezí 0,1–1,0 mm/ot použít konstantní střední hodnoty exponentu $m = 3,8$. Pro obrábění litiny za stejných podmínek slinutým karbidem druhu G1 je střední hodnota exponentu $m = 3,4$.



Obr. 27. Závislost trvanlivosti na velikosti posuvu:

obráběný materiál	ocel 12 060.1
slinutý karbid	S1
kritérium otupení nástroje	$b_h = 0,8 \text{ mm}$

Analogicky lze odvodit a zobrazit závislost trvanlivosti na velikosti posuvu podle vztahu $T = k' \cdot s^{-n}$. Na obr. 27 je diagram závislosti $T - s$ pro obrábění oceli slinutým karbidem S1. Z diagramu je zřejmé, že závislost $T - s$ je méně příkrá, tedy že exponent n je menší a že se trvanlivost se změnou posuvu mění pomaleji. Střední hodnota exponentu $n = 0,95$.

Souhrnně lze matematicky vyjádřit závislost trvanlivosti na řezné rychlosti a posuvu vztahem:

$$T = \frac{C}{v^m s^n},$$

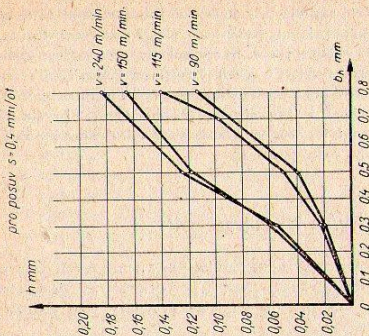
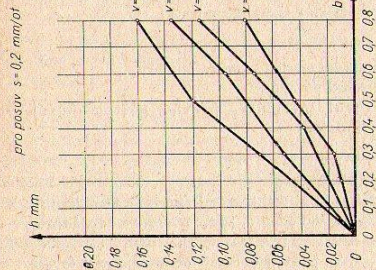
kde hodnoty exponentů m a n jsou:

pro posuvy $s \leq 0,4$ mm/ot,	$m = 3,6$	$n = 0,7$,
pro posuvy $s > 0,4$ mm/ot,	$m = 4,2$	$n = 1,2$.

Při větších řezných rychlostech a posuvech je v celkovém otupení bříty výraznější opotřebení čela než hřbetu. Při takovém obrábění nelze dosáhnout šířky otupení na hřbetě $b_n = 0,8$ mm, neboť hloubka výmolu přestoupí již při menším otupení hřbetu takovou hodnotu, že nastává zrychlené, „katastrofální“, otupení nástroje. Zde je vhodným kritériem otupení bříty hloubka výmolu $h = 0,1$ mm. Grafické znázornění závislosti $T - v$ pro toto kritérium je obdobné jako pro předchozí kritérium podle hřbetu, avšak přímky pro posuvy větší než 0,4 mm/ot jsou strmější. To znamená, že exponent v v závislosti $T - v$ je větší a že čelo nástroje je citlivější na změnu řezné rychlosti.

Vzájemné srovnání vymílavosti a utupování hřbetu dává diagram tzv. relativní vymílavosti (obr. 28), kde na vodorovnou osu je vynášena průměrná velikost otupení hřbetu a na svislou osu maximální hloubka výmolu. Z diagramu vidíme, že při menších řezných rychlostech přísluší určitému otupení na hřbetě menší hloubka výmolu, kdežto při větších řezných rychlostech a stejném otupení hřbetu je hloubka výmolu větší.

V praxi je obtížné přesně sledovat jakékoli kritérium otupení. Řezné podmínky a konečné otupení bříty je však třeba volit tak, aby trvanlivost nástroje byla hospodárná, tj. aby náklady vynaložené na



Obr. 28. Relativní vymílavost slinutého karbidu S1

Obráběný materiál

SK S1

materiál nástroje

výměnu a ostření nástrojů byly minimální. Je-li opotřebení břitu příliš intenzivní, je nutno zmírnit řezné podmínky. Ze srovnání vlivu řezné rychlosti a vlivu velikosti posuvu na otupení břitu vyplývá, že je výhodné zmenšovat řeznou rychlost a současně zvětšovat posuv, čímž se může zachovat dosavadní produktivita obrábění, avšak zmenší se opotřebení nástroje. Vylamuje-li se břit nástroje při obrábění, je obvykle třeba změnit geometrii břitu nebo volit houževnatější druh slinutého karbidu a jemu vyhovující řezné podmínky.

2.13. Vlivy na trvanlivost ostří

Volba pracovních podmínek karbidového nástroje se řídí konstrukcí obrobku, předpisující jeho tvar, rozměr, povrch a materiál. Někdy k tomu přistupují ještě další, předem stanovené podmínky, dané podrobným výrobním postupem.

V rámci omezení, vytvořených uvedenými vlivy, je nutno zvolit pracovní podmínky karbidového nástroje tak, aby při splnění požadavků kladených na jakost obrobku a na potřebnou pracovní intenzitu, byla trvanlivost nástroje co největší.

Zvolené pracovní podmínky musí tedy vyhovovat stanoveným požadavkům především v těchto ukazatelích:

- A. v jakosti obrobku:
 - a) v přesnosti tvaru a rozměru obrobku,
 - b) v drsnosti povrchu;
- B. v pracovní intenzitě, měřené počtem kusů, vyrobených za jednotku času;
- C. v trvanlivosti nástroje.

Hlavním hlediskem pro posouzení průběhu pracovního pochodu se zřetelem na nástroj je trvanlivost ostří. Další hlediska jsou: velikost řezného odporu, jakost povrchu a odvod třísky.

Trvanlivost ostří bude tedy se zřetelem na nástroj hlavním vodítkem pro volbu pracovních podmínek. Působí na ni zejména tyto vlivy:

1. materiál nástroje,
2. materiál obrobku (jeho tvrdost, pevnost, chemické složení, mikrostruktura, tažnost atd.),
3. řezná rychlost,
4. druh obrábění (soustružení, frézování atd.),
5. průřez třísky (hloubka řezu, posuv),
6. geometrie nástroje (úhly, ostření atd.),
7. chlazení,
8. tuhost soustavy obrobek—stroj—nástroj,
9. tvar a rozměry obrobku,
10. podmínky záběru (plynulý, přerušovaný řez apod.).

I když jsme vyjmenovali jenom hlavní vlivy, vedle kterých působí ještě další systematické a nahodilé vlivy, je zřejmé, že závislost trvanlivosti ostří na pracovních podmínkách je velmi složitá.

Protože však produktivita a hospodárnost obrábění závisí rozhodujícím způsobem na volbě řezných podmínek, je třeba k ní přistupovat se skutečnou znalostí věcí. I když totiž je k dispozici řada směrnic pro volbu řezných podmínek, žádné z nich nemohou věrně vystihnout celý rozsah všech působících vlivů, a tak doporučované hodnoty je dlužno volit vždy pro každý konkrétní případ.

Nástroj má technologický úkol buď obrobit určitou plochu obrobku na předepsanou jakost a rozměr, nebo ubrat určitý objem materiálu z obrobku zase na určitý tvar a rozměr obrobku, avšak bez přísnějšího požadavku na jakost obrobené plochy. První případ se týká obrábění na čisto, druhý případ hrubování.

Vždy však lze daný úkol splnit řadou kombinací řezných podmínek, tj. různým posuvem a různou řeznou rychlostí. Hloubka řezu bývá dána výrobním postupem. Z těchto možností je třeba zvolit takovou, při které se v konkrétním případě dosáhne nejmenších výrobních nákladů na obrábění, event. nejkratšího výrobního času určité výrobní dávky. Mezi řeznými podmínkami, zajišťujícími maximální hospodárnost, a podmínkami nejkratšího výrobního času je určitý rozdíl, který je tím menší, čím výkonnějšího a složitějšího stroje se použije. Protože hospodárnost je za obvyklých poměrů rozhodujícím hlediskem, jsou zásady volby hospodárných řezných podmínek velmi důležité.

2.14. Hospodárná trvanlivost ostří

Při obrábění na čisto je posuv stanoven požadavky na jakost povrchu, takže na intenzitu práce má vliv pouze řezná rychlost. Řezná rychlost však pronikavě působí na trvanlivost ostří, neboť čím větší je řezná rychlost, tím menší je trvanlivost. Nástroj je pak nutno často vyměňovat, což zdržuje práci (prodlužuje prostoje) a zvyšuje náklady větší spotřebou nástrojů. Neustálým stupňováním řezné rychlosti se tak dospěje k mezi, kdy celkové výrobní náklady dávky obrobků začnou stoupat. Při dalším zvětšování řezné rychlosti se dospěje k další mezi, kdy se začne opět prodlužovat i výrobní doba dávky obrobků. Rozborem závislosti výrobních nákladů na řezné rychlosti při práci, např. univerzálního soustruhu, dospěje se ke zjištění řezné rychlosti, která přísluší minimálním výrobním nákladům. Tyto poměry nastanou při daném stanoveném průřezu třísky, zejména při konstantním posuvu. To jsou okolnosti platící pro obrábění na čisto, kdy volba posuvu je určena požadovanou jakostí povrchu. Celkové výrobní náklady na obrobek každého obrobku jsou složeny z nákladů na hlavní strojní čas c_m , z nákladů na vedlejší čas c_v a z nákladů na nástroj c_n (obr. 29):

$$c = c_m + c_v + c_n.$$

Matematickým rozborem celkových výrobních nákladů a jejich závislosti na trvanlivosti ostří při daném průřezu třísky najde se trvanlivost vyhovující nejmenším výrobním nákladům. Tato tzv. hospodárná trvanlivost je dána vztahem, který platí pro běžné karbidové nástroje,

$$T_{\text{hosp}} = \frac{3,5N}{M} [\text{min}].$$

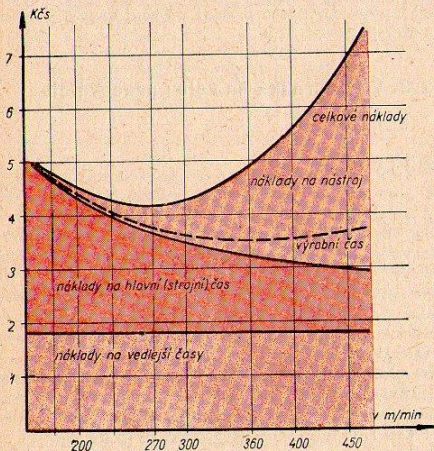
kde N jsou náklady na nástroj, připadající na jedno ostření (tj. mzda a režie za jedno ostření, upínání a seřizování nástroje, podíl z ceny nástroje, připadající na jedno ostření),

M — mzda a režie za hodinu práce.

Při obrábění s určitým průřezem třísky jsou náklady nejnížší, volí-li se řezná rychlost, která přísluší hospodárné trvanlivosti.

Hospodárná trvanlivost břitu je tím delší, čím nákladnější je nástroj a jeho udržování, a tím kratší, čím vyšší je hodinová mzda a režie.

Při hrubování bývají řezné podmínky omezeny výkonem stroje, event. max. přípustným řezným odporem resp. krouticím momentem.



Obr. 29. Skladba výrobních nákladů

Obdobný rozbor ukazuje, že při hrubování jsou výrobní náklady tím nižší, čím větší je posuv, zvolíme-li rychlost příslušící konstantní trvanlivosti ostří. Při tom se předpokládá plné využití příkonu stroje.

Při hrubování je tedy výhodné volit co největší posuv, který dovolí pevnost a tuhost soustavy obrobek—stroj—nástroj.

Závěr: Při volbě řezné rychlosti pro práci daným průřezem třísky je nutno se řídit nákladností nástroje i náklady na provoz stroje. Čím dražší je nástroj, tím menší řeznou rychlost je třeba volit. Při volbě řezných podmínek pro hrubování je třeba volit takové podmínky, při nichž je instalovaného příkonu stroje zcela využito a při nichž se použije maximálního posuvu, dovoleného pevností a tuhostí soustavy obrobek—stroj—nástroj.

2.2. Vliv obrobku na volbu pracovních podmínek

2.2.1. Obrábění oceli

V první kapitole byla zdůvodněna základní hlediska pro volbu řady S pro obrábění oceli. Druhy řady S vykazují větší odolnost proti vymílání čela odcházející plynulou třískou. Se stoupajícím obsahem kobaltu vzrůstá jejich pevnost a odolnost při méně příznivých řezných podmínkách.

Při volbě jednotlivých druhů je možno se řídit těmito hlavními směrnici:

Hodnoty posuvů a řezných rychlostí jsou zcela informativní a mají spíše názorně ukázat na pracovní oblasti jednotlivých druhů.

Při volbě řezných podmínek bývá průřez třísky většinou dán předběžnými podmínkami: při hrubování je hloubka třísky určena přídavkem a posuv se volí maximální podle tuhosti soustavy obrobek—stroj—nástroj. Při práci na čisto se posuv řídí požadovanou jakostí povrchu a geometrií nástroje.

Jde tedy zejména o volbu řezné rychlosti. Pro trvanlivost ostří kromě vlivu použitého druhu karbidu bude mít nejdůležitější vliv materiál obrobku.

Vlivy, kterými vlastnosti materiálu obrobku působí na průběh obráběcího pochodu, shrnují se do pojmu obrobitelnosti. Těchto vlivů je velké množství a nelze proto obrobitelnost jednoduše posoudit podle některé snadno měřitelné vlastnosti materiálu.

Druh	Pracovní podmínky	Posuv řezná rychlost
F 1	<p>Dokončovací práce na oceli malým průřezem třísky a velkou řeznou rychlostí. Pro dosažení velké přesnosti a jakosti povrchu</p> <p>Jen jako druhá operace, tedy jen na obrobení nepřerušované plochy. Jemné soustružení a vyvrtávání. Vyžaduje zvýšenou opatrnost při pájení a ostření.</p>	<p>Pod 0,1 mm/ot $v > 150$ m/min</p>
S 1	<p>Práce na oceli malým a středním průřezem třísky větší řeznou rychlostí. Na nepřerušované plochy bez kúry a se stejným přídavkem na obrábění. Volí se zejména na soustružení.</p>	<p>Do 0,5 mm/ot $v = 90$ až 200 m/min</p>
S 2	<p>Práce na oceli středním průřezem třísky menší řeznou rychlostí.</p> <p>Snáší přerušovaný řez při menších průřezech třísky a proměnlivý přídavek.</p> <p>Soustružení, kopírovací soustružení, několikavřetenové automaty, frézování.</p>	<p>Do 1,0 mm/ot $v = 70$ až 130 m/min</p>
S 3	<p>Práce na oceli středním a velkým průřezem třísky malou řeznou rychlostí.</p> <p>Snáší přerušovaný řez, kúru na materiálu při vhodné geometrii nástroje.</p> <p>Soustružení na těžkých soustruzích, karuselech, frézování.</p>	<p>Do 1,4 mm/ot $v = 60$–100 m/min</p>
S 4	<p>Obtížné řezné podmínky, silně přerušovaný řez, proměnlivý značný průřez třísky, malá řezná rychlost.</p> <p>Těžké soustruhy, i svislé kopírovací stroje; hoblování.</p>	<p>Do 2,0 mm/ot</p>

Velmi hrubá závislost s mnoha výjimkami je mezi tvrdostí a obrobitelností materiálu. Čím větší je tvrdost, tím horší je obrobitelnost a tím menší řeznou rychlost musíme volit. Tato závislost však platí jen u oceli určité značky, a to ještě jen přibližně.

Přehled působení vlastností oceli různého složení na přípustnou řeznou rychlost podává tab. XI.

Tabulka XI

Vliv vlastností obráběné oceli na řeznou rychlost

Stav oceli	Chemické složení oceli [%]									
	C	C	Mn	Pb	S	Si	Cr	Ni	Mo	Va
	0,10 0,30	0,30 0,80	0,25 2,00	0,0 0,15	0,0 0,30	0,0 2,0	0,0 1,1	0,0 5,0	0,0 0,75	0,0 0,25
Za tepla vá- lená nebo normalizovaná	+2	-2	-6	+6	+10	-2	-2	-10	-5	0
Žíhaná	+2	+3	-2	+6	+10	-2	-2	-10	-4	-11
Zušlechťená na 300 H _B	0	0	-2	+4	+8	-2	0	-10	-4	0
Zušlechťená na 400 H _B	0	0	-4	+2	+3	-2	0	-10	-4	0
Vliv na obrábění:										
+10			+5		0			-5		-10
Vzrůstající a příznivý (větší řezná rychlost)				bez vlivu			Vzrůstající a nepříz- nivý (menší řezná rychlost)			

Vzhledem k složitosti vlivů na obrobitelnost ocelí a nutnost rozsáhlých nákladných zkoušek stanoví se obrobitelnost nejvhodněji součinitelem poměrné obrobitelnosti, který udává poměr použitelné řezné rychlosti na příslušné oceli k řezné rychlosti na základní oceli za stejných podmínek a při stejné trvanlivosti ostří.

Materiály s lepší obrobitelností, které snesou větší řezné rychlosti než stanovený materiál základní, mají poměr obou řezných rychlostí — a tedy i součinitele poměrné obrobitelnosti — větší než 1,00; naopak materiály s obrobitelností horší než materiál základní mají obrobitelnost udávanou číslem menším než 1,00.

V Československu byla zvolena za základ ušlechtilá uhlíková ocel normalizačně žíhaná ČSN 12 060.1, jejíž obrobitelnost je tedy 1,00.

Byla sestavena řada skupin obrobitelnosti, charakterizovaných součiniteli poměrné obrobitelnosti (tab. XII).

Tabulka XII

Součinitelé poměrné obrobitelnosti pro oceli

Obrobitel- nost	Skupina obrobitelnosti										
	7b	8b	9b	10b	11b	12b	13b	14b	15b	16b	17b
střední	0,25	0,32	0,40	0,50	0,63	0,80	1,00	1,26	1,59	2,00	2,52
min. od	0,23	0,29	0,36	0,45	0,57	0,72	0,90	1,13	1,42	1,79	2,25
max. do	0,28	0,35	0,44	0,56	0,71	0,89	1,12	1,41	1,78	2,24	2,82

Normalizované druhy čs. oceli jsou zařazeny do těchto skupin obrobitelnosti, pro které byly vypracovány podrobné tabulky řezných podmínek.

Tyto podrobné tabulky byly vydány ministerstvem těžkého strojírenství a Technickoorganizačním výzkumným ústavem strojírenství.

Tabulka XIII udává řezné podmínky pro základní materiál.

2.22. Utváření třísek

Při soustružení oceli vznikají čtyři základní typy třísek: plynulá, šroubovitá, spirálová, lámavá. Plynulá se vytváří při soustružení většími rychlostmi a menšími posuvy nástroji se slinutým karbidem. Namotává se na obrobek, nástroj, stroj, ohrožuje dělníka, přičemž poškozuje obráběný povrch. Použitím utvářečů vzniká při jistých řezných podmínkách tříska šroubovitá, která odchází od nože ve tvaru šroubovice

Řezné podmínky pro základní materiál — ocel

Hloubka řezu [mm]	Poloměr špičky nože [mm]									
	0,5						1			
	posuv [mm/ot]	0,06	0,08	0,1	0,125	0,18	0,25	0,35	0,50	0,80
0,5	v_{90}	250	235	220	210	192	178	165	152	135
	P_z	15,5	17	17,5	18	19	21	24	28	43
	N_{el}	0,95	0,95	0,90	0,90	0,85	0,90	0,95	1,0	1,4
1	v_{90}	220	205	196	185	170	155	146	135	120
	P_z	31	34	35	36	38	42	48	56	86
	N_{el}	1,6	1,6	1,6	1,6	1,5	1,5	1,7	1,8	2,4
2	v_{90}	205	182	174	164	150	138	128	118	105
	P_z	62	67	69	72	75	83	96	115	170
	N_{el}	2,9	2,9	2,9	2,8	2,7	2,7	2,9	3,1	4,3
3	v_{90}	182	170	160	152	140	130	120	110	98
	P_z	93	100	105	110	115	125	145	170	255
	N_{el}	4,0	4,0	4,0	3,8	3,7	3,8	4,1	4,4	5,9
5	v_{90}		155	146	138	128	118	110	100	89
	P_z		170	175	180	190	210	240	280	430
	N_{el}		6,1	6,0	5,8	5,6	5,7	6,2	6,6	9,0
8	v_{90}			135	128	116	108	100	92	82
	P_z			275	285	300	330	385	450	690
	N_{el}			8,8	8,6	8,3	8,4	9,0	9,7	13,5
12	v_{90}				118	108	100	93	85	76
	P_z				430	450	500	580	680	1050
	N_{el}				12,0	11,5	12,0	13,0	13,5	18,5

v_{90} — řezná rychlost při trvanlivosti ostří 90 min; P_z — řezný odpor tangen-
ciální [kg]; N_{el} — potřebný příkon [kW].

určitého průměru a stoupání. Nemůže-li tříska včas odejít z čela nástroje od obrobku, stáčí se na sebe, průměr tohoto svitku vzrůstá, až v třísce nastane napětí, které způsobí, že se tříska zlomí a odskočí. Takto vzniká tříska spirálová. Při určitých řezných podmínkách a tvaru utvářeče vzniká tříska lámavá, která odskakuje v podobě malých zahnutých úlomků od nože. Pro dělníka je nejbezpečnější tříska šroubovitá, méně bezpečná spirálová, lámavá a nebezpečná je tříska plynulá. Z hlediska skladnosti a dopravy třísek je nejvhodnější tříska lámavá.

Volba vhodné geometrie nože a znalost příslušných závislostí může být cenným pomocníkem při snaze utvářet třísku odcházející od soustružnického nože, aniž se použije příložného utvářeče nebo aniž se vybrušuje do čela nože jakýkoliv utvářeč.

Z řezných úhlů má vliv na utváření třísky především úhel nastavení a úhel čela. Úhel nastavení hlavního břitu α má vliv na směr odchodu třísky a jeho zvětšením ze 45° na 90° se rozsah řezných podmínek, při nichž se třísky utvářejí, pronikavě zvětšuje. Pro utváření je optimální úhel nastavení $\alpha = 90^\circ$, tzn. stranový uběrací nůž. Úhel sklonu ostří λ při úhlech nastavení $\alpha = 45^\circ$ a 60° nemá podstatný vliv na utváření třísek. Při úhlu nastavení $\alpha = 90^\circ$ zvětšením úhlu sklonu na hodnotu $\lambda = -15^\circ$ se rozšíří rozsah řezných podmínek, při kterých se odcházející tříska spolehlivě utváří.

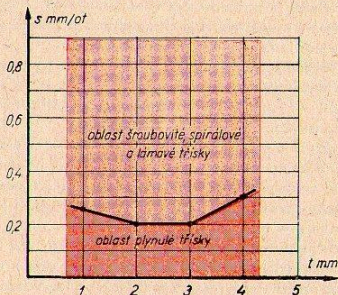
Úhel čela má rovněž podstatný vliv na odchod třísky. Se zmenšováním kladného úhlu čela se zvětšuje rozsah řezných podmínek, při kterých se třísky utvářejí. Je nutno upozornit, že stranové nože s kladným úhlem čela $\gamma = +10^\circ$ a zápornou fasetkou šířky 1,0 mm utvářejí třísky stejně jako stranové nože se záporným úhlem podél celého čela -5 až -10° . Větší zaoblení špičky nože znesnadňuje utváření pouze u stranového nože a při malé hloubce třísky $t = 1$ až 3 mm.

Řezná rychlost nemá podstatný vliv na utváření třísky v rozsahu 40 až 200 m/min. Pro utváření třísky je možno pokládat tuto geometrii břitu nože za optimální:

$$\alpha = 90^\circ, \lambda = -15^\circ, \gamma = +5 \text{ až } +10^\circ, f = 1,0 \div 0,2 \text{ mm}, \gamma_1 = -5^\circ$$

Rozsah řezných podmínek, za nichž se tříska utváří, je naznačen na obr. 30.

Spolehlivého utváření třísek se dosáhne též vybrušováním vhodných stupňů na čele destičky podél hlavního břitů. Tvar utvářené třísky je určen poloměrem jejího oblouku. Čím je tento poloměr menší, tím na drobnější úlomky se odcházející tříska rozpadá. Potřebného poloměru



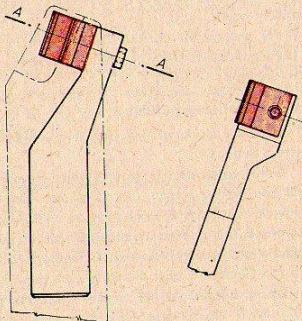
Obr. 30. Rozsah utváření třísky

oblouku odcházející třísky se dosáhne vhodnou volbou rozměrů stupňovitěho utvářeče. Jeho hloubka se zvolí podle velikosti nože. Pro nůž průřezu $16 \times 16 \text{ mm}$ se použije hloubky utvářeče $0,4\text{--}0,5 \text{ mm}$, pro průřez $20 \times 20 \text{ mm}$ $0,5$ až $0,6 \text{ mm}$ a pro větší průřezy $0,6$ až $0,8 \text{ mm}$. Volba optimálního poloměru oblouku třísky závisí na úhlu nastavení α , řezné rychlosti, hloubce třísky a druhu obráběného materiálu. Proto nejdříve z nomogramu A v příloze se stanoví tzv. redukovaný posuv a dále z nomogramu B podle obráběného materiálu a velikosti redukovaného posuvu potřebná velikost poloměru oblouku třísky. Čím hlubší se volí utvářeč, tím větší musí být jeho šířka. Z nomogramu C se stanoví potřebná šířka utvářeče za pomoci zjištěného poloměru oblouku třísky a zvolené

hloubky utvářeče. Přechodový poloměr stupňovitého utvářeče musí odpovídat jeho hloubce podle tabulky D.

Vybrušovat stupňovitý utvářeč je sice obtížné, citlivé pro změnu řezných podmínek, zeslabuje se tím destička ze slinutého karbidu a zkracuje trvanlivost nástroje, ale takový utvářeč zase spolehlivě utváří třísky a nevyžaduje pozornost a obsluhu dělníka. Příložný utvářeč je univerzálnější vzhledem k používaným řezným podmínkám, ale klade větší nároky na obsluhu a je nákladnější.

řez A-A



Obr. 31. Příložný utvářeč

Vhodná konstrukce příložného utvářeče je na obr. 31. Jeho utvářecí příložka se přitlačí k čelu nástroje a připevní k držáku utvářeče šroubem. Držák utvářeče uplnáme šrouby zároveň s nožem v nožové hlavě soustruhu. Utvářecí příložka je ze slinutého karbidu S3, je podložena ocelí a má dva sklony, z nichž první je v šíři 2,5 mm pod úhlem 50° a druhý pod úhlem 35° . Takto volené sklony utvářecí plochy umožňují velký rozsah utváření při jednom nastavení utvářeče.

2.23. Obrábění litiny.

Litina při obrábění je charakterizována drobivou třískou, která nepůsobí při obvodu obtíže, avšak materiál působí značný otěr nástroje, takže oblast rychlostí používaných při obrábění litiny karbidovými nástroji leží podstatně níže než řezné rychlosti při obrábění oceli.

Pro všechny běžné případy obrábění litiny se volí druh G1. Jen pro tvrdou litinu nebo materiál působící zvlášť intenzivní otěr nástroje se volí druh H1, někdy pro mimořádně těžko obrobitelné materiály pak druh H2.

Druhů H1 a H2 se též používá k obrábění kalené oceli nebo i žáruvzdorných, nerezavějících a vůbec velmi obtížně obrobitelných ocelí.

Volba pracovních podmínek se řídí v zásadě týmiž hledisky jako při obrábění oceli.

Při posuzování obrobitelnosti litiny je nutno přihlížet zejména k vlivu mikrostruktury, chemického složení, způsobu výroby a event. i tepelného zpracování.

Vliv mikrostruktury

Hlavními složkami mikrostruktury šedé litiny jsou grafit, ferit, perlit a cementit.

Grafit ve struktuře zlepšuje obrobitelnost, která je tím lepší, čím větší jsou částice grafitu. Obrobitelnost litiny s feritickou strukturou je rovněž velmi dobrá, avšak ferit ve větším množství se „lepí“ na břit nástroje a tak podstatně zhoršuje jakost povrchu. Lamelární perlit značně zhoršuje obrobitelnost. Cementit při menších řezných rychlostech (do 50 m/min) však obrobitelnost velmi zhoršuje.

Chemické složení má na obrobitelnost vliv svým působením na strukturu. V obyčejné šedé litině se vyskytuje kromě železa a uhlíku ještě křemík, mangan, fosfor a síra.

Malý obsah křemíku je spojen s poměrně špatnou obrobitelností. Rovněž tak obsah křemíku přes 3 % značně zhoršuje obrobitelnost. Pro obrobitelnost je nejpříznivější obsah 2,5–2,7 % Si.

Mangan zhoršuje obrobitelnost litiny při obsahu nad 1,5 až 2 %.

Síra působí celkem nepříznivě na obrobitelnost šedé litiny.

Fosfor přes 0,3 % značně zhoršuje obrobitelnost.

Legující prvky mají různý vliv podle obsahu. Nikl zlepšuje obrobitelnost do 2 %, velký obsah (16—20 %) v austenitických slitinách obrobitelnost zhoršuje.

Hliník do 4 % obrobitelnosti zlepšuje, při větším obsahu se obrobitelnost zhoršuje; při 8—16 % Al litina tuhne jako bílá, je téměř obrobitelná. Jiné přísady jsou méně časté.

Způsob výroby, tepelné zpracování

Zvýšené přehřátí tekuté litiny zjemňuje strukturu, a tím zhoršuje obrobitelnost.

Aby se zlepšila obrobitelnost, žihá se:

- s prodlevou na teplotě nižší než kritické, tj. 721 °C;
- ohřevem nad kritickou teplotu, s nepatrnou prodlevou a pomalým ochlazením přes kritickou teplotu.

Obrobitelnost šedé litiny se posuzuje stejně jako u oceli zařazením do skupin obrobitelnosti. Tyto skupiny jsou charakterizovány součiniteli poměrné obrobitelnosti, podle základního materiálu, kterým zde je šedá litina nelegovaná, tvrdosti H_B 190, zařazená do skupiny 11a (součinitel obrobitelnosti 1,00), tab. XIV.

Tabulka XIV

Součinitelé poměrné obrobitelnosti pro litiny

Obrobitelnost	Skupina											
	3a	4a	5a	6a	7a	8a	9a	10a	11a	12a	13a	14a
střední	0,16	0,20	0,25	0,32	0,40	0,50	0,63	0,80	1,00	1,26	1,59	2,00
minimální	0,15	0,19	0,23	0,29	0,36	0,45	0,57	0,72	0,90	1,13	1,42	1,79
maximální	0,18	0,22	0,29	0,35	0,44	0,56	0,71	0,89	1,12	1,11	1,78	2,24

Litiny různé tvrdosti jsou zase zařazeny do jednotlivých skupin, pro které se řezné rychlosti stanoví podle základního materiálu vynáso-

bením součinitelem poměrné obrobitelnosti. Pro základní materiál platí tabulka XV.

Tabulka XV

Řezné podmínky pro základní materiál – litinu

Hloubka řezu [mm]	Posuv [mm/ot]	Poloměr špičky nože [mm]							
		1		2				3	
		0,6	0,8	1,0	1,25	1,6	2,0	2,5	3,15
5	v	40	36	34	31	29	26	24	22
	P_z	200	245	300	370	460	560	690	840
	N_{el}	1,9	2,1	2,4	2,7	3,1	3,5	4,0	4,5
10	v	33	31	28	26	24	22	21	19,0
	P_z	400	490	600	740	920	1150	1400	1700
	N_{el}	3,1	3,5	4,0	4,6	5,2	5,8	6,7	7,5
15	v	30	28	26	24	22	20	18,5	17,5
	P_z	590	730	900	1100	1400	1700	2100	2550
	N_{el}	4,2	4,8	5,5	6,2	7,1	8,0	9,1	10,5
20	v	28	26	24	22	20	18,5	17,5	16,0
	P_z	790	970	1200	1500	1850	2250	2800	3400
	N_{el}	5,2	5,9	6,7	7,7	8,6	9,9	11,5	13,0
25	v	27	24	23	21	19,0	17,5	16,5	
	P_z	990	1250	1500	1850	2300	2800	3450	
	N_{el}	6,2	7,0	7,9	9,0	10,5	12,0	13,5	
30	v	25	23	21	20	18,0	17,0		
	P_z	1200	1500	1800	2250	2750	3400		
	N_{el}	7,0	7,9	9,1	10,5	12,0	13,5		
40	v	24	22	20	18,5	17,0			
	P_z	1600	1950	2400	2950	3650			
	N_{el}	8,8	10,0	11,5	13,0	14,5			

v = řezná rychlost [m/min].

P_z = tečná složka řezného odporu [kg].

N_{el} = výkon elektromotoru [kW].

2.24. Chlazení

Hlavním účelem chlazení při obrábění je odvod tepla vzniklého deformací a třením při oddělování třísky. Čím intenzivnější je odvod tepla, tím nižší je teplota břitu a tepelné namáhání nástroje, a tedy tím delší je trvanlivost ostří.

Dále se má chlazením zmenšit tření mezi třískou a obrobkem. Chladicí prostředek má tedy mít i mazivost. Pro krajně vysoké specifické tlaky na břitu nástroje nelze počítat se vznikem kapalinného tření, je spíše třeba zamezit styk kovově čistých povrchů chemickou reakcí s chladivem tak, aby poklesla vzájemná aktivita povrchů.

Odvod tepla chladivem je tím intenzivnější, čím větší specifické teplo a tepelnou vodivost má chladivo a čím déle může teplo přestupovat do chladiva.

Při obrábění karbidovými nástroji vzniká značné množství tepla, poněvadž se používá velkých řezných rychlostí. Účinnost chladiv však zde klesá právě pro velké řezné rychlosti, které zkracují dobu styku třísky s chladivem, a proto přestup tepla není tak účinný. Slinuté karbidy jsou proti teplotě velmi odolné, takže pracují v oblasti vysokých teplot uspokojivě. Jsou však citlivé na prudké a zvláště místní změny teploty, které při velké řezné rychlosti snadno vzniknou přerušováním proudu chladiva rychle odcházející třískou.

Proto se při obrábění nástroji s SK obvykle chladiva v širší míře nepoužívá vůbec.

Někdy se však musí použít chladiva, aby se snížila teplota obrobku a nevznikly tepelné deformace nebo aby se udržela teplota celého pracovního prostoru stroje. Dále se někdy chladivem též splachují třísky.

Proto se chladiv používá v určitém podílu prací s karbidovými nástroji, a to v těchto případech:

- a) Na automatech, zejména několikavřetenových. Zde velkou pracovní intenzitou vzniká také množství třísek a vedlejší časy jsou tak krátké, že bez odvodu tepla by stoupala značně teplota v pracovním prostoru stroje a v částech strojů s ním sousedících. Tím by se zhoršovala pracovní přesnost a zmenšovaly vůle pohyblivých součástí, které by se někdy zadíraly.

Obvyklé chladivo pro automatové práce — řezný olej — se někdy příliš odpařuje, ba i vznítí. Tím se zvětšuje spotřeba oleje, zhoršuje se pracovní prostředí i bezpečnost. V některých případech stačí věnovat větší pozornost dokonalému zaplavení pracovních míst přebytkem oleje.

Při použití mnohem účinnějších vodních emulzí olejů vzniká nebezpečí, že budou smývat oleje z mazaných vodících ploch a vnikat do ložisek vřeten, a tím i do vřeteníku. Je tedy třeba při chladicích emulzích utěsnit proti nim ložiska i mazané vodící plochy, což není vždy možné.

V poslední době se vyvíjejí nové druhy speciálních řezných olejů, které tvoří s vodou roztoky a jsou stabilní v poměru míšení až tři díly oleje k jednomu dílu vody. Takové vodné roztoky olejů dobře vyhoví při práci soustružnických automatů s karbidovými nástroji.

b) Při hlubinném trepanačním vrtání. Zde se používá tlakového chladiva (olejové emulze) pro odvod tepla, zejména k odplavování třísek.

c) Při řezání závitů, obrábění těžko obrobitelných materiálů a vůbec při pracích s menší řeznou rychlostí. Zde je účinnost chladicí olejové emulze větší, a proto se jí většinou používá.

Při běžných pracích s karbidovými nástroji se tedy nechladí. Kde se z různých důvodů chladit musí, použije se běžné olejové emulze 1 : 10 až 1 : 30 podle řezné rychlosti: čím větší řezná rychlost, tím větší zředění. U automatů lze někdy použít i řezného oleje.

2.25. Jakost povrchu

Strojní součásti se v provozu začínají obvykle porušovat v povrchové vrstvě, a proto jsou její vlastnosti pro posuzování jakosti obrobených součástí velmi důležité.

Všeobecně lze říci, že pokud jde o drsnost obrobeného povrchu, má na ni použití karbidových nástrojů zásadně příznivý vliv a v porovnatelných případech se dosáhne téměř vždy menší drsnosti než při práci rychlořeznou ocelí.

Vliv pracovních podmínek na drsnost obrobeného povrchu lze

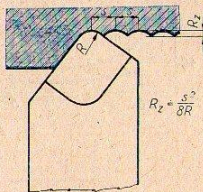
probrat nejnázorněji na soustružení, neboť poznatky z něho se dají aplikovat i na frézování čelními frézovacími hlavami.

Teoretická drsnost povrchu soustružené plochy se vypočte ze vztahu (obr. 32)

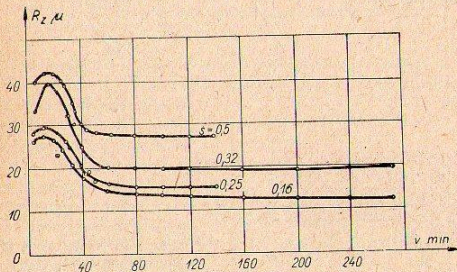
$$R_z = \frac{s^2}{8R}$$

Skutečná hodnota se od teoretické více či méně liší ve smyslu větší drsnosti. Nejdůležitější vlivy na drsnost mají:

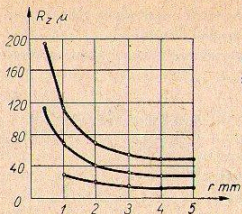
- řezná rychlost;
- posuv;
- geometrie nástroje:
 - poloměr zaoblení,
 - vedlejší úhel nastavení,
 - úhel čela,
 - úhel hřbetu;



Obr. 32. Teoretická hodnota drsnosti povrchu soustružené plochy

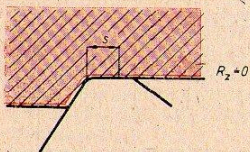
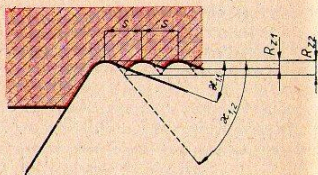


Obr. 33. Vliv řezné rychlosti a posuvu na drsnost obrobenej plochy



Obr. 34. Vliv poloměru zaoblení špičky na drsnost obroběné plochy

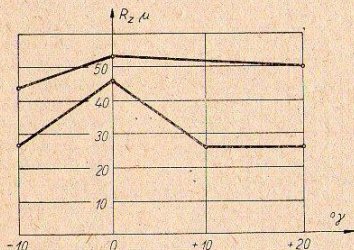
Obr. 35. Vliv úhlu nastavení vedlejšího břítu na drsnost obroběného povrchu



Obr. 36. Drsnost povrchu při použití Kolesovova nože

- d) materiál obrobku a jeho mikrostruktura;
- e) otupení nástroje;
- f) tuhost soustavy obrobek—stroj—nástroj.

Vlivy jsou zde uspořádány podle důležitosti. Daleko největší vliv na drsnost povrchu mají řezná rychlost i posuv (obr. 33).



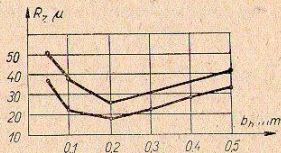
Obr. 37. Vliv úhlu čela na drsnost obrobce

Se vzrůstající rychlostí se drsnost povrchu prudce zmenšuje a v oblastech rychlostí, v nichž se karbidových nástrojů používá nejčastěji dosáhne se již jakéhosi optimálního ustáleného vztahu.

Jak vyplývá i z teoretického vztahu, zmenšující se posuv pronikavě snižuje drsnost obrobce.

Tvar činné části působí na drsnost obrobce nejvíce poloměrem zaoblení špičky nástroje (obr. 34).

Vedlejší úhel nastavení



Obr. 38. Vliv otupení hřbetu na drsnost obrobce

α_1 (obr. 35) při jemném soustružení, vyvrtávání nebo frézování má zejména značný výtžnam.

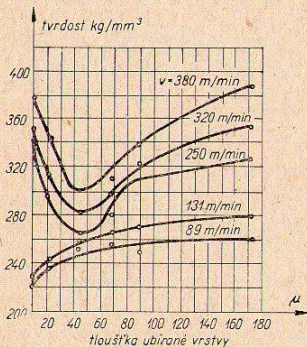
Při normálním soustružení se využívá tohoto vlivu u známého Kolesovova nože, kde $\alpha_1 = 0$ (obr. 36).

Úhel čela působí na drsnost povrchu již poněkud méně. Zřetelně se projeví jen značně velké změny úhlu čela (obr. 37).

Zvětšuje-li se záporný úhel čela, vznikne po přechodném zhoršení opět značnější hladicí účinek. Současně se zjistí větší zpevnění povrchu.

Zvětšením úhlu hřebetu se poněkud zvětšuje drsnost.

Materiál obrobku, který sám o sobě velmi silně působí na drsnost obrobene plochy, má při obrábění karbidovými nástroji menší vliv. Při řezných rychlostech nad 100 m/min se vliv různých vlastností materiálu zmenšuje tak, že se k němu nemusí přihlížet. Výjimku tvoří litina, která



Obr. 39. Závislost zpevnění povrchové vrstvy na řezné rychlosti a na tloušťce ubírané vrstvy

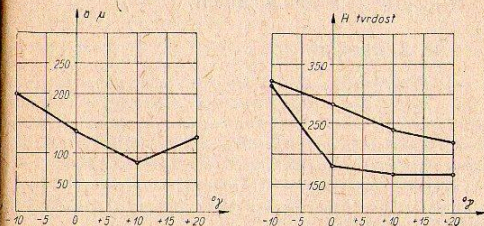
má svou pórovitostí velký vliv na vzhled i změřitelnou drsnost povrchu.

Zajímavé je, že otupení ostří v normálních mezích nemá pronikavý vliv na drsnost (obr. 38). Při otupení se drsnost dostává nejčastěji opět na hodnotu, dosaženou ostrým břitem.

Tuhost soustavy může mít vznikem samobuzených kmitů velmi pronikavý vliv na drsnost povrchu.

Závažný a důležitý je další průvodní zjev při práci karbidovými

nástroji. Je to zpevnění povrchové vrstvy obrobku. V ní vznikají působením nástroje značná pnutí, která materiál do určité hloubky zpevňují. Při obrábění působí navzájem dva protichůdné pochody: zpevnění způsobené řezným odporem a pochod zmenšující zpevnění zvýšenou teplotou. V každém případě má obrábění vliv na povrchovou vrstvu. Při práci



Obr. 40. Závislost zpevnění povrchové vrstvy na velikosti úhlu čela γ

Tabulka XVI
Drsnosti dosažitelné různými způsoby obrábění

Druh obrábění	Střední drsnost R_a [μ]
Jemné soustružení SK	1,6—0,8
Vyrtávání SK	1,6—0,8
Vystružování	0,8—0,4
Čelní frézování SK	3,2
Čelní frézování SK jemné	1,6 (i 1,2)

karbidovými nástroji je tento vliv větší a je způsoben větší řeznou rychlostí (obr. 39) a všeobecně menšími úhly čela (obr. 40). I zde však působí velikost posuvu.

Této okolnosti je třeba věnovat patřičnou pozornost, zejména

přihlédnutím k vlastnostem obrobených povrchů při opotřebení a k působení na event. další operace.

Pro orientaci uvádíme na tab. XVI přehled drsností, kterých lze dosáhnout různými způsoby obrábění.

2.3. Vliv způsobu obrábění

2.3.1. Soustružení

Aby se mohlo hospodárně obrábět, je třeba pro soustružení volit pracovní podmínky nejen podle dříve uvedených hledisek, nýbrž i podle dalších okolností, které se při určité operaci vyskytují na obráběcím stroji. Je to např. tuhost upnutí obrobku, způsob upnutí, tuhost nástroje, štíhlost obrobku, obrábění přes kůru, přerušovaný řez apod. Podle těchto činitelů je nutno volit více nebo méně snížené pracovní podmínky, aby se zachovala maximální hospodárnost obrábění nebo aby se dosáhlo požadované jakosti obrábění.

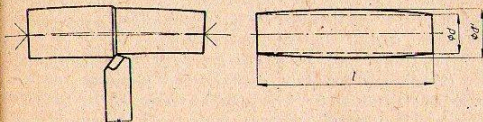
Je zřejmé, že čím menší je tuhost upnutí obrobku, tím menší hloubku třísky, menší velikost posuvu, popř. i menší řeznou rychlost je nutno volit. Řezné podmínky jsou zde omezeny vznikem chvění nebo bezpečností provozu.

Podobně ovlivňuje řezné podmínky i způsob upnutí. Nejnehospodárnější bývá upnutí mezi hroty nebo upnutí ve sklíčidle a opření hrotem ze strany opačné. Méně vhodné je upnutí letmo ve sklíčidle.

Rovněž upnutí nástroje má být co nejužší. Soustružnický nůž v nožové hlavě proto má tak malé vyložení, jak to jen dovolí tvar obrobku. Při nedostatečně tuhém upnutí nože vzniká chvění, a tím se zhoršuje jakost obrobeného povrchu, zkracuje trvanlivost bříty a někdy je práce znemožněna úplně. U některých operací, např. při soustružení klikových hřídelů, se neobejdeme bez velkého vyložení nástroje. Zde musíme alespoň podepřít špičku nože.

Při dokončovacích pracích má štíhlost obrobku velký význam pro dosažení předepsaných tolerancí rozměru. Štíhlost obrobku je poměr jeho délky k průměru ($l : d$). Čím větší štíhlost má obrobek, tím více se

prohýbá (deformuje) při obrábění a tím větší bude změna výsledného geometrického tvaru obrobku. Odtlačování působením řezných odporů způsobuje průhyb a výsledkem je soudkovitý tvar obrobku místo válcového (obr. 41). Zvětšení jmenovitého průměru d na hodnotu d' závisí



Obr. 41. Změna geometrického tvaru obrobku, způsobená deformacemi při soustružení

nejen na štíhlosti, ale také na velikosti řezných odporů. Přibližně lze pro soustružení oceli mezi hroty vypočítat průměr d' podle vzorce

$$d' = d + \frac{8}{9} \cdot \frac{k_s \cdot F \cdot l^3}{E \cdot d^4} \text{ [mm]},$$

kde $k_s = 150 - 300 \text{ [kg/mm}^2\text{]}$ je měrný řezný odpor, který závisí na druhu obráběného materiálu a na průřezu třísky; menší hodnoty se volí pro snadno obrobitelné materiály a pro větší průřezy třísek;

$$F = t \cdot s \text{ [mm}^2\text{]}$$

— průřez třísky;

$$E = 2,1 \cdot 10^3$$

$$\text{[kg/mm}^2\text{]}$$

— modul pružnosti oceli.

Při hrubování jsou někdy řezné podmínky omezeny výkonem obráběcího stroje. Lze soustružit vždy jen takovou řeznou rychlostí a takovým průřezem třísky, aby nebyl překročen instalovaný výkon, který lze vypočítat podle vzorce

$$N = \frac{k_s \cdot F \cdot v}{102 \cdot 60 \cdot \eta} \text{ [kW]},$$

kde k_s je měrný řezný odpor [kg/mm^2];

F — průřez třísky [mm^2];

v — řezná rychlost [m/min];

η — účinnost stroje, zpravidla 0,7.

Při soustružení přes kůru výkovků nebo odlitků je břit nástroje ohrožován různými vměstky a tvrdými zrny v povrchové vrstvě obrobku. Musí se proto kromě vhodného druhu slinutého karbidu a vhodné geometrie břitu použít i mírnějších řezných podmínek.

Také řezné podmínky při obrábění přerušovaného řezu jsou omezo-
vány rázovým namáháním břitu. Rozhodující pro opotřebení resp. pro bezpečnou práci nástroje jsou jak mechanické, tak tepelné rázy. Normální opotřebení břitu otěrem a vymíláním má zde obvykle druhotný význam.

2.32. Frézování

Velkého výkonu při frézování se dosáhne především nástroji se slinutým karbidem. Na dosavadních běžných frézkách lze nejvýkonněji frézovat čelně, a to zejména za použití frézovacích hlav. Podmínkou velkého výkonu při frézování je záporný úhel čela a větší záporný úhel sklonu ostří, které chrání břit před vylamováním. Stejně důležitá je však i volba polohy nástroje k obrobku, druh slinutého karbidu a stanovení optimálních řezných podmínek.

Chceme-li zvolit optimální polohu frézy k obrobku při čelním frézování, musíme si uvědomit, že změnou této polohy se zároveň mění:

- a) místo prvního dotyku na zubu frézy,
- b) velikost rázu — doba vnikání,
- c) úhel záběru,
- d) úhel výstupu,
- e) počáteční tloušťka třísky,
- f) délka řezného oblouku zubu frézy.

Materiál odstraňovaný zubem bez přechodového ostří má tvar kosodélníka *STUV* (obr. 42). Jeho výška závisí na hloubce třísky t a šířka na posuvu na zub s_z . Tento kosodélník se vytváří postupně tak, jak zub

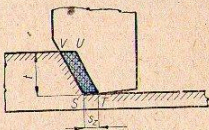
zabírá, takže první dotyk zubu frézy může nastat buď v jednom ze čtyř bodů (S, T, U, V), nebo podél jedné z jeho stran, event. po celé ploše STUV. Místo prvního dotyku závisí na úhlu záběru ε a na řezných úhlech nástroje α , γ a λ . Úhel záběru ε je svíráán jednak poloměrem vedeným špičkou zubu, jednak stopou záběrové roviny obrobku (obr. 43).

Pro velikost úhlu záběru platí vzorec

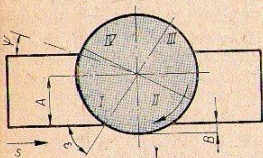
$$\sin \varepsilon = \frac{2A}{D},$$

kde A je vzdálenost středu frézy od boční strany obrobku, na které zub začíná frézovat. Úhel záběru považujeme za kladný, je-li první dotyk v I. čtvrtině obvodu frézy, a za záporný, je-li první dotyk ve IV. čtvrtině obvodu frézy (obr. 43).

Hlavní činitel, který má vliv na trvanlivost břitů frézy při změně její polohy, je úhel záběru ε . Nezáleží na tom, zdali první dotyk je v bodě U nebo V (obr. 42). Nesmí však nastat v bodě S, v přímce ST, event. v ploše STUV, neboť při nich se snadno vyloží břit. Jaký vliv má úhel záběru ε a úhel výstupu ψ na trvanlivost, ukazuje závislost vyznačená na obr. 44. Trvanlivost je tím větší, čím větší je úhel záběru. Optimální velikost úhlu záběru ε je 70 až 80°. Používat většího úhlu



Obr. 42. Místa prvního dotyku

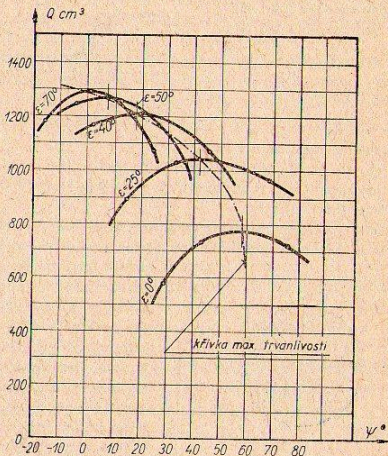


Obr. 43. Úhel záběru a výstupu

záběru ε , tj. 90°, je nesprávné, neboť trvanlivost se při něm již zkracuje. Při tomto úhlu záběru je počáteční tloušťka třísky tak malá, že se břit tře po obrobku svým hřbetem dříve, než se zařízne, čímž se zvětšuje opotřebení. Úhel záběru $\varepsilon = 70$ až 80° vznikne přesazením frézy

přes obrobek o $B = 0,03 D$ (obr. 43). Při velké hloubce třísky nebo velkém průměru frézovací hlavy D a úhlu záběru $\varepsilon = 70^\circ$ se mohou objevit torzní kmity, které se odstraní zmenšením úhlu záběru na $\varepsilon = 50^\circ$, a to tak, že přesazení B se zvětší na $0,1D$.

Největšího výkonu při frézování se dosáhne slinutým karbidem S1.



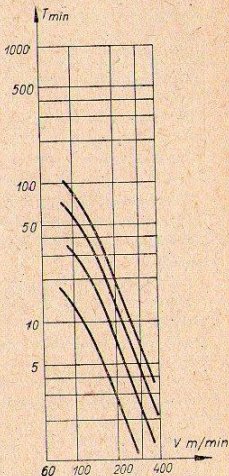
Obr. 44. Závislost trvanlivosti na úhlu výstupu ψ a úhlu ε záběru

Ocel CE — 50 kg/mm²
 šířka obrobku až 60 mm
 $v = 390$ m/min
 $s_z = 0,18$ mm/zub
 $t = 3,0$ mm

Obrobek však nesmí být příliš přerušovaný a nesmí se u něho vyskytovat záporný úhel záběru. Podmínkou úspěšného použití, tohoto druhu slinutého karbidu je čistý řez, tedy obrobek musí být bez tvrdé kůry nebo jiného znečištění. Proto obecnější použití má slinutý karbid S2. Při operacích, kde se slinutý karbid S2 vylamuje, zejména na vodorovných vyvrtávačkách, kde vzniká při vysunutí vřeteníku značné chvění, použijeme s úspěchem slinutého karbidu S3 a event. S4. Na odolnost nástrojových materiálů lze příznivě působit volbou vhodné geometrie bříty, kterou probereme v kapitole o frézovacích nástrojích (II. díl).

Řezné podmínky při frézování slinutým karbidem volíme ze dvou hledisek, a to především podle požadované trvanlivosti bříty nástroje a dále aby se při hrubování nejúplněji využilo příkonu obráběcího stroje, kdežto při jakostním frézování, aby se dosáhlo požadované jakosti povrchu.

Protože náklady na ostření několikaobřitého nástroje jsou podstatně vyšší než u nástroje jednobřitého, je také třeba, aby trvanlivost nástroje byla delší než při soustružení. Hospodárná trvanlivost frézy se pohybuje mezi 240 až 480 minutami čistého řezného času. Řeznou rychlost volíme podle obrobitelnosti materiálu. Jen velmi přibližně je možno obrobitelnost ztotožnit s pevností materiálu, tzn. čím větší je pevnost materiálu, tím menší je přípustná řezná rychlost, která se pohybuje při frézování oceli mezi 100 až 250 m/min (pro materiály pevnosti 35–150 kg/mm²), a při frézování šedé litiny mezi 70–90 m/min. Je třeba dbát, aby se při



Obr. 45. Závislost trvanlivosti na řezné rychlosti

použití slinutého karbidu S2, S3 řezná rychlost nezmenšila u oceli střední pevnosti pod 100 m/min. Při zmenšování řezné rychlosti pod tuto hranici se prakticky trvanlivost břitu již nezvětšuje (obr. 45). Při větším posuvu na zub zvolíme menší řeznou rychlost a obráceně. Směrné řezné rychlosti jsou v tab. XVII.

Tabulka XVII

Směrné řezné rychlosti při frézování

Obráběný materiál	Ocel			Šedá litina
Pevnost [kg/mm ²]	55–64	65–79	80–104	kolem 200H _B
Řezná rychlost [m/min]	120–160	100–140	90–120	70–110 pro G1
	pro S3			

Trvanlivost frézy je určena opotřebením nástroje, které se projevuje otupením na hřebetě a výmolem na čele. Při rychlostech menších než 200 m/min je rozhodující otupení hřebetu, při větších rychlostech výmol na čele.

Závislost trvanlivosti na posuvu na zub je podobná závislosti na řezné rychlosti. Je zde rovněž dolní a horní mez. Na horní mez — největší přípustný posuv — má vliv především pevnost břitu nástroje. Tento posuv pro různé obráběné materiály je uveden v tabulce XVIII.

Tabulka XVIII

Největší přípustné směrné posuvy při frézování

Obráběcí materiál	Ocel			Šedá litina
Pevnost [kg/mm ²]	50–80	80–100	100–125	
Posuv [mm/zub]	0,24	0,2	0,17	0,4
	pro S3			pro G1

Zmenšovat posuv pod spodní hranici je nevýhodné, neboť tím se již nedosáhne podstatně delší trvanlivosti a v některých případech se

dokonce trvanlivost zkrátí. Běžný posuv na zub s_z při frézování oceli střední pevnosti je 0,1 mm/ot. Frézuje-li se tuhý obrobek na tuhém stroji, lze použít i větších posuvů na zub při vhodné geometrii břitu.

Při volbě velikosti posuvu na zub je nutno se řídit druhem obráběného materiálu, požadavkem klidného chodu frézky, požadovanou jakostí povrchu a trvanlivostí s přihlédnutím k použité řezné rychlosti. Obecně lze říci, že posuv na zub se volí při hrubování tak, jak to dovolí tuhost obráběcího stroje, stabilita upnutí, pevnost břitu nástroje a výkon obráběcího stroje. Je-li výkon obráběcího stroje nedostatečný, je třeba posuv zmenšit. Na materiálech, které působí na nástroj velmi abrazivně, dále na méně často přerušovaných řezech, obrobcích s kůrou, jakož i na těžkých stabilních obrobcích volíme co největší posuv. Posuv na zub zmenšíme při vylamování břitu i při chvění způsobeném nedostatečným upnutím obrobku. Také při obrábění tenkostěnných obrobků se musí volit menší posuv, jelikož tyto obrobky jsou náchylné k chvění. Pro tyto případy je účelné a hospodárné použít mnohonožových frézovacích hlav.

Podle zvoleného posuvu na zub a řezné rychlosti resp. počtu otáček a zubů frézy vypočteme minutový posuv stolu frézky s_{min} , který je pro výkon frézování rozhodující:

$$s_{min} = s_z \cdot n \cdot z \text{ [mm/zub]},$$

kde s_z je posuv na zub [mm/ot],

n — počet otáček za minutu [ot/min],

z — počet zubů.

Jak již bylo řečeno, je výkon nástroje často omezován příkonem frézky. Potřebný výkon stanovíme jednoduše pomocí objemových součinitelů:

$$N = \frac{Q}{K} \text{ [kW]},$$

kde K je objemový součinitel a představuje množství materiálu, které se ubere na 1 kW za minutu [$\text{cm}^3/\text{kW}/\text{min}$],

Q — množství materiálu ubraného za minutu [cm^3/min],

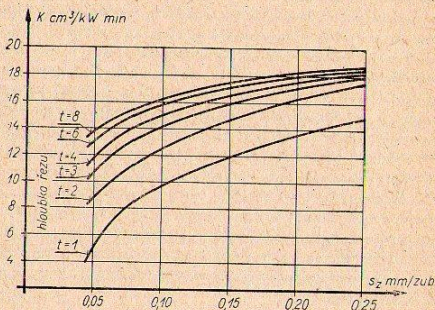
N — potřebný výkon [kW].

$$Q = C \cdot s_{min} \cdot t \text{ [cm}^3/\text{min]},$$

pke s_{min} je minutový posuv [mm/min],

C — hloubka třísky [mm],

t — hloubka třísky [mm].

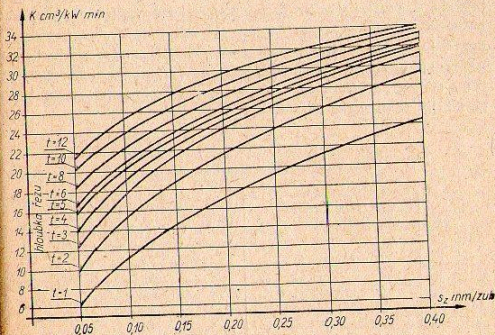


Obr. 46. Objemový součinitel při frézování oceli 12 060.1, 12 020.1, 14 220.1

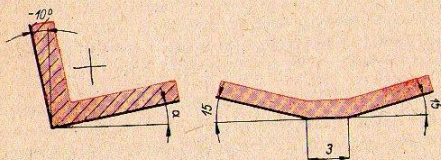
Objemový součinitel se prakticky nemění různou řeznou rychlostí, ale především posuvem. Se vzrůstajícím posuvem se zvětšuje, takže pro využití výkonu frézky je hospodárnější frézovat větším posuvem. Hodnoty objemových součinitelů při frézování oceli a šedé litiny pro různé posuvy a hloubky třísky jsou uvedeny na obr. 46—47.

Frézovacími hlavami se slinutým karbidem lze nejen hospodárně obrobit větší přídavky, ale i dosáhnout jakostního povrchu, vyhovujícího 7. třídě drsnosti ($R_a = 0,8$ až $1,6 \mu$) při potřebné rovinnosti. Použijeme-li hlavy jednožobové nebo několikanožové, mají vždy nože úhel nastavení vedlejšího břitu $\alpha_1 = 0^\circ$. Vedlejší břit má šířku trojnásobného posuvu na zub. U mnohonožové hlavy se vedlejší břity lapují přímo na frézce, aby házení nebylo větší než několik tisícín. Tím se vytvoří na hřbetě vedlejších břitů fasetky maximální šířky 0,1 mm pod úhlem $\alpha = 0^\circ$. Druhou

podmínkou dosažení jakostního povrchu je řezná rychlost v rozmezí 140—225 m/min. Proto je nutno na jakostní frézování oceli i litiny použít slinutého karbidu F1. Optimální velikost úhlu čela je $\gamma = -10^\circ$ a úhlu hřbetu při frézování litiny $\alpha = 18^\circ$ a u oceli $\alpha = 8^\circ$ (obr. 48). Na jakostní obrábění hrubovaných ploch, jejichž nerovnost nebo přídavek je menší



Obr. 47. Objemový součinitel při frézování litiny 200H_s



Obr. 48. Geometrie břitu jednožové frézovací hlavy

než 0,1 mm, je vhodná jednonožová frézovací hlava. Optimální posuv pro jed nonožovou frézovací hlavu je 1,0—1,25 mm/ot. Podstatného prodloužení trvanlivosti se dosáhne střídáním posuvů v poměru 3 : 2, neboť se při tom vedlejší břit otupuje rovnoměrně.

Většího výkonu proti nástrojům z rychlořezné oceli lze dosáhnout válcovými a válcovými čelními frézami se šroubovitými břity ze slinutého karbidu. Za optimální posuv na zub při práci s těmito frézami je možno považovat 0,1—0,2 mm/zub. V tomto rozmezí posuvů celkové množství materiálu odfrézovaného jedním zubem se během jeho trvanlivosti s větším posuvem zvětšuje, ačkoliv trvanlivost sama se zmenšuje. Směrné řezné rychlosti při frézování oceli střední pevnosti nástroji se šroubovitými břity ze slinutého karbidu jsou v tab. XIX.

Tabulka XIX

Směrné řezné rychlosti při frézování

Průměr frézy D [mm]	Řezná rychlost v [m/min]
10—20 pro S1	80—110
pro S3	60—80
20—100 pro S1	100—140
pro S3	60—100

2.33. Vrtání

Vrtání karbidovými šroubovitými vrtáky je dosud velmi málo zavedeno. Používá se ho převážně jen u nejtěžších obrobitelných materiálů (vysoce legovaných ocelí, cementovaných a kalených ocelí, skla, mramoru apod.).

Běžné vrtání konstrukčních ocelí naráží na značné obtíže, kterým se musí čelit zvláštní konstrukcí vrtáků a omezením použití zejména na vrtání předvrtaných děr, vrtání mělkých děr apod. Potřebné úpravy vrtáků jsou probrány v příslušné kapitole II. dílu.

Podstatně příznivější jsou podmínky použití karbidových šroubovi-

tých vrtáků při vrtání šedé litiny, kde se tvoří drobná tříska a řezný odpor je značně menší. Zde lze dosáhnout hloubky vrtání až 5D, a to při značně větším výkonu než u vrtáků z rychlořezné oceli.

Porovnáme-li celkové náklady na vrtání díry délky 10 m v litině rychlořezným a karbidovým vrtákem, jsou náklady při použití karbidového vrtáku o zhruba 35 % menší.

Šedá litina se smí vrtat karbidovými šroubovitými vrtáky na stroji v dobrém celkovém stavu a dostatečně dimenzovaném.

Uvedeme nyní pracovní a řezné podmínky pro šroubovitě vrtáky průměru 8 až 30 mm s břitovými destičkami G1 pro práci na šedé litině (skupina obrobitelnosti 9a, 10a, tab. XX, XXI).

Tabulka XX

Pracovní a řezné podmínky při vrtání
Třída obrobitelnosti vrtaného materiálu: 9a

D [mm]	s [mm/ot]	n [ot/min]	v_c [m/min]	P [kg]	M_K [kgcm]	N_{mot} [kW]	L_o [m]
8	0,14	2520	63	120	33	1,15	2,5
10	0,18	1970	62	155	52	1,5	2,8
12	0,21	1620	61	200	89	2,0	3,1
14	0,24	1390	61	245	130	2,5	3,3
16	0,27	1190	60	325	190	3,1	3,8
18	0,29	1040	59	420	265	3,8	3,9
20	0,31	925	58	520	350	4,4	4,0
22	0,34	825	57	640	425	4,8	4,5
24	0,37	745	56	730	500	5,1	5,0
26	0,39	660	54	830	600	5,4	5,1
28	0,41	605	53	970	730	6,0	5,2
30	0,45	540	51	1050	870	6,5	5,6

L_o = celková délka vyvrtaná do otupení vrtáku.

Materiál břitové destičky SK: G1.

Nástroj: šroubovitý vrták s kuželovou stopkou podle ČSN 22 1330, s popsány úpravami činné části.

Pracovní a řezné podmínky při vrtání

Třída obrobiteľnosti vrtaného materiálu: 10a

D [mm]	s [mm/ot]	n [ot/min]	v [m/min]	L _c [m]	P [kg]	M _K [kgcm]	N _{mot} [kW]
8	0,14	2830	71	4,0	100	32	1,25
10	0,18	2230	70	4,0	145	53	1,6
12	0,21	1830	69	5,4	180	86	2,2
14	0,24	1550	68	5,6	220	125	2,7
16	0,27	1330	67	6,1	290	180	3,3
18	0,29	1170	66	6,5	370	250	4,0
20	0,31	1030	65	6,7	460	330	4,7
22	0,34	925	64	7,5	560	410	5,2
24	0,37	840	63	8,0	650	480	5,5
26	0,39	750	61	8,5	730	580	6,0
28	0,41	685	60	8,7	820	700	6,7
30	0,45	615	58	9,4	920	830	7,0

Bez chlazení.

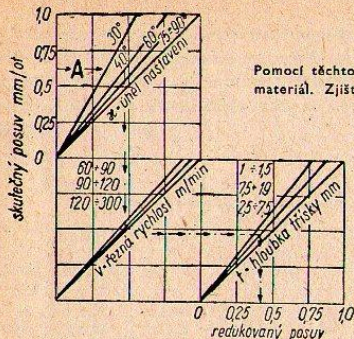
Hodnoty $\left\{ \begin{array}{l} N_{\text{mot}} \text{ kW (předpokládaná účinnost } \eta = 0,75) \\ M_K \text{ kgcm (krouticí moment)} \\ P \text{ kg (odpor proti posuvu)} \end{array} \right\}$ platí pro ostrý nástroj

Po otupení se N_{mot} a M_K zvětšují o 5 až 10 %. P — o 15 až 25 %.

Předpokládá se vrtání do obrobených povrchů odlišků. Při vrtání do neobrobeného povrchu se udané řezné rychlosti násobí součinitelem 0,9.

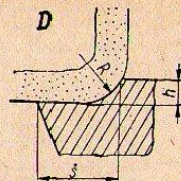
Při hloubce vrtání větší než $2D$ se násobí řezná rychlost těmito součiniteli:

Hloubka vrtání / Součinitel	2D	3D	4D	5D
	1	0,9	0,75	0,65

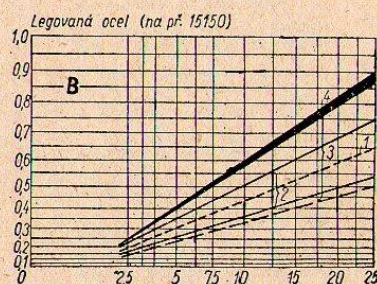
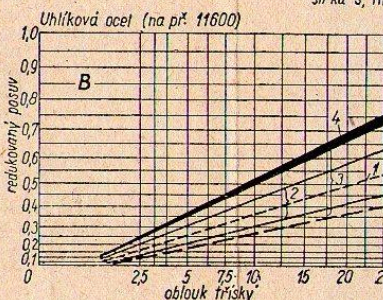
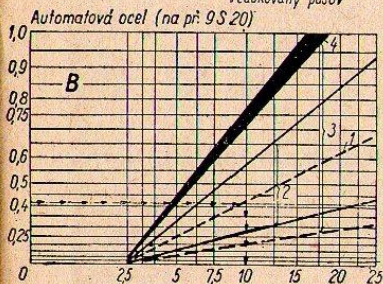
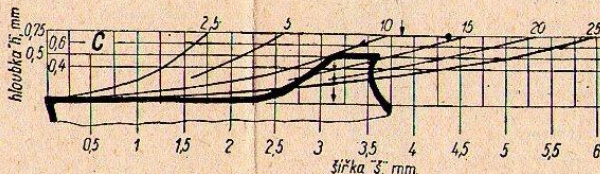


Nomogramy pro stanovení rozměrů utvářeče

Pomocí těchto nomogramů lze určit tvar utvářeče třísek pro dané řezné podmínky a obráběný materiál. Zjištěné rozměry utvářeče je nutno pečlivě dodržovat, aby utvářeč správně pracoval a nepoškozoval se



h, mm	R, mm
0,4	0,9 - 1,7
0,5	1,3 - 2,2
0,6	1,5 - 2,5
0,75	1,8 - 3,1



Návod k použití:

Vycházíme od zvoleného nebo předepsaného posuvu, jehož hodnotu vyhledáme na levé stupnici grafu A. Odtud pokračujeme vodorovně vpravo na přímku zvoleného úhlu nastavení α , pak dolů na přímku příslušné řezné rychlosti v , dále vpravo na přímku hloubky třísky t a dolů na stupnici redukovaných posuvů. Odečtenou hodnotu redukovaného posuvu vyhledáme na levé stupnici v grafu B pro příslušný obráběný druh materiálu. Od vyhledaného redukovaného posuvu pokračujeme vpravo od zvoleného rozsahu utváření, nejlépe na přímku nejvhodnějšího tvaru odcházející třísky 1. Od této přímký pokračujeme dolů a na spodní stupnici odečteme velikost oblouku odcházející třísky. Tuto hodnotu vyhledáme na horní vodorovné stupnici grafu C. Po křivce odpovídající velikosti oblouku třísky (nebo po křivce interpolované) pokračujeme až na vodorovnou čáru zvolené hloubky utvářeče h a odtud pak po svislé přímkě na spodní stupnici, kde odečteme šířku utvářeče s . Z tabulky D pak určíme pro hloubku h poloměr zaoblení utvářeče R .

Příklad:

Skutečný posuv = 0,62 mm/ot, úhel nastavení = 45°, řezná rychlost = 150 m/min, hloubka třísky = 9 mm, redukovaný posuv = 0,41, oblouk třísky = 10, zvolená hloubka utvářeče = 0,5 mm, šířka utvářeče = 1,1 mm, poloměr zaoblení = 1,3–2,2 mm

Legenda ke grafům B

1 Přímká nejvhodnějšího tvaru třísky (krátké pravidelné spirály)

2 Doporučený rozsah utváření (dolní mez — krátké spirály, horní mez — jednotlivé kroužky)

3 Použitelný rozsah utváření (dolní mez — nekonečná spirála, horní mez — polokroužky)

4 Drobné úlomky

Vzhledem k menší spolehlivosti funkce šroubových SK vrtáků při vrtání měkké oceli jsou uvedeny pouze informativní doporučené pracovní podmínky pro oceli do pevnosti 80–90 kg/mm². Řezné podmínky jsou omezeny odvodem třísek, takže lepší obrobiteľnost měkkých ocelí se neprojeví (tab. XXII).

Tabulka XXII

Pracovní a řezné podmínky pro vrtání oceli

D [mm]	s [mm/ot]	n [ot/min]	v [m/min]	L ₀ [m]	P [kg]	M _K [kgcm]	N _{mot} [kW]
8	0,07	2080	50–55	1,5	110	40	1,2
10	0,08	1670		2,0	160	70	1,6
12	0,10	1390		2,5	220	110	2,1
15	0,13	1110		3,2	300	180	2,7
18	0,15	930		3,8	400	270	3,4
22	0,18	760		4,4	600	450	4,7
25	0,20	670		5,0	750	570	5,2

Max. vrtaná hloubka: u vrtáků menších průměrů $h = D - 2D$,
u vrtáků větších průměrů $h = D - 1,5D$.

Nástroj: šroubovitý vrták s kuželovou stopkou podle ČSN 22 1330,
s břitovou destičkou S2, s úpravami popsány v II. dílu.
Vrtání průchozích a neprůchozích děr do největší hloubky $h = 2D$.
Chlazení emulzí.

Hodnoty P, M_k a N_{mot} platí pro ostrý vrták.

2.34. Vyvrtávání

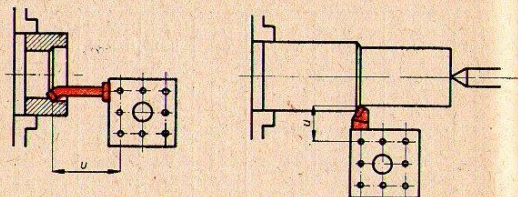
Do obráběcího pochodu nazývaného vyvrtávání se obvykle zahrnuje dvojí pracovní postup:

- vnitřní soustružení, při němž se obrobek otáčí kolem podélné osy vyvrtané díry a nástroj nebo nástroje vykonávají posuv;

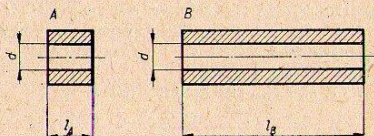
b) vlastní vyvrtávání, při němž obrobek stojí a nástroj se otáčí a zároveň vykonává posuv.

Někdy se vyskytují též jiné kombinace potřebných pohybů. Všechny vyvrtávací práce se rozdělují na hrubé vyvrtávání, vyvrtávání na čisto a jemné vyvrtávání.

Vyvrtávání na hrubo i na čisto, ať již ve formě vnitřního soustružení nebo vlastního vyvrtávání, liší se ve své podstatě celkem málo od běžného soustružení. Hlavní a důležitý rozdíl proti soustružení je v tom, že nástroj



Obr. 49. Vyložení nože při vyvrtávání díry a při soustružení vnějších povrchů



Obr. 50. Štíhlost děr

nebo nástrojový držák ve valné většině má podstatně větší vyložení (vzdálenost břitu od upínacích ploch) než při soustružení (obr. 49). Tím se citelně zmenšuje tuhost nástroje, což zase vyžaduje mírnější řezné podmínky (hloubku třísky, posuv, řeznou rychlost).

Tato okolnost je tím významnější, čím hlubší, resp. štíhlejší je vyvrtávaná díra. Štíhlost díry se udává poměrem jejího průměru k délce, $d : l$ (obr. 50). Díra A má menší štíhlost než díra B. Protože nástroj nebo jeho držák (vrtací tyč) musí mít vždy menší průřez než díra, vzrůstá obtížnost problému tuhosti nástroje se štíhlostí díry. Tuhost vůbec je hlavním problémem a obtíží, s níž se musí počítat při vyvrtávání. Čím lépe je tento problém vyřešen, tím lepších výsledků se dosáhne.

O karbidových vyvrtávacích nástrojích můžeme tvrdit, že vlivem jejich většího výkonu význam vyvrtávání neustále roste.

Vyvrtáváním se obrábějí neobrobené i předvrtané díry, u nichž se má zvýšit přesnost tvaru a rozměrů. Je tedy namístě porovnat vyvrtávání s vystružováním, které má v podstatě stejný úkol.

Proti vystružování má vyvrtávání zejména tyto výhody:

- a) větší univerzálnost možností práce na různých průměrech,
- b) větší počet možných přestřehů beze změny rozsahu použitelnosti a snazší údržbu jednobřitého nástroje;
- c) rozsáhlejší možnost zlepšení přesnosti tvarů a rozměrů vyvrtávaných děr i opravy souřadnic osy díry;
- d) levnější nástroj, zejména u větších průměrů.

Vystružování je zase výhodnější z těchto hledisek:

- a) klade mnohem menší nárok na přesnost stroje a
- b) menší nároky na kvalifikaci obsluhy stroje.

Použití karbidových nástrojů při vyvrtávání je významným příspěvkem ke zvýšení významu vyvrtávání vůbec, poněvadž jimi lze při stejném nebo častěji i zvýšeném výkonu dosáhnout větší přesnosti děr a lepší jakosti povrchu. Vysvětluje se to většími řeznými rychlostmi, které dovolují při zachování stejného nebo i vyššího výkonu než u rychlořezné oceli zmenšit průřez ubírané třísky. Zvláště volba menšího posuvu, a tím i působení menšího řezného odporu, zmenší deformaci při práci a tím zvětší přesnost. Kromě toho menší posuv a větší řezná rychlost přispívají k lepší jakosti povrchu.

Větší řezné rychlosti a geometrie břitu, vyžadovaná na SK nástrojích, zvyšují však nároky na odolnost soustavy obrobek—stroj—nástroj proti vzniku samobuzených kmitů.

2.341. Pracovní podmínky při vyvrtávání karbidovými noži

Geometrie břitu volí se zásadně stejná jako při soustružení, jen úhel hřbetu musí být poněkud větší ($\alpha = 8-12^\circ$, ev. i větší) u menších průměrů. Úhel nastavení se volí spíše větší, aby se dosáhlo příznivějšího směru řezného odporu. Kde je nebezpečí vzniku chvění, volí se úhel $\alpha = 90^\circ$. Posuvy se volí podle tab. XXIII.

Tabulka XXIII

Směrné hodnoty pro volbu posuvů pro vyvrtávání

Při vyložení nože $u = 5d$

Materiál obrobku	t [mm]	Průměr nože resp. držáku d [mm]					
		10	12	16	20	25	30
Ocel	2	<0,08	<0,10	0,08-0,20	0,15-0,4	0,25-0,7	0,5-1,0
	3	—	<0,08	≤0,12	0,10-0,25	0,15-0,4	0,2-0,5
	5	—	—	≤0,08	≤0,1	0,08-0,20	0,12-0,3
Litina	2	0,08-0,12	0,12-0,20	0,25-0,4	0,5-0,8	0,9-1,5	—
	3	≤0,08	0,08-0,12	0,15-0,25	0,3-0,5	0,50-0,8	0,9-1,2
	5	—	≤0,08	0,08-0,12	0,15-0,25	0,25-0,5	0,5-0,7

Tabulka XXIV

Opravní součinitelé řezné rychlosti

K_{v_v}	Vyvrtávání do průměru D [mm]
0,8	<75
0,9	75-150
0,95	150-250
1,00	>250

Větší posuvy se volí pro měkčí materiál, menší pro materiál tvrdší. Řezná rychlost se volí podobně jako u soustružení, ale zmenšuje se se zřetelem na tuhost násobením součinitelem K_{v_v} podle tab. XXIV:

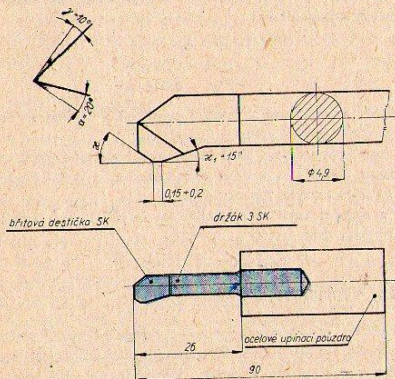
$$v_v = v_s \cdot K_{v_v} \quad [\text{m/min}],$$

kde v_s je rychlost při soustružení [m/min],

v_v — rychlost při vyvrtávání [m/min].

Významným přínosem karbidových nástrojů je velký rozvoj jemného vyvrtávání, které stále více nahrazuje jiné způsoby přesného dokončování děr a zároveň zvětšuje přesnost a zlepšuje jakost obrobených ploch.

Pěčlivým ostřením a volbou vhodných řezných podmínek lze při jemném vyvrtávání karbidovými nástroji dosáhnout překvapivých vý-



Obr. 51. Nůž na jemné vyvrtávání

sledků. Důležitý je však dokonale klidný běh stroje. Velmi dobře se osvědčují rychloběžná vřetena IBA (TOS Kuřim) s valivým uložením s minimální vůlí. Použije-li se ještě hydraulické posuvové jednotky, je možno velmi účinně potlačit nucené kmitání soustavy obrobek—stroj—nástroj.

Všeobecné směrnice mohou poskytnout údaje pro jemné vyvrtávání děr malých průměrů.

Na obr. 51 je nástroj na vyvrtávání slepých děr průměru 6 mm, u kterého se k zvýšení tuhosti použilo držáku ze slinutého karbidu G2 s modulem pružnosti přibližně $E = 45\,000 \text{ kg/mm}^2$. Tím se dosáhlo velmi malých průhybů nástroje, což se projevilo v nepatrné ovalitě vyvrtané díry (pod 0,002 mm, celkový rozměr v toleranci 0,01 mm).

K dosažení nejvýhodnějších poměrů se doporučuje volit pro poslední záběr tyto řezné podmínky:

$$v = 60 - 80 \text{ m/min.}$$

$$h = 0,02 - 0,05 \text{ mm,}$$

$$s = 0,02 - 0,04 \text{ mm/ot.}$$

S těmito podmínkami se dosáhlo na oceli ČSN 14 104 při štíhlosti až 1 : 8 střední drsnosti povrchu $R_a = 0,4 \mu$.

Při jemném vyvrtávání šedé litiny se volí podobné pracovní podmínky, pouze úhel hřbetu musí být o 5° menší, tj. $\alpha = 10^\circ$. Při štíhlosti 1 : 6 se na litině dosáhlo drsnosti $R_a = 1,2 \mu$.

Na vyvrtávání oceli se pro břitovou destičku volí druh S1, na vyvrtávání litiny druh H1.

2.35. Vyhrubování

Výhrubníky se převážně dosahuje přesnějšího tvaru předvrtané díry, aby mohla být vystružena. Vyhrubování totiž probíhá při menších silách než vrtání do plného materiálu. Výhrubník má větší počet břitů a je v díře lépe veden. Výhrubníků se slinutým karbidem je možno použít na vyhrubování litiny i oceli.

Přechodem z výhrubníků rychlořezných na výhrubníky se slinutým karbidem lze dosáhnout podstatného zvýšení výkonu především pro možnost zvětšení posuvu při poměrně malé řezné rychlosti. Další výhodou při práci s výhrubníky se slinutým karbidem jsou nižší náklady na nástroj vzhledem k jeho velké trvanlivosti. Podobně jako u fréz snižují výměnné břity i u výhrubníků náklady na nástroj.

Při vyhrubování šedé litiny se pracuje s řeznou rychlostí 15 až 30 m/min a s posuvem na zub 0,1–0,6 mm/ot. Pro stupňování výkonu

je výhodné chladit olejovou emulzí. Na vyhrubování šedé litiny je vhodný slinutý karbid H1. Při vyhrubování neobrobených děr odlitků z lité oceli, které mají pískovou kůru, používá se slinutého karbidu H1 nebo S4, u předvrtaných děr S2 event. S3. Řezná rychlost při vyhrubování oceli nebo lité oceli se pohybuje mezi 10—40 m/min a posuv na zub mezi 0,08—0,4 mm/ot.

V našich závodech se dosud vyhrubování slinutým karbidem příliš neujalo. Používá se ho ponejvíce jenom k vyhrubování děr v oceli velké pevnosti.

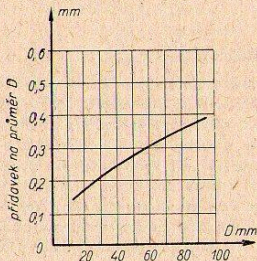
2.36. Vystružování

Výstružníky se slinutým karbidem lze vystružovat nejen oceli vysoké pevnosti, ale i oceli střední a malé pevnosti i šedou litinu. Správná volba řezných podmínek při vystružování má rozhodující význam, poněvadž na ní závisí jakost povrchu stěn díry, výrobnost a výrobní náklady. Mnozí se domnívají, že při vystružování lze používat stejné řezné rychlosti jako při soustružení. Řezná rychlost je určena především geometrickým tvarem a jakostí povrchu stěny díry. Neokrouhlost díry je první činitel rozhodující o řezné rychlosti výstružníku. Čím rychleji se otáčí výstružník, tím větší je nebezpečí vzniku neokrouhlosti event. oválnosti díry. Nejlepší jakosti povrchu při vystružování oceli dosáhneme řeznou rychlostí 5—15 m/min. Výstružníky se slinutým karbidem je možno obrábět i při větších řezných rychlostech, ale jakost povrchu se již zhoršuje. Jakostních povrchů lze opět dosáhnout při velkých řezných rychlostech 100 m/min a větších, ale trvanlivost je pak již příliš malá. Velké rychlosti jsou tedy nevhodné, a proto se při vystružování slinutým karbidem musí použít řezné rychlosti malé. Význam použití slinutého karbidu proti rychlořezné oceli nezáleží tedy ve větší výrobě, ale především ve velké trvanlivosti, a tím v nižších nákladech na nástroj.

Podmínkou dokonalého vystružování je, aby výstružník i obrobek byly souosé a aby výstružník byl veden do díry správně ustaveným pouzdrem. Kromě geometrického tvaru má totiž velký význam jakost povrchu vystružené díry, která závisí ve značné míře na tření válcových

fasetek zubů o stěnu obráběné díry. Při nesouososti díry a výstružníku vzniká prudké zahřívání a zadírání, což zhoršuje jakost povrchu. Bylo zjištěno, že nesouosost nemá přesahovat 0,1 mm. Důležitý je též odvod třísek drážkami výstružníku. Tření třísky o stěny díry může být příčinou zhoršení jakosti povrchu.

Podmínkou dosažení jakostních povrchů je vydatné chlazení, které umožňuje větší rychlosti a delší trvanlivosti. Pro vystružování oceli je



Obr. 52. Přídavky na vystružování

možno doporučit řídké vřetenové oleje s přídavkem síry, nebo 6 % emulzi vrtacího oleje. Pro vystružování šedé litiny se jako řezná kapalina osvědčil petrolej.

Vliv posuvu na jakost povrchu stěny díry je poměrně malý. Obecně se používá velkého posuvu. Připomeňme však, že příliš malé posuvy zkracují trvanlivost výstružníků. Volba posuvu závisí na průměru výstružníku a pevnosti materiálu. Směrné hodnoty jsou:

pro ocel $s = 0,05 - 0,5 \text{ mm/ot.}$

pro šedou litinu $s = 0,1 - 1,0 \text{ mm/ot.}$

Také přídavky při vystružování mají podstatný význam na jakost povrchu. Při velkých přídavcích vznikají potíže s odvodem třísek, které

mohou poškozovat stěny díry. Je-li přídavek příliš malý, zůstávají stopy po předchozí operaci. Mimo jiné působí malé přídavky nepříznivě i na trvanlivost výstružníku. Přídavky volíme podle průměru výstružníku a jejich hodnoty nalezneme na obr. 52.

Není možné pro každý materiál a pracovní podmínky předepsat vždy vyhovující veličiny. Na výsledek vystružování mají vliv tyto okolnosti: stav předvrtané díry, obráběcího stroje, upínacího nářadí, řezná rychlost, chlazení, vlastnosti obráběného materiálu a broušení výstružníku.

Uvedené řezné podmínky je proto třeba považovat za hrubou směrnici a v obtížných případech se musí řezné a pracovní podmínky stanovit podle výsledků praktických zkoušek.

LITERATURA

o slinutých karbidech a o nástrojích se slinutými karbidy

- Черчекин С. А.: Тонкостенные коронки для кольцевого сверления глубоких отверстий (Tenkostěnné korunky pro vrtání hlubokých děr na jádro), Moskva, Stanki i instrument 1958, č. 8
- Грудов П. П. и Волков С. И. и Воробьев В. Н.: Скоростное фрезерование стали (Rychlofrézování oceli), СВТИ, Moskva 1950
- Имшенник К. П. и Бухман Н. А.: Технология пайки твердосплавного инструмента (Technologie pájení nástroje se slinutými karbidy), Mašgiz, Moskva 1954
- Машиностроение-Энциклопедический справочник (Strojírenství, Encyklopedická příručka), Mašgiz, Moskva 1948
- Раковский В. С. и Смирнов Ф. Ф. и Рождественский Л. А. и Крюков И. И.: Твердые сплавы в машиностроении (Slinuté karbidy ve strojírenství), Mašgiz, Moskva 1955
- Скоростное резание металлов (Rychloobrábění kovů), Mašgiz, Moskva 1953
- Dawihl W. a Dinglinger E.: Handbuch der Hartmetallwerkzeuge (Příručka o nástrojích se slinutými karbidy), 1. a 2. díl, Springer-Verlag, Berlin 1956
- Eberhart B. a Burmester H. J.: Reiben mit Hartmetall (Vystružování se slinutými karbidy), Das Industrieblatt 2 a 3, Stuttgart 1957
- Hirschfeld E.: Tvrdé kovy. II. vydání, Práce, Praha 1947
- Kiefer R. a Schwarzkopf P. a Benesovsky F. a Leszynski W.: Hartstoffe und Hartmetalle (Tvrdé látky a slinuté karbidy), Springer-Verlag, Wien 1953
- Lüder E.: Příručka pájení, SNTL, Praha 1958
- Petrlik M. a kolektiv: Slinuté karbidy, SNTL, Praha 1959
- Píř J. a kolektiv: Obrábění I., II. a III. díl, SNTL, Praha 1957

Použití slinutých karbidů na automatech. Materiály z konference pořádané
VTS pro strojnictví odb. skupinou strojírenské technologie v Praze
dne 3. 5. 1957, UTEIN, Praha 1957

Schmidt E.: Řezné nástroje, SNTL, Praha 1957

Skřivan K.: Hospodárnost a produktivita obrábění, SNTL, Praha 1954

Slinuté karbidy. Sborník referátů přednesených na celostátní konferenci

ČS VTS pro strojnictví, Práce, Praha 1958

Články v časopise Strojírenská výroba

Soudruhu,

dočetl jste tuto knížku a my věříme, že Vám pomůže při práci. Snad
se k ní ještě někdy vrátíte.

Máme k Vám tuto prosbu: Blízko Vás pracují druzí. Pomohla-li tato
knížka Vám, může právě tak pomoci i jiným. Proto je upozorněte na
tohoto skromného pomocníka. Snad jim pomůže ještě více než Vám.
A máte-li nějakou kritickou připomínku k obsahu nebo k vyobrazením,
napište nám. Pomůžete tím nám a mnoha dalším čtenářům při novém
vydání. Děkujeme Vám.

Státní nakladatelství
technické literatury

INŽ. JAROSLAV KOLOC — INŽ. KAREL PECHATÝ — INŽ. ZDENĚK TUREK

OBRÁBĚNÍ KARBIDOVÝMI NÁSTROJI

I. díl

DT 621.9.025.002.3 : 669.018.25 • Vydalo Státní nakladatelství technické literatury, n. p., Spálená 51, Praha 1 v březnu 1961 jako svou 3669. publikaci v řadě Knížnice Strojírenské výroby • Redakce strojírenské literatury • Odpovědný redaktor Karel Schück • Obálku navrhl Josef Kalousek • Grafická úprava a technická redakce František Trla • Vytiskl TISK, knižní výroba, n. p., závod Brno, provozovna 11, 92 stran, 52 obrázků, 24 tabulek, 1 vlepená příloha • Typové číslo L13f-B2-3-I/2613.

Vydání druhé • Náklad 6015 (3201—9215) výtisků — 4,41 AA, 4,70 VA,

D-07*10071

05/62

Cena brož. výtisku Kčs 3,15

63/III-5(B2)

Publikace je určena konstruktérům nářadí a přípravků, technologům, kvalifikovaným obráběčům a brusičům nástrojů a posluchačům technických škol strojnických všech stupňů.

PROGRAM KNIŽNICE STROJÍRENSKÉ VÝROBY

- B. Dobrovolný
1. **Broušení kovů.** Teoretické i praktické základy brusické praxe s příklady nové techniky v broušení
- Inž. F. Drábek
2. **Frézy.** Brožurka pro nejširší okruh čtenářů z řad dělníků, mistrů a techniků ve strojírenství, pomůcka pro žáky průmyslových škol strojnických
- Inž. F. Drábek
3. **Frézování.** Knížka pro frézaře, seřizovače, mistry a techniky strojírenského průmyslu, pomůcka pro posluchače průmyslových škol strojnických
- K. Schebesta
4. **Kopírování na soustruzích.** Knížka o malé mechanizaci pro soustružníky, technology a techniky v celém průmyslu
- F. Wretzl
5. **Obaly a balení strojírenských výrobků.** Brožurka pro pracovníky ve strojírenství, kteří mají zájem na dopravě a balení strojírenských výrobků
- Inž. dr. E. Schmidt
6. **Tvarové nože soustružnické.** Knížka pro konstruktéry nástrojů, technology, mistry a provozní techniky ve strojírenství a v mechanických dílnách všech průmyslových odvětví. Učební pomůcka pro posluchače technických škol strojnických všech stupňů
- Inž. J. Koloc, inž. K. Pechatý,
inž. Z. Turek
7., 8. **Obrábění karbidovými nástroji.** I. díl: Pracovní podmínky karbidových nástrojů. II. díl: Konstrukce a údržba karbidových nástrojů. Brožurky pro dělníky, mistry, technology, konstruktéry přípravek a nástrojů ve strojírenství, pomůcka pro žáky strojnických průmyslovek
- A. Koubek
9. **Revolverové soustruhy.** Knížka pro soustružníky na revolverových soustruzích, pro technology, seřizovače a dílenské techniky
- IngC. J. Záhoř, inž. V. Elšlégr
10. **Kopírování na obráběcích strojích.** Brožurka pro dělníky, mistry a techniky ve strojírenství
- R. Krňák
11. **Svařování litiny.** Souhrn zkušeností pro svařeče-opraváře v údržbářských organizacích i pro svařeče ve strojírenských a jiných závodech
- R. Krňák
12. **Řezání a drážkování kyslíkem.** Podrobný popis pokrokové metody řezání a drážkování kyslíkem, pro dělníky, mistry a technology v závodních a údržbářských dílnách
- A. Václavovič a kolektiv
13. **Soustružení závitů.** Příručka pro dělníky, mistry, technology a techniky ve strojírenství, dobrá pomůcka pro žáky technických škol strojnických
- Inž. L. Plíva
14. **Odporové svařování v praxi.** Popis a informace k odbornému výcviku svařečů a svařovacích technologií v odporovém svařování
- Inž. K. Erázim
15. **Měření úchylek geometrického tvaru a polohy funkčních ploch výrobků.** Brožurka pro vedoucí technických kontrol a pro účely školení nových kontrolních kadrů
- J. Studnička
16. **Údržba lisovacích nástrojů.** Pro všechny pracovníky, kteří v konstrukci, nádražování a výdejních příchazích do styku s lisovacími nástroji
- Prof. Inž. dr. F. Drastík
17. **Pokroková kovářská technologie.** Pro dělníky, mistry i technology. Zabývá se hlavními technologickými zásadami pro práce na jednotlivých typech kovářských strojů
- Z. Kejval
18. **Tváření plechu I. Základy lisování plechu.** Pojednání o základních technologických pochodech tváření plechu. Pro dělníky a mistry v lisovnách plechu
- A. Václavovič
19. **Řezání vnitřních a vnějších závitů.** Brožurka pro dělníky, mistry a technology ve strojírenství. Učební pomůcka pro žáky odborných učilišť
- Inž. Ct. Náhlovský, O. Richter
20. **Mazání obráběcích strojů.** Knížka o správném mazání obráběcích strojů. Je určena dělníkům a mistrům údržbářských čtveřic ve strojírenských závodech a mechanických dílnách

A. Kaubek

- 21., 22. **Soustružnické poloautomaty pro práci v hrotech a ve skřídle.** Pracovní návod pro soustružníky pracující na soustružnických poloautomatech, pro technologů a žáky závodních škol práce

B. Růžička

23. **100 zlepšovacích návrhů na úsporu materiálu ve strojírenství.** Knižka pro konstruktéry, technologů, mistry a zlepšovatele ve strojírenském průmyslu

B. Jonyš-K. Raftl

24. **Upínání obrobků na soustruhu.** Pomůcka pro denní práci a pro závodní školení soustružníků a příslušníků pracovních záloh

Z. Keřval

25. **Tváření plechu II. Stroje, organizace a mechanizace lisování.** Brožurka o zásadách práce všech druhů strojů na zpracování plechu, o organizaci a mechanizaci jeho lisování. Je určena dělníkům, mistrům a technologům v lisovacích plechu

J. Žižala, B. Kutík

26. **Technologie dokončování dř.** Popisy několika nejproduktivnějších metod dokončování dř. s návody na jejich využití v praxi. Pro přední dělníky, mistry a technologů

J. Olejník, nositel Řádu práce

27. **Tváření plechu III. Nástroje pro zpracování plechu I. Střížné nástroje.** Základní údaje o střížných nástrojích a jejich využití. Brožurka pro nástrojáře, lisovače a seřizovače v lisovnách

F. Pejchal, V. Krejny, F. Fährnich

28. **Elektrometalizace pro strojírný a opravny.** Knižka o základních poznátcích, konstrukci přístrojů, obsluze a technologii metalizovaných povlaků. Je určena metalizérům, technologům a konstruktérům v opravnách strojírenských závodů

A. Kaubek

29. **Několikavřetenové soustružnické automaty na práci z tyče a ve skřídle.** Pracovní návod pro dělníky pracující na několikavřetenových soustružnických automatech, pro technologů a závodní školy práce

J. Borský

30. **Přesné a úsporné rýsování pro klempiře, mědikovce a kotláře.** Brožurka pro přední dělníky, mistry, kresliče

a kontrolory a jako učební pomůcka pro žáky průmyslových škol a odborných učilišť

Inž. J. Mandaus

31. **Svařování třením.** Knižka pojednávající stručně o svařování třením. Je určena pro svařeče ve strojírenských a jiných závodech, pro údržbáře, technologů a mistry a jako učební pomůcka pro řemeslný dorost

J. Outrata

32. **Broušení závitů.** Brožurka pro kvalifikované brusiče, mistry, dílenské technologů a malá učebnice pro posluchače kursů pro zvyšování kvalifikace

Kolektiv

33. **Nástroje pro novátory ve strojírnách.** Brožurka seznamující nástrojáře a konstruktéry nástrojů s novými konstrukcemi řezných nástrojů

K. Janecký

34. **Ponorové hliníkování.** Knižka pojednávající o technologii a hospodářském významu ponorového hliníkování z hlediska úspor deficitních kovů. Je určena předním dělníkům a dílenským technologům

Inž. J. Roneš

35. **Anodická oxydace hliníku.** Brožurka pro dělníky, mistry a dílenské technologů. Pojednává o technologii a hospodářském významu anodické oxydace

J. Studnička

36. **Bezpečné lisovací nástroje pro práci za studena.** Knižka pojednává o zvyšování bezpečnosti práce v lisovnách a o konstrukci bezpečných lisovacích nástrojů. Je určena předním dělníkům, mistrům, bezpečnostním technikům a seřizovačům

O. Morávek, Inž. V. Baborovský

37. **Základy tepelného zpracování oceli.** Brožura pojednávající o významu tepelného zpracování oceli pro strojírenskou výrobu. Pomůcka pro zvyšování kvalifikace kuličů, upravovačů, mistrů a dílenských technologů

J. Outrata

38. **Základní měrky.** Knižka určená předním dělníkům, mistrům a kontrolorům. Pojednává jen o základních měrkách a shrnuje základní informace o nich